



УДК 681.51

Дж. З. Джурунтаев  
КазНТУ, г. Алматы

#### РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ЯВНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА СХЕМ

Задача разработки методов и алгоритмов, экономичных по затратам машинного времени  $T_m$  и памяти  $P_m$ , является одной из наиболее актуальных проблем создания математического аппарата программы схемотехнического анализа. Повышение вычислительных затрат при анализе нелинейных электронных схем с большим разбросом постоянных времени обусловлено, главным образом, ограничениями на величину шага интегрирования  $h$  системы дифференциальных уравнений – математических моделей схем (ММС), накладываемыми исходя из условий устойчивости, которые имеют вид: для явных методов

$$\left| \sum_{j=0}^r (h \cdot \lambda_i)^j / j! \right| \leq 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

и для случая нелинейных схем

$$h_{max} = c \cdot \tau_{min},$$

где  $\lambda_i$  – собственные значения матрицы коэффициентов уравнений ММС;  $n$  – порядок системы уравнений ММС;  $r$  – порядок метода численного интегрирования;  $c$  – постоянный коэффициент, причем  $c = 2$ , если  $r = 1$  и  $c = 2,78$ , если  $r = 4$ ;  $\tau_{min}$  – минимальная постоянная времени схемы, определяемая как

$$\tau_{min} = 1 / |\lambda_{max}(Y)|,$$

где  $\lambda_{max}(Y)$  – наибольшее собственное значение матрицы Якоби  $Y$ .

В некоторых известных программах схемотехнического анализа [1] используются методы решения ММС и алгоритмы автоматического выбора шага  $h$ , которые не учитывают внутренние свойства решаемой системы и позволяют лишь частично компенсировать локальные погрешности, возникающие в процессе интегрирования системы дифференциальных уравнений. Поэтому при анализе нелинейных электронных схем с большим разбросом постоянных времени с помощью таких методов и программ накладываются большие ограничения на величину шага  $h$ , и следовательно затраты машинного времени  $T_m$  оказываются существенными.

В работе предлагаются алгоритмы автоматического выбора шага интегрирования, которые были положены в основу создания численных методов решения ММС с более слабыми ограничениями на величину шага  $h$ . Сущность этих алгоритмов выбора шагов интегрирования заключается в следующем. Заданный отрезок интегрирования  $T_k$  системы обыкновенных дифференциальных уравнений разбивается на  $m$  временных участков (в общем случае не равных между собой), на каждом из которых уравнения ММС решаются алгоритмами явного метода двух-, трех- или  $S$ -шаговой серии, где  $S = 1, 2$  или  $3$ .

В работе получены явные формулы численных методов

$$U_{k+1} = U_k + a_1 \cdot \dot{U}_k / (a_2 + \|\dot{U}_k\|) \quad (2)$$

и

$$U_{k+2} = U_k + a_1 \cdot \dot{U}_k / (2 \cdot a_2 + \|\dot{U}_k\| + \|\dot{U}_{k+1}\|), \quad (3)$$

которые в рамках алгоритмов двухшаговой серии могут быть последовательно использованы для решения ММС на каждом участке  $H_q$  отрезка  $T_k$ , где  $a_1$  и  $a_2$  – постоянные коэффициенты, задаваемые исходя из максимально допустимых значений шага и погрешности интегрирования;  $\|\dot{U}_k\|$  и  $\|\dot{U}_{k+1}\|$  – нормы векторов производных переменных состояния  $U_k$  и  $U_{k+1}$  соответственно;  $U_k, U_{k+1}, U_{k+2}$  – переменные состояния, вычисленные в точках отрезка интегрирования  $t_k, t_{k+1}$  и  $t_{k+2}$  соответственно;  $k$  – номер шага интегрирования. Другими словами, на каждом участке  $H_q$  ММС циклически решается двумя шагами  $h_1^q$  и  $h_2^q$  с применением явных формул (2) и (3).

В случае применения алгоритма явного метода трехшаговой серии уравнения ММС на заданном отрезке времени интегрирования  $T_k$  решаются циклически повторяемыми на каждом участке  $H_q$  шагами интегрирования  $h_1, h_2$  и  $h_3$ . От точности приближенных формул для оценки величин шагов  $h_2$  и  $h_3$  существенно зависит среднее значение шага  $h_{cp}$  и затраты машинного времени  $T_M$  в целом.

Таким образом, при использовании явных методов первого порядка точности расширение области устойчивости численного интегрирования, что эквивалентно обеспечению экстремумов  $h_{cp}$  и  $T_M$ , оказывается возможным при выборе значений шагов  $h_1, h_2$  и  $h_3$  в соответствии с доминирующими собственными значениями матрицы Якоби  $Y$ . Однако при решении уравнений математических моделей нелинейных электронных схем (НЭС) получение информации о спектре собственных значений матрицы  $Y$  практически не представляется возможным из-за чрезмерно большого объема вычислений, так как в процессе интегрирования собственные значения матрицы  $Y$  изменяются, т. е. являются переменными. Не постоянны также величины и число доминирующих собственных значений, которые меняются в соответствии с изменением характера переходных процессов в анализируемой НЭС. Поэтому на практике выбор оптимальных величин  $h_2$  и  $h_3$  может быть осуществлен лишь приближенно. Успешное решение этой задачи имеет важное значение в проблеме сокращения затрат  $T_M$  при анализе сложных нелинейных электронных схем с большим разбросом постоянных времени.

В работе предлагаются приближенные формулы для определения величин шагов  $h_1, h_2$  и  $h_3$ :

$$h_1 = a_1 / (a_2 + \|\dot{U}_k\|); \quad (4)$$

$$h_2 = \tau_{\min} = a_1 / (2 \cdot a_2 + \|\dot{U}_k\| + \|\dot{U}_{k+1}\|); \quad (5)$$

$$h_3 = k \cdot \tau_{\min} = (h_3^1 + h_2) \cdot h_3^1 / h_2, \quad (6)$$

где  $h_3^1 = a_1 / (2 \cdot a_2 + \|\dot{U}_{k+1}\| + \|\dot{U}_{k+2}\|)$ .

Как было отмечено выше, при анализе нелинейных электронных схем матрица коэффициентов уравнений ММС (матрица Якоби) имеет сложный спектр собственных значений, как правило, с несколькими доминирующими собственными значениями, число которых в процессе решения уравнений ММС являются переменными. В этих условиях процедуры выбора оптимальных величин шагов и их количества, используемых на уча-

отрезках  $H_q$  отрезка интегрирования  $T_k$ , существенно усложняются. В этой связи в работе рекомендуется для решения уравнений ММС на каждом участке  $H_q$  использовать алгоритм явного метода  $S$ -шаговой серии, причем  $S = 1, 2$  или  $3$ . Значение  $S$  уточняется в ходе решения уравнений ММС в соответствии с характером изменения переходных процессов в схеме, т. е. в соответствии со скоростью и характером изменения производных переменных состояния.

Уравнения ММС решаются с шагами  $h_2$  и  $h_3$  с целью компенсации (подавления) погрешностей, обусловленных доминирующим и дополнительным собственными значениями. От точности приближенных формул для оценки величин шагов  $h_2$  и  $h_3$  существенно зависят затраты машинного времени в целом. Сущность алгоритма явного метода решения уравнений ММС  $S$ -шаговой серии заключается в следующем. Вначале уравнения ММС решаются явным методом типа Эйлера с шагом  $h^k$ , определяемым согласно формуле (4). После этого текущее время  $t_k$  увеличивается на величину  $h^k$ , т. е.  $t_{k+1} = t_k + h^k$ . Вычисляется значение вектора переменных состояния  $U_{k+1}$  в точке  $t_{k+1}$ . Далее определяется производное вектора переменных состояния  $|\dot{U}_{k+1}$  и сравниваются знаки производных векторов переменных состояния в точках  $t_k$  и  $t_{k+1}$ . В случае равенства их знаков уравнения ММС решаются вновь с шагом  $h_1$ , определяемым, как и в точке  $t_k$ , по формуле (5), в противном случае решение уравнений ММС осуществляется с шагом  $h_2$ , который определяется по формуле (5). После этого производится оценка локальной погрешности  $\varepsilon_k$  численного интегрирования. Если она превышает некоторое заранее заданное допустимое значение погрешности, то уравнение ММС решается с шагом  $h_3$ , определяемым по формуле (6), иначе (а также после шага  $h_3$ ) – с шагом  $h_1$ . Далее описанные выше процедуры повторяются и на других участках  $H_q$  отрезка интегрирования  $T_k$ . При этом, после каждого очередного шага  $h^k$  решения уравнений ММС, текущее время увеличивается на величину этого шага  $h^k$ . Этот процесс решения уравнений ММС продолжается до тех пор, пока текущее время не будет равно или больше заданного отрезка интегрирования  $T_k$ .

Следует отметить, что на этапах выполнения шагов  $h_2$  и  $h_3$  на каждом участке  $H_q$  отрезка интегрирования  $T_k$ , когда осуществляется подавление погрешностей, порождаемых собственными значениями  $\lambda_{max}$  и  $\lambda_1$ , для решения уравнений ММС могут быть использованы более точные методы, например, явные методы Рунге-Кутты или неявные методы первого, второго или более высоких порядков. При этом выбор метода и его порядков следует согласовать с характером изменения спектра собственных значений матрицы Якоби и погрешностями, порождаемыми ими. Алгоритмы явного метода решения ММС двух- и  $S$ -шаговой серии реализованы в программе схемотехнического анализа ПСА и с её помощью выполнен анализ некоторых схем (ТТЛ, ЭСЛ, мультивибратора, однополупериодного выпрямителя с фильтром и др.), результаты которых приведены в таблице 1. Для сравнения приведены результаты анализа схем, полученные с помощью метода, реализованного в известной программе ПА1. Эти результаты наглядно свидетельствуют о преимуществе предложенных алгоритмов с точки зрения минимизации затрат машинного времени  $T_m$ , необходимых для анализа схем. Следует отметить, что в явных методах затраты  $T_m$  прямо пропорциональны количеству шагов  $Ш$  на заданном отрезке интегрирования.

Таблица. Результаты численного анализа схемы

Алгоритмы явных методов	Количество шагов Ш при анализе схем			
	Выпрямитель	ТТЛ	ЭСЛ	Мв
S-шаговой серии	53796	16784	6876	12875
Двухшаговой серии	398004	18041	8321	15794
Программы ПА1	781365	33438	14283	25968

Ниже приводятся кривые изменения напряжений в характерных точках схемы мультивибратора, полученные с помощью программы анализа ПСА (рис. 1), и алгоритм явного метода S-шаговой серии.

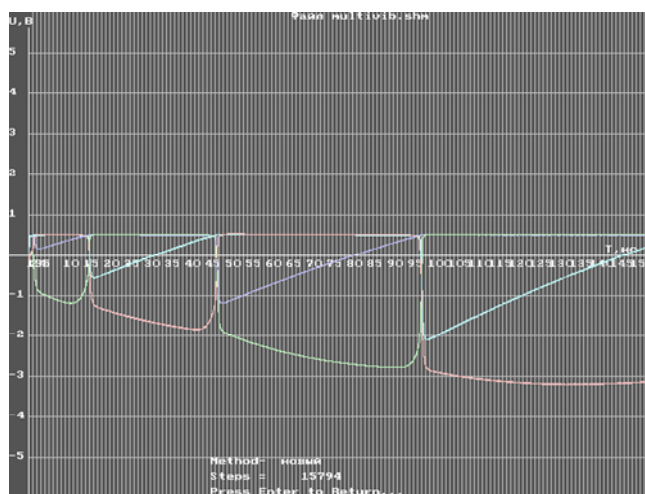


Рис. 1. Кривые изменения напряжений

Алгоритм явного метода S-шаговой серии:

1. Присвоить  $t_k := t_p := 0$  и  $b := c := 0$ ,  $U_k := U(t_k) = U(0) = 0$ ,  $\{t_k$  – текущее время,  $t_p$  – время печати,  $b$  и  $c$  – переменные, значения которых используются для определения направления выполнения алгоритма}.

2. Вычислить уравнение ММС, т. е. текущее значение производной вектора переменных состояния  $\dot{U}_k$ .

3. Проверить выполнение условия:  $b \leq 0$ , если оно выполняется, то перейти к п. 4, иначе к п. 11.

4. Вычислить текущий шаг  $h_k := h_1 := a_1 / (a_2 + \|\dot{U}_k\|)$ .

5. Присвоить  $b := 1$ .

6. Увеличить  $t_{k+1} = t_k + h_k$ .

7. Вычислить текущее значение вектора переменных состояния (напряжений на емкостях) в точке  $t_{k+1}$ , т.е.  $U_{k+1} := U_k + h_k \dot{U}_k$ .

8. Если выполняется условие  $t_{k+1} \geq t_p$ , то перейти к п. 9, иначе к п. 10.

9. Вычислить в  $t_p = t_p + h_p$  и выдать на печать текущие значения  $U_k$  и  $t_k$  и перейти к п. 10,  $\{h_p - \text{шаг печати}\}$ .
10. Если выполняется условие  $t_{k+1} \geq T_k$ , то перейти к п. 16, иначе к п. 25  $\{T_k - \text{заданный отрезок интегрирования}\}$ .
11. Если выполняется условие  $c \leq 0$ , то перейти к п. 12, иначе к п. 22.
12. Проверить условие равенства знаков производных векторов переменных состояния, т. е.  $\text{sing}(\dot{U}_{k+1}) = \text{sign}(\dot{U}_k)$ . Если условие выполняется, то перейти к п. 4, иначе к п. 13.
13. Присвоить  $c := 1$ .
14. Определить текущий шаг  $h_{k+1} := h_2 := a_1 / (2a_2 + \|\dot{U}_k\| + \|\dot{U}_{k+1}\|)$ .
15. Перейти к п. 5.
16. Если выполняется условие  $c \leq 0$ , то перейти к п. 2, иначе к п. 17.
17. Вычислить локальную погрешность  $\varepsilon_{k+1}$  определения вектора переменных состояния  $U_{k+1}$  в точке  $t_{k+1}$ .
18. Если выполняется условие  $\varepsilon_{k+1} \leq \varepsilon_{\text{доп}}$ , то перейти к п. 19, иначе к п. 20.
19. Присвоить  $b := 1$  и перейти к п. 2.
20. Присвоить  $b := c := 0$ .
21. Перейти к п. 2.
22. Вычислить шаг  $h_{k+1}^1 = a_1 / (2a_2 + \|\dot{U}_{k+1}\| + \|\dot{U}_{k+2}\|)$ ,  
 $h_{k+1} := h_3 = (h_{k+1}^1 + h_k) \cdot h_{k+1}^1 / h_k$ .
23. Присвоить  $b := c := 0$ .
24. Перейти к п. 6.
25. Выдать на печать текущие значения  $U_k$  и  $t_k$ .
26. Конец.

Список литературы

1. Норенков И.П., Маничев В.В. Основы теории и проектирования САПР. – М.: Высшая школа, – 1990. – С.335.

Получено: 06.11.06.

УДК 378.14

**В.П. Куликов**  
СКГУ, г. Петропавловск

**К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭФФЕКТА ОБУЧЕНИЯ В ГРУППЕ**

Обучение в группе – обязательно социальная деятельность, успешность которой обусловлена наличием коллектива. Разумеется, наличие коллектива в данный момент  $t$  не равно наличию группы, поскольку коллектив следует отнести не к явлению множества, а скорее системы. По определению коллектива полагается обнаруживать общность и одновременность интересов индивидов, группе лишь полагается общность признаков индиви-

дов, зачастую формальных. Однако группу можно образовать и по общности интересов, как по общему признаку. В интересах различия такой ситуации следует отказаться в этом случае от понятия «группа» в пользу понятия «коллектив», тем более, что учебные группы в учебных заведениях в последнюю очередь формируются по одновременной идентичности интересов, а в первую – по формальной принадлежности.

Таким образом, создание системы – коллектива – одна из задач педагога, чему способствует формальное объединение в группы, потоки на занятиях разного типа, более того, даже СРСП или СРС (так называемые оргСРС) в рамках учебного процесса вуза декларативно требуют наличие педагога и организации взаимодействия группы, разве что более произвольной, чем на аудиторных занятиях. Тем более, все это характерно для так называемых «активных» форм обучения. Модели группы и коллектива известны [1,2].

Для создания модели коллектива воспользуемся представлением множества субъектов в виде графа с изменяемой структурой. Каждый субъект отображается вершиной, а наличие заинтересованного обоюдного взаимодействия – дугой. Такая метафора системы позволит говорить о коллективном обучении на протяжении некоторого времени при наличии связного подграфа, содержащего не менее оговоренной части ото всех вершин связного графа. Можно полагать несущественность индивидуальностей, которые именно одновременно составляют связный подграф, принципиально достижение порогового значения вовлеченности, хотя эффект следует учитывать именно вовлеченным.

В пользу данной интерпретации можно привести полезную для возникновения коллектива роль педагога в начале занятия и даже звонка на занятие, когда связный граф возникает безусловно. Поскольку внимание субъектов замыкается на педагоге и его «правильное» поведение гарантирует почти 100 %-ное их вовлечение на начальной стадии занятия, и коллектив, обусловленный любой долей участников, заведомо существует.

То есть на момент  $t_0$  будет существовать система – коллектив из  $N+1$  субъектов – вершин описываемая связным неориентированным графом, содержащим  $N$  дуг - взаимодействий. В последующие моменты времени по инициативе субъекта взаимодействия связь может быть нарушена или, напротив, установлена новая связь к любому субъекту. Педагог как  $+1$  субъект взаимодействий в системе – коллективе не будет исключением, он также будет считаться проявляющим инициативу. Субъект, олицетворяющий вершину графа, обладающую в данный момент времени  $t$  максимальным набором дуг  $<N+1$ , будет считаться лидером коллектива. Очевидно, лидер – не обязательно педагог. Можно попытаться положить возможным обрыв только всех связей одного субъекта сразу по инициативе этого субъекта в определенный момент  $t$  (что отражает «выпадение» субъекта из коллектива по личным мотивам). Установление новых связей в момент  $t$  постулируем как набор единичных связей субъект – субъект (что отражает возможность диалога) в количестве, не понижающем запас связности графа [9]. Таким образом, звонок на занятие – исключение, позволяющее установить множественные связи, которые не образуют запаса связности. Каждой вершине – субъекту – можно приписать функцию возможности – невозможности устанавливая связи в каждый момент времени. В моменты невозможности все связи считаются оборванными, субъект не является в любом случае членом коллектива. В моменты возможности связи могут быть только установлены, но не прерваны по инициативе данного субъекта, и вершина может участвовать в образовании коллектива. То есть, можно предполагать заданными  $N+1$  функции  $f_i(t)$  на отрезке времени от  $t_0$  до  $t_k$ , принимающие бинарные значения  $\{0, 1\}$ . Дуги графа могут соединять только вершины в

состоянии «1». Связность оценивается по существующим в данный момент дугам. Появление дуг, влияющее на связность графа, обеспечивается наличием вершин помеченных состоянием «1», удаление дуг в каждый момент времени  $t$  обеспечивают значения «0» в вершинах графа функций  $f_i(t)$ . Имеет смысл ввести функцию  $g(t)$ , принимающую бинарные значения  $\{0, 1\}$  в зависимости от наличия/отсутствия достаточной связности и влияющую на эффективность обучения. Самостоятельную ценность приобретает множество вершин, образующее минимальное покрытие, именно маркировка нулем какой-либо вершины этого множества, прежде всего, повлияет на характеристики связности.

Если дополнительно ввести веса вершин и дуг (большой вес вершины означает большую способность устанавливать связи, меньший вес дуги – большую плотность графа, отсутствие связи маркируется в этом случае не нулем, а бесконечностью), модель приобретет большую различающую способность. Появится возможность введения интегративных характеристик (в виде числовых коэффициентов), более детально характеризующих групповые свойства, то есть кроме понятия лидера группы можно ввести понятие центра внимания, диаметра интересов, эксцентриситета каждого субъекта взаимодействия.

Количественная сторона оценки связности графа как отражение наличия для группы коллективного эффекта, выражающаяся в долях 1, может быть определена, в том числе, из экономических соображений. Приведем приблизительное рассуждение. Педагог, отвлекаемый на обучение группы студентов высшей школы, «вычитается» из активной научной жизни (составляющей у специалиста высшей квалификации до 25-30 лет) на полный цикл обучения (4, 5, 6 лет). Чтобы погасить негативный эффект этого «вычитания» одной пятой возможностей педагога как ученого, следует добиваться не менее пятикратного «перепроизводства» специалистов-ученых. С учетом неизбежного ненулевого процента отсева и, кроме того, отвлечения минимум одного ученого на нужды обучения «потомков», получим желательность вовлечения в коллективную работу-учебу в каждый момент времени 6-7 учащихся как нижнюю оценку размера связного подграфа для графа на 20-25 вершин (если речь идет о студенческой группе). Учитывая психологическую особенность восприятия человеком одновременно не более 7-9 сущностей, оценка в 7-8 вершин-студентов связного подграфа из 20-25 на группу в целом является самой «естественной».

Таким образом, связность подграфа в объеме вершин не менее трети можно принять за наличие коллективного эффекта. Естественная система, возникающая при этом из группы, будет состоять почти (но не более) из 9-10 рангов (подгрупп разного размера) [7]. Вычисляемым из системных ранговых соображений размером группы становится величина  $\sim 100$  человек (так как  $9 \ln 9 < 20 < 10 \ln 10$ ). Из распределения Ципфа для естественных информационных систем можно получитьвилку оценки количества студентов в группах, как минимум  $7+3+2+1+1+1+1+0+0+0=16$ , как максимум  $7+4+3+2+2+2+1+1+1+1=23$ . Или соответственно минимум  $8+4+2+2+1+1+1+1+0+0=20$ , максимум  $8+4+3+2+2+2+2+1+1+1=26$ , а для 9 вершин в графе минимум  $23=9+4+3+2+1+1+1+1+0$ , при максимуме  $30=9+5+3+3+2+2+2+2+1+1$ , преувеличенно большой граф в 10 вершин породит соответственно минимальную группу в  $27=10+5+3+2+2+1+1+1+1+1$  и максимальную из  $33=10+5+4+3+2+2+2+2+2+1$ . Прекрасно видна аутентичность оценки размеру студенческой группы. Максимальный связный подграф из 20 вершин устойчиво может существовать (расчет из системных соображений, как выше по тексту) в группе от 66 до 80 человек. Для 25 вершин – в группе от 87 до 109. Вспомним опыт Гарвардской школы бизнеса, в которой методы работы в малых группах считаются примени-

мыми для численности от 20 до 100 человек при условии сохранения «целостности и стабильности группы» [8]. Характеристики целостности считаются столь важными при обучении, что для ГШБ были построены корпуса с соответствующими аудиториями в форме амфитеатра. Здесь же уместно отметить такой замечательный факт, что разноразмерных (но однородных внутри) рангов подгрупп получается не более 7-9 (это для группы численностью до 109 человек), и преподавателю достаточно одновременно держать в памяти не более этого количества приемов переключения внимания (взаимодействия) на себя представителей каждого ранга. Соображения, связанные с «естественной» системой размером в 20-25 элементов, говорят о связности подграфа максимум из 7-9 вершин. Группа при этом устойчиво распадется на одну-три подгруппы по 2-4 студента и до 3-5 одиночных студентов, «оставив» преподавателю внимающих ему 7-9 студентов, получающих запланированный кумулятивный эффект.

Резюмируя приведенные рассуждения, сформулируем итог системно-экономического рассмотрения проблемы: полносвязный граф студенческой группы, имеющийся на начало любой пары, устойчиво (из общесистемных соображений) деградирует в десяток отдельных связанных графов размером не более чем из 7-8 вершин. На пределе психолого-педагогических возможностей преподавателя групповой эффект обучения возможно поддерживать в предельной по размерам группе из 85-114 студентов, но, как показывает практика ГШБ, только в специально отстроенных и оборудованных аудиториях. Последнее замечание касается, в первую очередь, аудиторий в форме амфитеатра на 80-100 человек, в которых преподаватель находится рядом со всеми студентами сразу и динамически поддерживает связность, характерную для естественно структурированной группы, недостижимую в обычных плоских или даже уклонных аудиториях.

Особняком стоит вопрос о временной доле кумулятивного эффекта. Оказывается, постоянное наличие коллектива – событие почти невероятное, то есть более редкое, чем его постоянное отсутствие. Данный качественный вывод получается в результате расчета количества отрезков постоянства логической функции  $g(t)$  аппаратом непрерывной логики [1]. Количество интервалов постоянства оценивается в этой работе как функция от количества переключений каждой вершины  $f_i(t)$  в состояния готовности/неготовности к сотрудничеству. До первой (на оси времени) точки готовности к сотрудничеству и после последней точки неготовности к сотрудничеству коллективного эффекта гарантировано быть не может. На интервале между этими отсчетами времени каждое состояние системы возможно. Количество переключений состояний может достигать  $\sim 1/3N(M-1/3N)$ , где  $M$  выражает общее число индивидуальных переключений состояний готовности / неготовности к сотрудничеству,  $N$  – полное число вершин, уровень вовлеченности для наличия кумулятивного эффекта принят здесь  $N/3$ . Необходимым и достаточным условием постоянного существования кумулятивного эффекта является более раннее очередное включение в коллектив, чем очередное выпадение из коллектива субъектов, олицетворяемых вершинами графа, в текущее состояние коллектива с необходимостью не включаемые, плюс единственный субъект, чье раннее выпадение разрушает кумулятивный эффект. Если предположить студенческую группу не случайным конгломератом, а «моделью малого мира», то средним диаметром связанного подграфа группы будет величина  $D = \ln(N)/\ln(z)$  при среднем количестве дуг в таком графе  $Nz/2$  и среднем количестве взаимодействий равном  $z$ . Вводя коэффициент усредненного коллективизма как среднее отношение числа самостоятельно взаимодействующих вершин графа из числа вершин, вовлеченных во взаимодействие каждой вершиной, получим некоторый коэффициент  $C$ , допускающий



двустороннюю оценку. С одной стороны, в полносвязном графе (подграфе)  $C=1$ , с другой стороны, для полностью случайных взаимодействий  $C=1/N$ , так как наличие связи не зависит от выбора пары. Если взаимодействие вершин на графе устроено регулярным образом, то  $C$  можно получить, анализируя конечное подмножество вершин (кластер). Наиболее близко к естественной системе рассмотрение группы как «модели малого мира», поскольку именно эта модель позволяет получать эффект кластеризации при отсутствии «видимой» регулярности графа, отображающего группу. Для студенческой группы  $D=\ln(20)/\ln(20/7)=2,85$ , дуг  $\sim 13$ , взаимодействий в среднем  $z=1,25$ . Следовательно, преподаватель, как правило, имеет дело с подграфом максимального размера в форме дерева, или изредка даже «куста» (как в начале пары). Полагая допустимым хотя бы однократное отвлечение каждого из студентов, следует учесть не более  $1/9N^2 \sim 45$  (на самом деле максимум 40) переключений на протяжении цикла обучения (если речь идет о паре, то в среднем – по одному в две минуты). Не увеличивая число предположений, поток событий во времени моделируется как простейший, пуассоновский, с интенсивностью одно событие в две минуты. Как видно из вышеприведенных формул, каждое четвертое событие – исчезновение, или появление в графе, по крайней мере, двух дуг. Поскольку дающее эффект кумуляции дерево состоит из почти половины дуг графа, а удаление на дереве двух дуг означает удаление не менее двух вершин, «почти наверняка» оставшийся граф не обладает подграфом достаточной связности. Минимального размера максимальный связный подграф группы достигнет в среднем на 8-10 событиях, так как начальный граф обладает однозначной структурой «куста» на 20 ветвей, после чего возврат к воспроизводству подграфа, дающего кумулятивный эффект, потребует (с равной вероятностью в среднем 4 или 8 событий) 6 событий. Идеальной продолжительностью существования большого связного подграфа может обеспечить только скопление «неудачных» выпадений вершин из максимального подграфа в конце пары, таких событий – каждое восьмое, развал «куста» наверняка произойдет при первом из пяти таких событий, то есть на пятом событии от конца пары (в шести временных интервалах, в среднем  $\sim 12$  минут). В итоге положительный групповой эффект ограничится  $8+6 \cdot 4=32$  переключениями (то есть по разным оптимистическим оценкам эффективная работа с подгруппой оптимального «экономического» размера продлится 64-68 минут). Нижняя оценка – к 12 событию максимальный связный подграф примет устойчивый оптимальный размер 6-7 вершин и будет колебаться около необходимого экономически эффективного размера в 5-8 вершин (средняя по оптимистичности оценка времени существования эффекта от коллективной работы  $16+32=48$  минут). Если ситуация складывается неудачно, можно предположить пессимистический вариант – 10-16 минут. Удлинение пары без перерыва длиной час двадцать = 80 минутам, до стандартной пары в 90 минут, сдвигает оценку: пессимистическую – до 11-18 минут, среднюю - до  $18+34 = 52$  минут, оптимистическую – до 72-76 минут. Для 100-минутной пары сдвиг оценки: пессимистической – до 12-20 минут, средней - до  $20+40=60$  минут, оптимистической – до 80-85 минут.

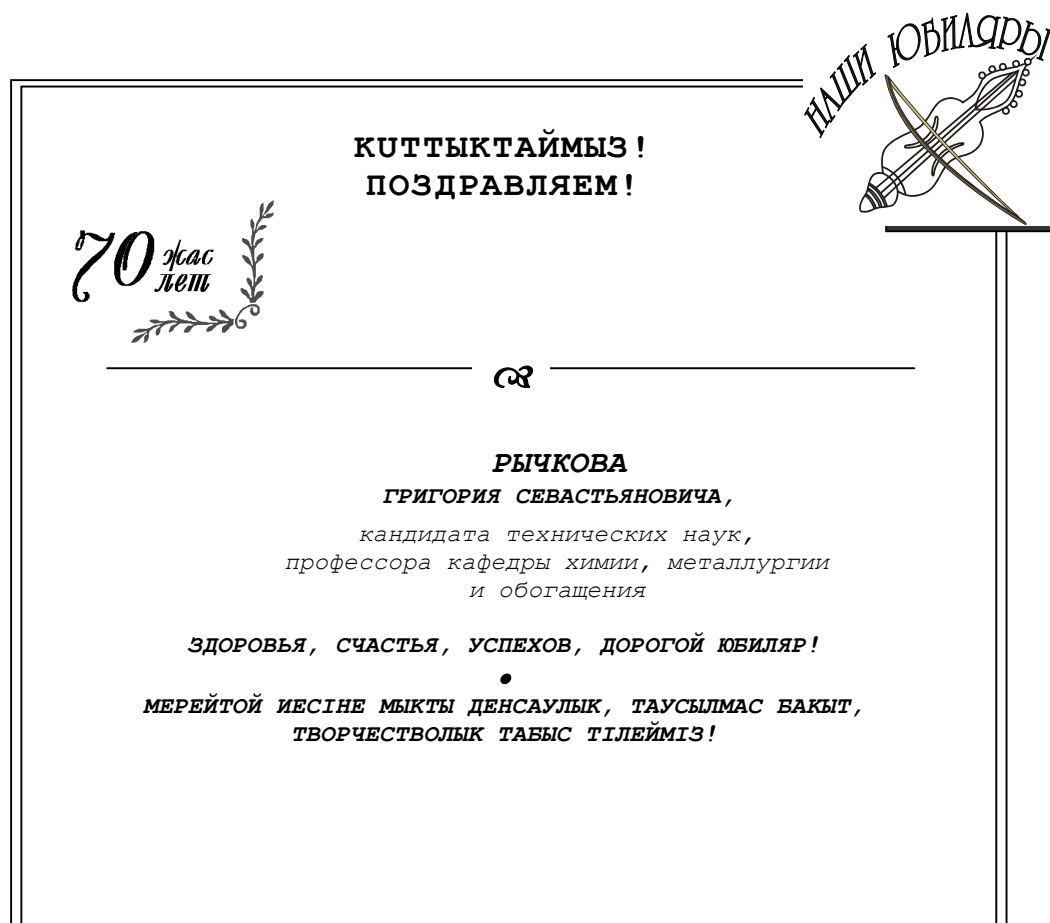
Можно положить постоянный кумулятивный эффект достижимым не более чем для 6 студентов ( $6+3+2+2+1+1+1+1=20$ ), а для подгруппы в 7-8 студентов максимально эффективно проводимое учебное время ограничится интервалом от четверти до трех четвертей со средней оценкой, близкой к пессимистической четверти. Одно из качественных наблюдений, проверяемое на опыте выпускников, – блестящий сонм выпускников, вероятно, может быть наблюдаем в количестве, не превышающем третьей части выпуска, а

общее количество выпускников уровнем выше среднего будет на уровне четверти, в идеальном случае поднимаясь до трех четвертей. Не обижая остальных, предположим, что эффект от обучения они получают вследствие умения добиваться результата исключительно индивидуальными усилиями. Более того, главное, что они вынесут из университета – умение учиться самостоятельно (если оно не приобретено в школе).

## Список литературы

1. Левин В.И. Автоматное моделирование процессов возникновения и распада коллектива // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 3. – С.92-100.
2. Васин А.А. Модели динамики коллективного поведения. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 156 с.
3. Левин В.И. Структурно-логические методы исследования сложных систем с применением ЭВМ. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
4. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1977. – 303 с.
5. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М., 1982. – 152 с.
6. Барнс Л.В., Кристенсен К.Р., Хансен Э.Дж. Преподавание и метод конкретных ситуаций. – М., 2000. – 501 с.
7. Филлипс Д., Гарсиа-ДиасА. Методы анализа сетей. – М., 1984. – 496 с.
8. Дмитриев А., Старков С. Новые подходы к решению проблем в системах связи и компьютерных сетях: динамический хаос // Компьютерра № 46(№423), 2001.
9. V.T.J. Newman. Models of Small Worlds. A Review. <http://www.arxiv.org/cond-mat/0001118>, v2. 2000.

Получено 28.11.06.





УДК 378.48

**В.П. Куликов, В.П. Куликова**

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

**В.Б. Рабинович**

University of Joensuu, Finland

#### К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СППСГР ПРИ РАЗРАБОТКЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ

Система образования переживает далеко не лучшие свои дни. И если системные проблемы (разрушение: пропорций «модные-немодные» специальности; функциональных связей «спрос-предложение» рынков труда и образовательных услуг; самого вуза посредством краха «трудовой этики как основы социальных коммуникаций») объективны, то «внутрисистемные» вопросы нередко персонифицированы. В частности, в разработке образовательных стандартов и типовых программ роль лица (лиц), наделенного полномочиями, переоценить трудно. Конечно, цель системы образования отражает национальную (государственную или иную, но соизмеримую) идею. Роль стандартов – агрегировано указать, как соответствовать целеполаганию.

Круг вопросов, рассматриваемых в рамках семинара «Международное сотрудничество и прогрессивные технологии в высшем образовании», включал анализ процесса разработки образовательных стандартов, обсуждение предложенной Системы Поддержки Принятия Согласованных Групповых Решений (СППСГР) [1].

Отмечено, что стандарты высшего образования, разработанные традиционно малым коллективом (члены которого зачастую не принимают ряда тенденций образования, а также допускают элементарные ошибки, опечатки, неизбежные при ручной работе), изобилуют разного рода недостатками, в частности, множеством спорных, откровенно некорректных и даже противоречивых норм. В итоге страдает, прежде всего, качество высшего образования в республике. Представляется, что части проблем можно избежать, то сгладить, если к разработке базового содержания образовательных стандартов привлекать многих экспертов, обладающих определенным опытом решения таких задач на практике. Результатом выработки согласованного группового решения явятся сбалансированные, отвечающие многим субъективным требованиям стандарты. Разумеется, эти

субъективные требования должны отражать насущные проблемы подготовки специалистов с высшим образованием.

Разработка типовых учебных планов, входящих в состав стандарта, должна предусматривать анализ взаимосвязи дисциплин базового содержания. Отметим, что распределение дисциплин по семестрам, а также формы промежуточного и итогового контроля по дисциплине, можно автоматизировать на той же платформе с использованием графа последовательности изучения предметов, который строится на основе экспертного опроса (данное исследование проводится вне рамок предлагаемой работы).

Требования к стандарту базируются на концепции:

- стандарт определяет необходимый минимальный уровень профессиональной образованности;

- стандарт - проводник высшей школы в мировое культурно-образовательное пространство.

В итоге, стандарт должен предусматривать:

- единство требований к специалисту путем внесения всех необходимых дисциплин по данной специальности;

- тематическую направленность дисциплин, позволяющую развивать функциональные и творческие способности будущего специалиста (а не декларировать определенные качества специальности).

Слабоструктурированные проблемы обладают рядом неприятных особенностей:

- как правило, не позволяют точно сформулировать задачу, направленную на решение данной проблемы;

- отсутствует объективная мера успеха результата (в таких условиях применение экспертных оценок оправдано);

- требуют итеративного процесса принятия решения;

- не известны альтернативы решения, каждая альтернатива должна быть специально найдена.

Естественно, при согласовании решений неопределенность оценок каждого эксперта, участвующего в переговорах, накладывается друг на друга, создавая дополнительные трудности. Чем больше степень неопределенности, тем большее значение в процессе принятия решений и их согласовании имеет субъективная оценка руководителя. Субъективная оценка руководителя – это оценка, сделанная им на основе собственного опыта, интуиции, предпочтения или интереса, а не на основе абсолютно точного знания. Именно субъективная оценка снимает неопределенность. Субъективные оценки должны восприниматься формальным анализом в качестве входных данных. При этом, очевидно, полученные результаты также должны восприниматься как отражающие субъективные предпочтения.

Итак, лицу, утверждающему образовательный стандарт (либо руководителю разработки), необходим инструмент для выяснения мнений экспертов и их анализа, позволяющий принять решение относительно рационального наполнения стандарта минимальным набором предметов для конкретной специальности, и наиболее рационального содержания типовой учебной программы по подготовке специалиста.

Предлагаются следующие направления совершенствования существующей системы разработки государственных образовательных стандартов:

- автоматизация обработки данных, ранее производимой вручную;

– оптимизация формируемых решений в системе принятия решений.

Для успешного внедрения таких нововведений в СКГУ разработаны теоретическое обоснование и программная поддержка принятия решений при разработке стандартов многими экспертами. В рамках моделирования СППСГР при разработке образовательных стандартов на основе математических методов оценивания и выбора наилучших альтернатив решены следующие задачи [1]:

– создана описательная модель поддержки принятия согласованных групповых решений при проектировании образовательных стандартов;

– разработаны методы оценивания целей и альтернатив экспертами;

– разработаны критерии выбора и алгоритмы поиска оптимального решения.

Модель СППСГР включает комбинацию классических методов принятия решений:

– *метод парных сравнений для «взвешивания»* подцелей (или критериев) (оценки весьма значимы, но требуют от каждого эксперта заполнения большого количества матриц:  $(n^2-n) \cdot k$  для каждого критерия, где  $n$  – число альтернатив,  $k$  – число критериев; и, хотя при условии обратносимметричности матриц это число может быть сокращено вдвое, для повышения привлекательности системы решено использовать метод только на уровне подцелей);

– *метод непосредственного оценивания* степени достижения альтернативой конкретной подцели (каждый эксперт заполняет матрицу размерности  $n \times k$ , а лицо, взвешивающее критерии, –  $(k^2-k)/2$  значений обратносимметричной матрицы);

– *метод взвешенной аддитивной свертки* для перехода от многокритериальной задачи к однокритериальной (предполагается исчерпывающая полнота набора критериев и возможность компенсации одного критерия за счет других);

– *минимаксный критерий* для перехода от индивидуальных мнений экспертов к коллективной оценке (принята позиция крайней осторожности, т.е. выбираются альтернативы, для которых худшая оценка экспертов максимальна; возможный выбор в качестве оптимального решения – несогласованного, имеющего недопустимо низкие экспертные оценки, предотвращается предварительным исключением всех альтернатив с низкими оценками, что допустимо в силу итеративности всей процедуры).

Основой проектируемой СППСГР служит дендроидная модель структуры стандарта конкретной специальности (отдельной специализации) (рис. 1). Корень дерева содержит название разрабатываемого стандарта, его непосредственные потомки представляют собой циклы дисциплин (традиционные, такие, как СГД, ЕНД, ОПД, СД или специально выделенные, такие, как, например, «Базовые дисциплины», «Общие профессиональные дисциплины», «Дисциплины специализации»). Отметим возможность дальнейшего деления циклов на компоненты вплоть до отдельных предметов. Каждый лист дерева – это отдельная проблема, требующая согласованного решения на множестве альтернатив. При этом:

– если лист – цикл предметов, то одна альтернатива – это предлагаемый набор предметов, составляющих этот цикл;

– если лист – отдельный предмет, то альтернатива – это предлагаемая конкретная спецификация этого предмета.

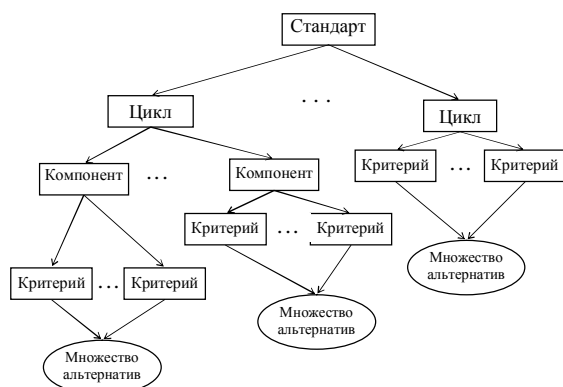


Рис. 1. Дерево для разработки образовательного стандарта

Каждый элемент дерева обладает набором свойств [2]: константных (например, название элемента) или вычисляемых (например, количество часов, равное сумме этого же свойства «детей» данного элемента). Эти свойства задают ограничения допустимости и оптимизации.

Каждый предмет, составляющий альтернативу, также обладает набором свойств (например, количество часов (кредитов), содержание предмета).

Каждому циклу предметов соответствует набор оценивающих альтернативы критериев, обладающих весом, шкалой и минимально приемлемым в данной задаче значением. Кроме того, рекомендуется, чтобы все критерии были сформулированы «однонаправленными»: например, увеличение оценки по одному из критериев при прочих равных соответствует улучшению решения, и наоборот. Критерии должны быть независимы друг от друга и полностью отражать цели, поставленные при разработке образовательного стандарта.

Итак, предлагаемая СППСГР обеспечивает информационной поддержкой лицо, наделенное полномочиями (ЛПР), для принятия окончательного решения о содержании образовательного стандарта. Цель обработки экспертного опроса – информировать ЛПР о коллективном предпочтении альтернатив.

Отметим, что листы дерева образовательного стандарта разрабатываются отдельно друг от друга и строго последовательно. Процесс разработки одного листа состоит из следующих этапов:

- Этап 1: а) формирование набора критериев и взвешивание критериев;
- б) формирование множеств альтернатив.

Этап 2: Оценивание альтернатив.

Этап 3: Расчет оптимального решения.

Задача оптимизации на множестве альтернатив имеет традиционную формулировку, для чего многокритериальные оценки преобразуются к однокритериальной (свертка критериев – взвешенная сумма критериальных оценок), а групповые оценки – к единой коллективной оценке (свертка индивидуальных мнений экспертов – критерий минимакса). Последовательное применение к мнениям всех экспертов этих преобразований приводит к целевой функции для максимизации.

Наглядное изображение работы системы по согласованию содержания одной вершины стандарта приведено на обобщенной диаграмме деятельности (рис. 2).

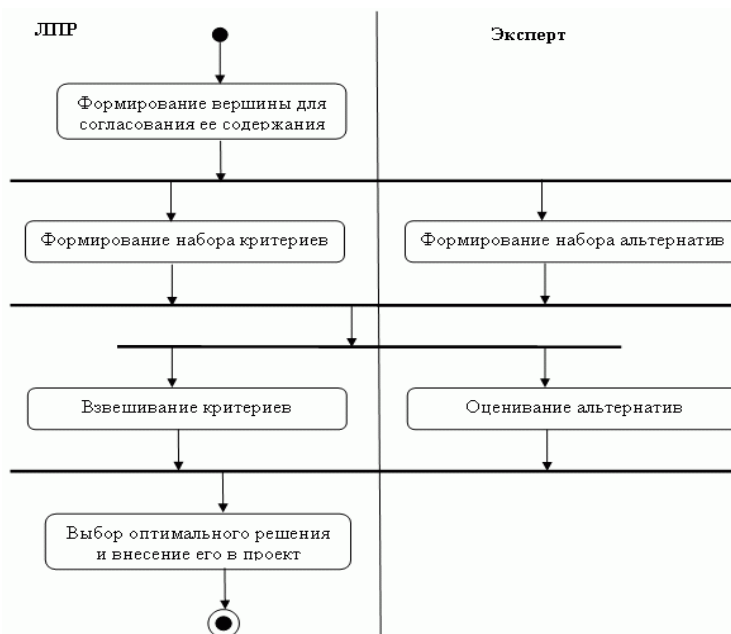


Рис. 2. Диаграмма деятельности по согласованию содержания вершины

Таким образом, инициирует работу системы ЛПР, формируя вершину для согласования и ее свойства. После завершения этой деятельности ЛПР формирует набор критериев оценки альтернатив, а эксперты параллельно с этим формируют набор альтернатив. После синхронизации параллельных потоков эксперты приступают к оцениванию альтернатив по заданным критериям, а ЛПР взвешивает критерии. Когда все альтернативы оценены всеми экспертами, а критерии взвешены, становится возможным расчет итоговых оценок альтернатив, а следовательно, и выбор оптимальной альтернативы и внесение ее содержания в проект стандарта.

На данном этапе проектирования становится ясно, что для синхронизации потоков деятельности различных пользователей необходимо ввести определенные идентификаторы текущего состояния системы. Предлагается использовать следующие маркеры для условного разбиения процесса на фазы:

- «Набор критериев сформирован»;
- «Набор альтернатив сформирован»;
- «Критерии взвешены»;
- «Альтернативы оценены всеми экспертами».

Процесс, изображенный на рис. 2 должен повторяться для каждой вершины-листа стандарта. Когда для каждой вершины-листа выбрано оптимальное решение, можно просмотреть окончательный проект стандарта.

Для хранения и выдачи информации, используемой в предлагаемой СППСГР, спроектирована база данных, состоящая из 15 взаимосвязанных таблиц [3].

Система для согласованной разработки образовательных стандартов состоит из 10 страниц на языке ASP (VBScript) и одной страницы стилей, которая применяется ко всем html-страницам [3]. Система предусматривает ограниченный доступ пользователя к отдельным стандартам в зависимости от авторизации (имя и пароль). Главная рабочая

страница системы состоит из двух вертикальных фреймов: в левом отображается страница tree.asp, основным наполнением которой является ActiveX элемент управления TreeView 6.0, а в правом фрейме – страница content.asp. Ее содержание зависит от того, какой вид доступа к работе над стандартом имеет пользователь – ЛПР (руководитель разработки) или эксперт. ЛПР доступно добавление новой шкалы, выбор минимально допустимого значения на шкале при создании критерия, взвешивание сформированного набора критериев, отображение уже согласованных вершин с их содержанием в отдельном окне. Эксперту доступны страницы для отображения содержимого альтернативы и ее редактирования и для отображения уже согласованных вершин с их содержанием в отдельном окне.

Итак, в правом фрейме отображается информация в зависимости от того, какую вершину дерева в левом фрейме выберет пользователь. Файл content.asp вызывается для выполнения следующих функций:

- *отображение страницы эксперта для выбранной вершины:*
  - добавление альтернативы;
  - удаление альтернативы;
  - установка признака «согласен с набором альтернатив»;
  - установка признака «оценил альтернативы»;
  - занесение оценок альтернатив в базу данных;
- *отображение страницы администратора для выбранной вершины:*
  - добавление вершины в дерево;
  - удаление вершины из дерева;
  - добавление свойства вершины;
  - удаление свойства вершины;
  - добавление критерия для вершины;
  - удаление критерия для вершины;
  - занесение весов критериев в базу данных;
  - вычисление взвешенной суммы для альтернатив;
  - добавление шкалы в базу данных;
  - занесение выбранного решения в базу данных.

Технология программирования – Active Server Pages (ASP), позволяет быстро создавать интерпретируемые сценарии с удовлетворительным временем исполнения, т.к. с учетом современных вычислительных мощностей необходимо минимизировать прежде всего затраты на разработку. В качестве языка программирования высокого уровня для написания серверных сценариев был выбран VBScript (поскольку он является фактическим стандартом для технологии ASP и, кроме того, является подмножеством одного из самых популярных языков программирования Visual Basic). Для написания клиентских сценариев использовались два языка: JavaScript и VBScript (одного VBScript оказалось недостаточно, т.к. в нем реализованы не все функции для выполнения математических вычислений). В качестве системы управления базами использована СУБД Microsoft SQL Server 2000 как общепризнанный инструмент по скорости и надежности обслуживания баз данных. Для построения дерева иерархии используется ActiveX элемент управления TreeView версии 6.0 (предоставляет удобные механизмы формирования и форматирования дерева).

Таким образом, технические требования к программному обеспечению клиента и сер-



вера таковы:

- для работы с системой клиент должен иметь операционную систему Windows с установленной библиотекой mscomctl.ocx, браузер Internet Explorer версии 5.0 или выше с включенной поддержкой клиентских сценариев;
- для запуска системы на сервере потребуется интерпретатор ASP и предоставление интерфейса доступа к базам данных ADO;
- должна быть запущена служба Microsoft SQL Server 2000.

Основная работа пользователей по согласованию содержания стандарта после предварительного выбора стандарта и успешного прохождения авторизации происходит на странице администратора или эксперта (рис. 3, 4).

Администратор имеет возможность добавить/удалить вершину в дерево стандарта, добавить ограничение на количество часов в содержании вершины (задать максимум и минимум), создать новый критерий с добавлением его в набор критериев для текущей вершины, а также удалить критерий из набора. Для создания критерия требуется задать шкалу оценивания (выбрать из списка или предварительно создать новую шкалу и добавить в список). Кроме того, на выбранной шкале необходимо задать минимально допустимое значение, смысл которого в следующем: если хотя бы один из экспертов оценит альтернативу значением на шкале меньше заданного, то она ни при каких условиях не может быть принята в качестве оптимальной.

Инициация кнопки «Набор критериев сформирован, взвесить критерии» означает, что администратор стандарта удовлетворен набором критериев. После чего появится окно, где предлагается таблица парных сравнений критериев. В ее ячейки необходимо занести значения превосходства одного критерия над другим по пятибалльной шкале (Одинаковая значимость; Умеренное превосходство; Существенное превосходство; Значительное превосходство; Несопоставимое превосходство). Таблица автоматически поддерживается в состоянии обратносимметричности.

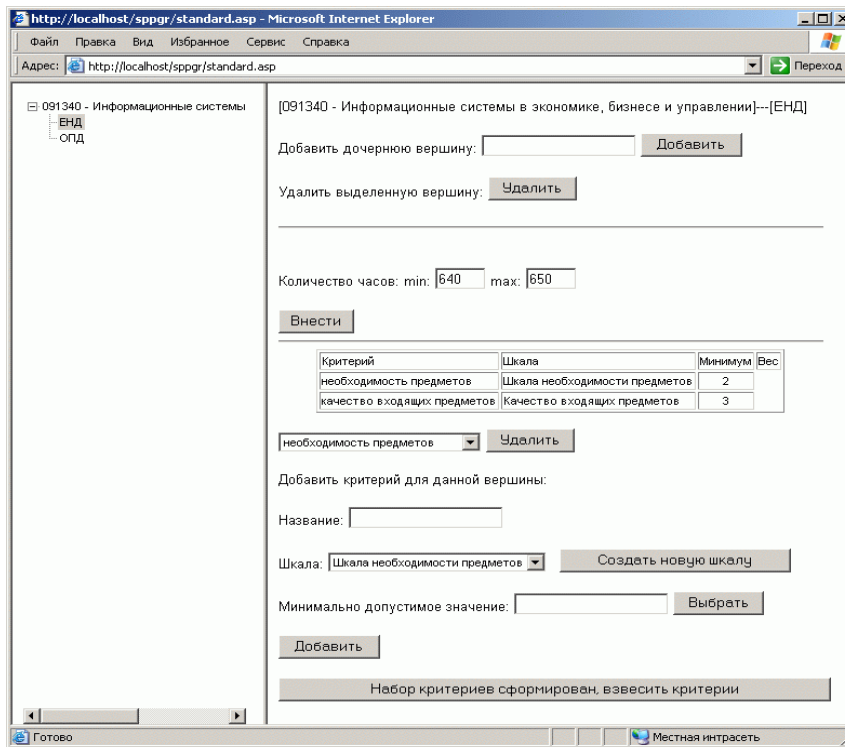


Рис. 3. Страница администратора стандарта

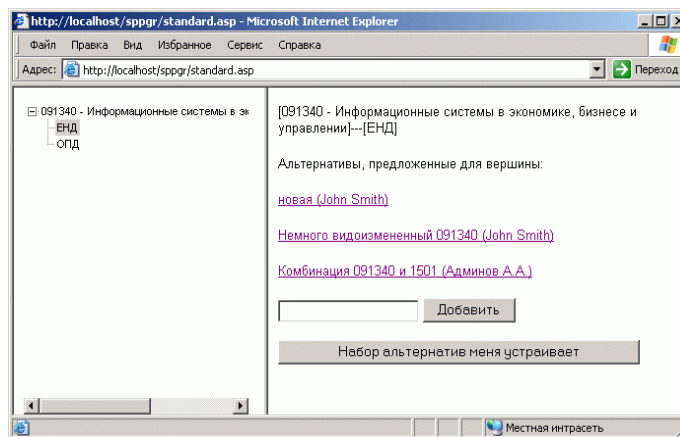


Рис. 4. Страница эксперта

Расчет собственного вектора матрицы по ранее описанному методу производится на стороне клиента после нажатия кнопки «Взвесить». Затем этот вектор заносится в базу данных, после чего изменение набора критериев становится невозможным. Возможно только повторное взвешивание.

После того, как все эксперты оценят альтернативы, на странице администратора появится кнопка «Вычислить итоговые оценки альтернатив», нажав которую он может увидеть таблицу альтернатив с их итоговыми оценками в процентах. Альтернативы отсортированы по убыванию итоговой оценки. Если кто-либо из экспертов оценил альтернативу

недопустимо низко, то она автоматически получает нулевую итоговую оценку.

Проанализировав эту таблицу, администратор (или представитель ЛПР) может сделать окончательный выбор и принять решение о содержании вершины стандарта. Для этого ему необходимо выбрать из списка подходящую альтернативу (обычно с наибольшей итоговой оценкой) и нажать кнопку «Принять за оптимальную». С этого момента в содержании данной вершины будет отображаться выбранная альтернатива. Согласование содержания вершины на этом заканчивается.

Эксперт может добавлять свои варианты решения (альтернативы). Новые альтернативы автоматически появляются в списке. Чтобы отредактировать или просмотреть их содержание необходимо сделать щелчок мышью на альтернативе. Откроется окно, в котором можно ознакомиться с содержанием альтернативы, если ее создал другой эксперт, или отредактировать ее содержание, если она была создана текущим экспертом. Сразу же после создания альтернатива не имеет содержания - эксперту необходимо наполнить его путем добавления существующих предметов и созданием новых предметов с последующим добавлением. Кроме того, эксперт может удалять предметы из альтернативы, а также удалить альтернативу полностью.

Инициация кнопки «Набор альтернатив сформирован» означает, что эксперт удовлетворен набором альтернатив. После того, как все эксперты нажмут эту кнопку, появится кнопка «Оценить альтернативы». Следует учесть, что при любом редактировании любой альтернативы любым пользователем согласие с набором альтернатив автоматически аннулируется.

После нажатия кнопки «Оценить альтернативы» первым пользователем редактирование альтернатив запрещается. Эксперту предлагается заполнить таблицу оценки альтернатив по заданным критериям: выбрать из списка значение на шкале критерия; нажать кнопку «Готово» (когда все оценки альтернатив выбраны). Результаты будут занесены в базу данных.

После того, как последний эксперт оценит альтернативы, при выборе данной вершины у экспертов появляется таблица с итоговыми оценками альтернатив, которая служит только для информирования о проделанной экспертами работе.

Когда администратор выберет оптимальное решение для вершины, на странице экспертов будет отображаться содержание данного решения.

Чтобы посмотреть результат работы по согласованию содержания стандарта как экспертам, так и администратору необходимо в дереве стандарта выбрать корень двойным щелчком, после чего нажать ссылку «Посмотреть, что уже согласовано». Откроется новое окно, в котором будут перечислены уже согласованные вершины с их содержанием и подведенными итогами по часам.

Экономический эффект от внедрения системы поддержки разработки согласованных образовательных стандартов может быть обусловлен улучшением учебного процесса, унификацией методических материалов на уровне вуза, где проводится обучение по данной специальности. Однако оценить этот эффект в количественном выражении не представляется возможным, кроме того экономические выгоды от внедрения системы получают прежде всего вузы, а не государственный орган, внедривший систему. Было бы не вполне корректно рассчитывать окупаемость проекта с учетом этих выгод. Таким образом, на государственном уровне внедрение разработанной системы не принесет прямого экономического эффекта.

Целесообразность использования разработанного программного продукта почти полностью обусловлена социальным эффектом от результатов его применения. Основная же доля социального эффекта заключается в повышении качества высшего образования, а также его интеграцией в образовательное пространство СНГ (мира) при условии привлечения международных экспертов.

Таким образом, предлагаемый проект есть классический социальный продукт, не приносящий прямых экономических выгод государству, однако имеющий немаловажное значение для совершенствования социальной сферы казахстанского общества.

В заключение еще раз отметим [1]: целостность идей совершенствования создаваемых образовательных стандартов требует разработки (в дополнение к предложенной) системы создания типовых учебных планов на основе перечня необходимых предметов. Она также должна базироваться на экспертном опросе и учитывать мнения экспертов о порядке рациональной последовательности изучения дисциплин. Для этого предлагается использовать «размеченный» граф междисциплинарных связей, где «разметками» служат виды итогового и промежуточного контроля, а также наличие курсовой работы или проекта, согласованно определенные для каждого предмета. Задавать эти свойства дисциплин на более раннем этапе (например, при разработке набора предметов) опасно, поскольку это может привести к алгоритмически неразрешимым задачам при формировании учебного плана с применением графа междисциплинарных связей, так как число зачетов и экзаменов, число часов теоретического обучения, число курсовых работ и проектов в учебном году должно быть ограничено.

Предлагается проведение в рамках НИР СКГУ исследования по разработке и оценке рациональности использования в данном направлении эвристических процедур.

#### Список литературы

1. Куликов В.П. Система поддержки принятия согласованных решений при разработке образовательных стандартов / В.П. Куликов, В.П. Куликова, В.Б. Рабинович: Сборник статей и материалы республиканского проекта по изучению опыта и обмену информацией о внедрении Международных стандартов в системе высшего образования Республики Казахстан. – Алматы: ТОО КИЗдательство ЛЕМ/, 2005. – С. 163-170.
2. Акбердин Р.А. Согласование стандартов и учебных планов смежных специальностей / Р.А. Акбердин, А.А. Вьялицин, Ш.М. Кожаев, И.Г. Курмашев // Национальные системы высшего образования в условиях глобализации: Материалы международной конференции. Т. 2. – Петропавловск: СКГУ, 2001. – 257 с.
3. Рабинович В.Б. Компьютерная поддержка принятия согласованных групповых решений. – Петропавловск: СКГУ, 2003.

Получено: 28.11.06.

---

УДК 378.14

**Е.В. Лаптева**

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

#### МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОГО ПЛАНА

Решение задачи формирования учебного плана при любой форме обучения является важным этапом проектирования учебного процесса. Ведь оптимальность решения такой задачи предопределяет как решение задачи составления графика учебного процесса, так и

расписания занятий. Приступая к решению задачи формирования учебного плана, целесообразно рассмотреть разработанные методы синтеза учебных планов.

Одним из методов составления учебных планов является организация модульного обучения. Сущность модульного обучения заключается в том, чтобы максимально обособить отдельные блоки (модули) учебного материала. Учебный материал, охватываемый модулем, должен быть настолько законченным блоком, чтобы существовала возможность конструирования единого содержания из отдельных модулей без нарушения логичности изложения материала.

Цель разработок, ведущихся в этом направлении - создание гибкого содержания обучения с возможностью замены отдельных модулей. При модульном построении обучения предлагается следующая методика формирования содержания модулей. Строится граф логической структуры предмета, в котором указываются не только внутриспредметные, но и межпредметные связи. Затем в отдельные учебные элементы, составляющие структуру модуля, выбираются полностью те темы из графа логической структуры, которые необходимы для изучения конкретного учебного элемента, что позволяет по возможности обеспечить его большую автономность, достичь полноты содержания в нем учебного материала. В связи с этим в содержание учебного элемента, кроме вышеуказанных тем, включаются и темы других предметов, на которые указали межпредметные связи [3].

Такое построение обучения имеет свои достоинства и недостатки. В качестве достоинств можно указать то, что достигается определенная гибкость обучения: можно перемещать во времени отдельные блоки (модули) учебного материала без анализа их внешних связей, так как модули являются максимально обособленными и законченными структурами.

Значительным недостатком такой организации построения содержания обучения является то, что в модули помещается информация, не относящаяся непосредственно к изучаемой дисциплине. Причем информация фундаментальных наук для данной специальности (в частности, для инженерного образования - математика, физика и другие общетехнические дисциплины) может дублироваться несколько раз в различных модулях. Это вызывает избыточность информации в каждом предмете и, как следствие, значительное искусственное увеличение размерности решаемой задачи.

Другой подход к решению задачи описывает метод составления учебных планов вузов на основе дерева целей подготовки специалиста. Дерево целей имеет несколько иерархических уровней. Основные цели обучения - что должен знать и уметь выпускник вуза. Каждой цели ставится в соответствие одна или несколько дисциплин учебного плана. Каждую дисциплину, в свою очередь, можно разбить на темы.

Таким образом, дерево целей учебного процесса содержит три уровня:

- цели учебного процесса;
- разделы (блоки дисциплин) учебного плана;
- 17-часовые элементы.

Входными данными являются коэффициенты относительной важности целей учебного процесса, а также веса целей второго уровня относительно целей первого уровня. Исходя из этих данных, вычисляются коэффициенты относительной важности целей второго уровня, веса целей третьего уровня относительно целей второго уровня и коэффициенты относительной важности целей третьего уровня (17-часовых элементов), а также групповые веса элементов учебного плана.

Объем учебного плана в часах известен, можно перевести его в элементы. Тогда, разместив элементы в порядке убывания групповых весов элементов учебного плана, нужно отобразить в учебный план  $R$  первых элементов, где  $R$  - объем учебного плана в элементах. Затем проводится экспертный опрос по связям между выбранными в учебный план элементами.

При таком алгоритме работы не учитываются связи между дисциплинами. Связи между дисциплинами, попавшими в учебный план, оцениваются после отбора содержания, поэтому может проявиться информационная недостаточность для изучения некоторых модулей, т.к. необходимые для них в качестве информационной базы элементы-предки могут иметь недостаточно высокий групповой вес.

Этот существенный недостаток рассмотренного метода не является характеристикой метода составления планов вузов на основе связей между модулями. Все учебные дисциплины, входящие в план, связаны между собой, то есть в более поздних по времени изучения дисциплинах используется информация из ранее изученных без ее конкретизации, т.е. предполагается, что обучаемый знает, какой смысл вкладывается в то или иное определение или понятие. Таким образом, содержание дисциплины можно представить формулой  $SD = \{M_1, M_2, \dots, M_j, \dots, M_L\}$ , где  $SD$  - содержание дисциплины;  $M_j$  -  $j$ -й модуль дисциплины;  $L$  - количество модулей в дисциплине.

Каждой дуге, отражающей связь модулей, можно поставить в соответствие некоторое число - тесноту связи. Тогда может быть получен некоторый граф, называемый графом связности учебного материала. Ориентированный граф связности можно разбить на слои [1]. Кроме самого обозначения связи можно поставить ей в соответствие некоторый коэффициент  $P_{ij}$ , который будет отражать тесноту связи между модулем-предком  $i$  и модулем-потомком  $j$ .

При описании всех связей мы будем иметь граф связности учебных дисциплин специальности. При изложении всех этих модулей необходимо логично расположить их во времени так, чтобы модуль-потомок изучался по времени после изучения всех модулей-предков. Это обуславливается способностью человеческой памяти прочно запоминать материал, если он понятен. Глубокие и прочные связи непременно требуют установления связей и отношений на основе расширения и углубления сведений о предмете и соприкасающихся с ним объектов изучения [2].

В методе составления учебных планов вузов на основе связей между модулями можно отметить следующие недостатки, которые значительно сокращают область построения решения:

- разделы изучаются одинаковое количество времени;
- число предметов в заданный интервал времени неизменно и одинаково в течение всего процесса обучения;
- не учитывается множество ограничений на план;
- все логические связи между разделами равноценны (и равны 1, если связь есть).

Анализ разработок в области составления учебных планов позволяет сделать следующие выводы:

- В большинстве работ не рассматривался весь комплекс ограничений, налагаемых на учебный план. Это связано, прежде всего, с тем, что учет всех ограничений существенно влияет на размерность задачи; более того, достаточно большая часть ограничений связана с особенностями вуза, региона, а также условиями функционирования системы образова-

ния в различные временные периоды (например, специализация студентов специальности «Экономика» зависит от требований рынка, в связи с чем учебные планы указанной специальности могут изменять свою ориентацию).

– Размерность задачи формирования учебного плана при наличии  $n$  дисциплин в Государственном стандарте образования по специальности и  $m$  дисциплин в учебном плане составляет  $C_n^m$ . Например, при наличии в стандарте специальности 200 дисциплин, в учебном плане 100 дисциплин количество вариантов учебных планов составляет  $1,00891 \cdot 10^{29}$ , то есть даже при отбрасывании очевидно непригодных к использованию вариантов размерность задачи не позволяет решать ее методами, связанными с перебором. При современном уровне развития электронно-вычислительной техники временное ограничение становится менее жестким и ресурсов персонального компьютера становится достаточно, чтобы решить поставленную задачу за разумное время.

– Во всех ранее предлагавшихся вариантах решения задачи оптимизации учебных планов вузов на основе графа связности модулей отсекаются исходные данные (исключаются связи), часто даже в том случае, когда в критерий оптимизации включена длина связи.

– Во многих работах используется анализ связей между учебными модулями, но не учитывается теснота связи. Но при построении учебного плана связанные между собой модули нужно расположить как можно ближе друг к другу во времени. При возникновении ситуации, когда невозможно построение учебного плана с соблюдением всех ограничений, необходимо иметь информацию о тесноте связи для того, чтобы минимальными нарушениями достигнуть решения задачи.

– В работах, где связь между модулями характеризуется весовым коэффициентом, не описана методика его определения. Задача синтеза плана ставилась только в случае составления учебных планов на основе дерева целей подготовки специалиста. Критерием служил функционал максимизации суммы весовых коэффициентов модулей. Отбор учебных модулей в план производился до построения графа связности. Это может привести к исключению из графа модулей, которые предоставляют информацию для изучения информационно связанных с ними модулей-потомков.

– В публикациях по теме модульного обучения поощряется многократное дублирование материала, что приводит к информационной избыточности дисциплин, а следовательно нарушается принцип системности в обучении.

Таким образом, необходимо найти методы, объединяющие достоинства рассмотренных методов, и технологии решения задачи формирования учебного плана. Так как технологии определяют методы решения подзадач, прежде всего необходимо выяснить, какую технологию удобнее использовать для решения задачи формирования учебного плана. Поскольку формирование учебного плана относится к задачам планирования, есть необходимость рассмотреть применение методов планирования к решению этой задачи.

Для составления учебного плана следует определить очередность изучения дисциплин на основе междисциплинарных связей, которые, в свою очередь, проставляет эксперт. Экспертом может выступать человек, который хорошо знаком с предметной областью. Именно эксперт владеет информацией о том, что изучается в рамках того или иного предмета. Результаты опроса анализируются и выявляется единая оценка междисциплинарных связей. Принимая во внимание, что число признаков превышает два, в результате ранжирования  $n$  факторов  $m$  экспертами необходимо проверить согласованность их мнe-

ний, для чего применяется коэффициент конкордации (согласованности) Кендалла:

$$W = \frac{12 \sum_i D_i^2}{m^2(n^3 - n)},$$

где

$$D_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} - \frac{\sum_i \sum_j R_{ij}}{n}, \quad i = \overline{1; n}, \quad j = \overline{1; m}$$

есть сумма рангов, приписанных всеми экспертами  $i$ -му фактору.

Значимость коэффициента конкордации проверяется с помощью статистики, имеющей  $\chi^2$  – распределение с  $(n - 1)$  степенью свободы:  $\chi^2 = m(n - 1)W$ .

На заданном уровне значимости  $\alpha$  нулевая гипотеза об отсутствии согласованности мнений экспертов отвергается при условии  $\chi^2 > \chi^2_{\alpha; (n-1)}$ .

После определения согласованности мнений экспертов, на основе экспертных оценок составляется таблица «Экспертные оценки междисциплинарных связей», по данным которой в MS Project строится сетевой график выполнения работ, где в качестве работы выступает – учебная дисциплина, а время изучения дисциплины – время выполнения работы.

Анализ сетевого графика начинается с анализа топологии сети, включающего в себя контроль построения сети, установление целесообразности выбора работ и степени их расчленения. Затем работы классифицируются и группируются по величинам их резервов. Величина полного резерва при этом не всегда может точно характеризовать, насколько напряжены сроки выполнения той или иной работы не критического пути. Все зависит от того, на какую последовательность работ распространяется вычисленный резерв, какова продолжительность этой последовательности.

Коэффициент напряженности  $K_n$  работы  $(i, j)$  определяет трудность выполнения в срок каждой группы работ не критического пути. Чем ближе к 1 коэффициент напряженности  $K_n(i, j)$ , тем сложнее выполнить данную работу в установленные сроки. Чем ближе  $K_n(i, j)$  к 0, тем большим относительным резервом обладает максимальный путь, проходящий через данную работу.

Коэффициенты напряженности позволяют классифицировать работы по зонам. В зависимости от величины  $K_n(i, j)$  можно выделить три зоны:

- 1) критическую ( $K_n(i, j) > 0,8$ );
- 2) докритическую ( $0,6 < K_n(i, j) < 0,8$ );
- 3) резервную ( $K_n(i, j) < 0,6$ ).

Оптимизация сетевого графика представляет собой процесс улучшения организации выполнения комплекса работ с учетом срока его выполнения. Она проводится с целью сокращения длины критического пути, выравнивания коэффициентов напряженности работ, рационализации использования ресурсов. Проводится анализ коэффициентов напряженности работ (изучения дисциплин). Если коэффициент напряженности равен 0,6 и меньше, это значит, что предметы не слишком сильно зависят друг от друга и поэтому их можно изучать параллельно. Если же коэффициент связи равен 0,8 и больше, то зависимость между предметами большая и их следует изучать последовательно.

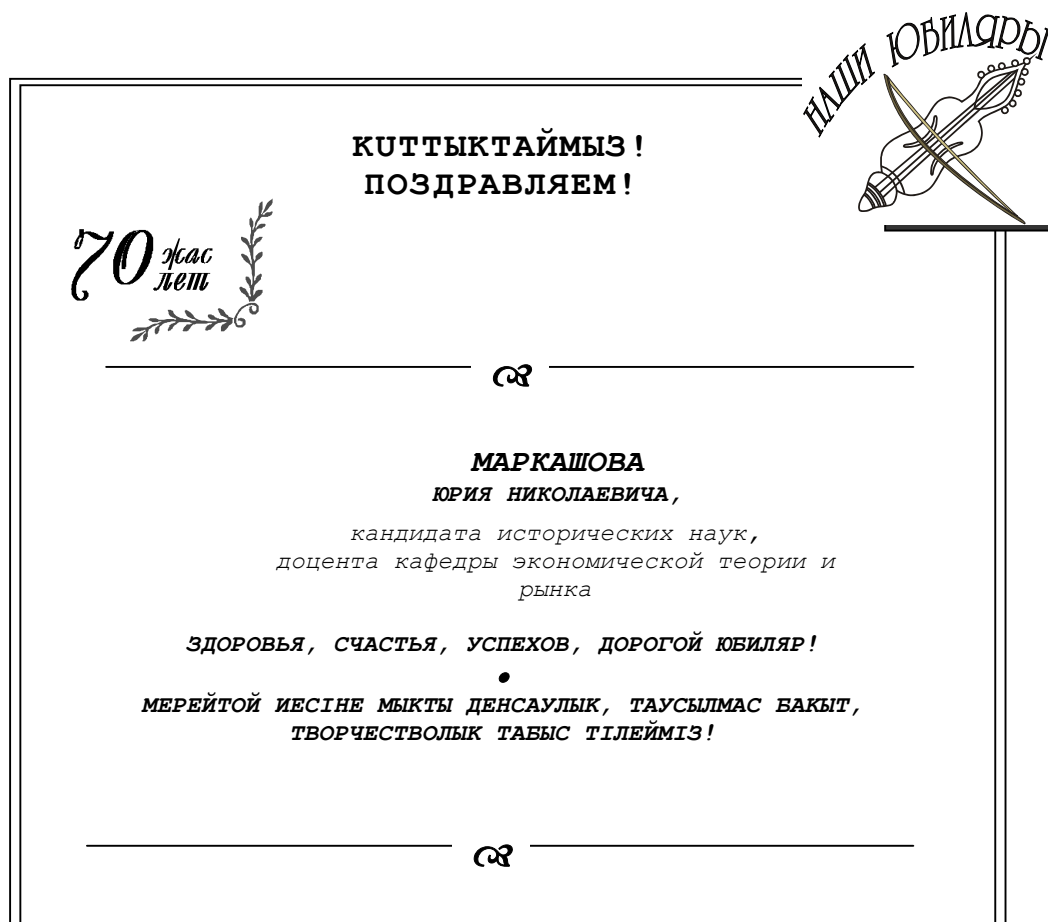


В процессе сокращения продолжительности работ критический путь может измениться, и в дальнейшем процесс оптимизации будет направлен на сокращение продолжительности работ нового критического пути, и так будет продолжаться до получения удовлетворительного результата. Весьма эффективным является использование метода статистического моделирования, основанного на многократных последовательных изменениях (в заданных пределах) продолжительности работ и проигрывании на компьютере различных вариантов сетевого графика с расчетами всех временных параметров и коэффициентов напряженности работ. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет установлено, что все имеющиеся возможности улучшения плана исчерпаны и поставленные перед разработчиком проекта условия невыполнимы.

Список литературы

1. Оре О. Графы и их применение. – М.: Мир, 1965. – 174 с.
2. Рублев Ю.В., Востров Г.Н. Математические основы логической структуры курса // Вестник высшей школы. – 1980. – №9.
3. Юсавиче П. Теория и практика модульного обучения. – Каунас: Швиеса, 1989. – 272 с.

Получено: 24.11.06.



УДК 004

**С.О. Никонов, А.Б. Шакаримова, С.В. Шимолин**

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И МОБИЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ  
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА**

Качество образования вуза и его конкурентоспособность теперь зависят не только от использования традиционных средств обучения, наличия сильного преподавательского состава и эффективных методик обучения, но и от использования современных информационных технологий в образовательном процессе. В настоящее время развитие технологий позволяет поднять учебный процесс в вузе на новый уровень и приблизить его к мировым стандартам. Использование современных программных и технических средств в повседневной жизни университета поможет оптимально организовать не только учебный процесс студентов, но и улучшить деятельность профессорско-преподавательского состава и административно-управленческого аппарата.

В настоящее время во всем мире появляется тенденция использования беспроводных технологий и мобильных решений в различных сферах человеческой деятельности. Популярность беспроводных технологий обуславливается тем, что число мобильных устройств, доступных населению, постоянно увеличивается, и использование таких устройств и технологий имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными проводными технологиями. Во-первых, нет необходимости быть привязанным к одному месту, так как отсутствуют какие-либо провода, подключающие устройство к сети. Во-вторых, стоимость мобильных устройств постоянно снижается, а затраты на организацию сетей на основе беспроводных технологий меньше по сравнению с затратами на организацию сетей на основе существующих сегодня проводных технологий, например, на основе коаксиального кабеля.

На сегодняшний день существует ряд технологий, которые тем или иным образом могут быть использованы в организационной и образовательной деятельности вуза. Одна из таких технологий – WAP (Wireless Access Protocol - протокол беспроводного доступа). Эта технология используется для доступа к информации, находящейся непосредственно в сети Интернет, при помощи мобильного телефона. Место модема и компьютера в новой структуре занимает специальный браузер, встроенный в телефонный аппарат абонента или находящийся на SIM-карте. Запрос с мобильного телефона поступает на WAP-шлюз

оператора связи, который служит как бы переводчиком между абонентским терминалом и обычным Web-сервером. Для обмена информацией используется специальный «беспроводной гипертекстовый язык» - WML (Wireless Markup Language), специальные программы - WML-скрипты, а также другие специальные средства. Шлюз в сети оператора связи должен обеспечивать также возможность предоставления абонентам ряда «неречевых» услуг, таких как SMS (служба коротких сообщений) и передача данных.



Рис. 1. Взаимодействие мобильного устройства с Интернет сервером

Одним из вариантов использования технологии беспроводного доступа в образовательном учреждении является создание WAP-портала университета, эквивалентного существующему Web-порталу. Подключившись к порталу через мобильные телефоны, студенты могут иметь доступ к новостям университета, расписанию занятий, расписанию преподавателей, могут посмотреть свою успеваемость, либо иметь возможность найти нужную информацию в электронной библиотеке университета.



Рис. 2. WAP-портал ВКГТУ

Другая технология, которая может улучшить учебный и организационный процесс – это технология Wi-Fi (Wireless Fidelity – беспроводная передача данных с высокой точностью). Wi-Fi использует для передачи данных радиоканалы. На сегодняшний день приняты стандарты для передачи данных со скоростью до 54 Мбит/с, это намного больше по сравнению со скоростью передачи данных через мобильные телефоны. Соответственно и изменяются задачи, которые могут быть выполнены с использованием этой технологии. Основное назначение технологии Wi-Fi – создание беспроводных корпоративных сетей.

В университетах сейчас используют в основном локальные сети на основе коаксиального кабеля. Огромные средства затрачиваются на проектирование топологии сети, покупку сотен метров кабеля и проведение монтажных работ. Используя Wi-Fi технологию, все эти минусы исчезают. Можно использовать Wi-Fi для создания корпоративной университетской сети, причем время для разворачивания такой сети значительно сократится по сравнению с установкой сети, использующей для передачи данных проводную среду.

Сеть на основе Wi-Fi состоит из следующих компонентов: точка доступа, маршрутизатор и адаптер. Точка доступа представляет собой устройство для объединения беспроводных устройств в одну сеть. Она также может выступать в роли моста, объединяющего беспроводную и проводную сети. Таким образом, точка доступа в беспроводной сети – аналог концентратора в обычной проводной сети, соответственно для подключения такой сети к Интернету необходимо подключить точку, например, к маршрутизатору или Интернет серверу. Следующий компонент – маршрутизатор, который представляет собой точку доступа, обладающую дополнительными возможностями для организации доступа



Рис. 3. Схема работы Wi-Fi

к Интернету. Маршрутизатор подключается напрямую к Интернет-каналу, будь то распространенный сейчас ADSL или обычный Ethernet. В маршрутизаторе также обычно присутствует технология NAT (трансляция сетевых адресов) и firewall (брандмауэр). Адаптер – устройство, подключаемое к клиентскому компьютеру для подключения к беспроводной сети. Существуют внутренние (PCI для настольного компьютера или PCMCIA для ноутбуков), внешние (USB) или встроенные (например, в ноутбуках на базе Centrino или в карманных компьютерах (КПК)) адаптеры.

Таким образом, Wi-Fi представляет собой сравнительно недорогую и чрезвычайно удобную технологию для организации университетской сети. С минимальными затратами можно произвести объединение проводных и беспроводных сетей. Например, при расширении существующей сети нет необходимости изменять её структуру. Достаточно установить необходимое количество точек доступа и подключить их к уже имеющейся локальной сети. Применение роуминга дает возможность спокойно перемещаться по всей зоне покрытия беспроводной сети. Доступ к этой сети могут иметь как студенты, используя рабочие станции с Wi-Fi адаптером, так и сотрудники университета, с помощью обычных настольных компьютеров, ноутбуков или КПК.

Еще одна технология, которая поможет улучшить учебный и организационный процесс, и в частности, взаимодействие корпусов университета, находящихся в разных частях города - это технология WiMAX. WiMAX - Worldwide Interoperability for Microwave Access, технология широкополосной беспроводной связи, дополняющая линии DSL и кабельные технологии в качестве альтернативного решения проблемы «последней мили» на больших расстояниях. Технологию WiMAX можно использовать для реализации широкополосных соединений «последней мили», развертывания точек беспроводного доступа, организации высокоскоростной связи между корпусами университета и решения других подобных задач. WiMAX в версии IEEE 802.16-2004 – стандарт беспроводной связи, который обеспечивает широкополосную связь на площади радиусом более 30 км с пропускной способностью, сравнимой с кабельными соединениями - до 10 Мбит/с и более. Оборудование сетей WiMAX функционирует в нескольких частотных каналах шириной 10 МГц в пределах диапазона 2 ГГц - 11 ГГц. Специфическое распределение частотных диапазонов разных стран диктует необходимость возможности работы WiMAX в разных участках. Столь широкий разброс диапазонов выбран для учета специфики большинства стран мира. Так, в Северной Америке для WiMAX используются участки в диапазонах 2,5 и 5 ГГц, в Центральной и Южной Америке - 2,5; 3,5 и 5 ГГц, на Ближнем Востоке, в Африке, Западной и Восточной Европе - 3,5 и 5 ГГц, в Азиатско-Тихоокеанском регионе - 2,3; 3,5 и 5 ГГц. По своей сути WiMAX представляет технологию с производительностью и покрытием, гораздо большим, нежели у современных сетей Wi-Fi. В свою очередь, продолжением «магистральных веток» WiMAX как раз и становятся локальные сети Wi-Fi, различные типы бизнес и бытовых кабельных/DSL сетей конечных пользо-

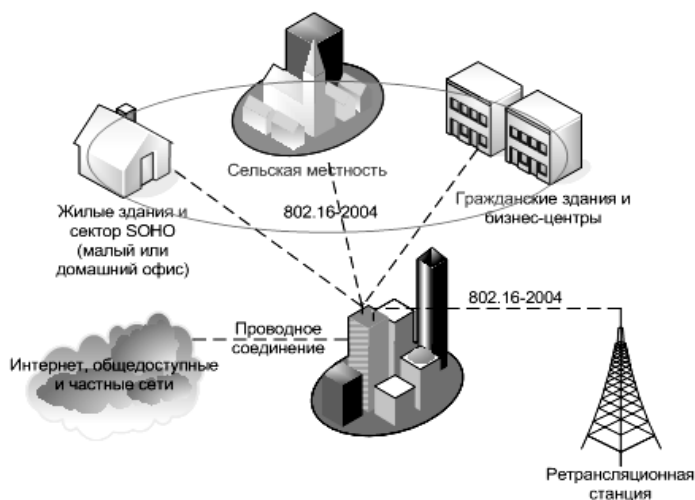


Рис. 4. Схема работы WiMAX

вателей. Технология WiMAX позволяет работать в любых условиях, в том числе, в условиях плотной городской застройки, обеспечивая высокое качество связи и скорость передачи данных.

Таким образом, WiMAX является идеальным решением для создания университетской сети, объединяющей корпус университета, находящиеся в разных частях города. Другим возможным вариантом использования технологии WiMAX является создание сети, объединяющей несколько университетов с целью взаимодействия и обмена опытом.

Для полноценного использования аппаратных и сетевых ресурсов университета необходимо выявить группы пользователей и определить задачи для каждой группы.

Наиболее многочисленной группой пользователей являются студенты. Студенты могут иметь доступ к ресурсам образовательного портала университета, а также ресурсам университетской сети и Интернет, используя мобильные телефоны, рабочие станции, ноутбуки и КПК. Вот некоторые из задач, которые могут быть реализованы: оперативное обеспечение студентов информацией, касающейся обучения, такой, как расписание занятий, график работы преподавателей, расписание мероприятий, проводимых в университете, информация о свободных аудиториях, наличии какой-либо книги в библиотечном фонде и т.п.

Другой группой пользователей являются сотрудники университета. Для этой группы наиболее важными являются задачи организационного характера. Преподавателям также важно знать расписание, наличие свободных аудиторий, но еще необходимо составление отчетностей, рейтингов, ведомостей. Все это будет намного проще, если преподаватели и сотрудники будут всегда на связи и с помощью мобильных устройств смогут более тесно взаимодействовать с административно-управленческим аппаратом.

Третья группа пользователей – руководство университета. Руководство всегда должно получать достоверную и своевременную информацию о состоянии бизнес-процессов университета. Беспроводные технологии в совокупности с мобильными устройствами позволят руководителям учебных подразделений, заведующим кафедрами, а также административно-управленческому аппарату университета своевременно получать всю необходимую информацию.

Использование беспроводных технологий в учебно-образовательной и научно-исследовательской деятельности университета позволит значительно улучшить образовательный процесс и подготовить молодых специалистов, которые будут высоко цениться на рабочих местах завтрашнего дня.

Получено: 27.11.06.

---

УДК 378.146

**Е.М. Редикарцева**

Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавловск

#### АДАПТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЗНАНИЙ

Для современного уровня развития системы образования Республики Казахстан характерно увеличение масштабов контрольно-оценочных процедур [1], в свою очередь, пе-

реход к массовым педагогическим измерениям (ЕНТ, ПГК) приводит к необходимости формализации этапов цикла педагогических измерений и их последующей автоматизации, что требует предварительных теоретических исследований. При этом остаётся актуальной проблема качественного оценивания знаний. В обществе небезосновательно бытует мнение об искажении оценок уровня знаний вследствие наличия возможности угадывания правильных ответов, использования тестов с некорректными заданиями, что приводит к дискредитации идеи использования тестового контроля при независимой аттестации обучающихся и выпускников учебных заведений в рамках ЕНТ и ПГК. В конечном итоге некачественное проведение контрольно-оценочных процедур в образовании негативно сказывается на интеллектуальном потенциале страны.

Одно из направлений повышения качества контрольно-оценочных процедур связано с адаптацией последних за счет немедленного реагирования на индивидуальные особенности подготовки тестируемых при предъявлении заданий. Анализ работ по теории и практике тестирования показал, что необходимость исследований в сфере адаптивного тестирования определяется рядом противоречий, сложившихся на сегодняшний день между неотложными потребностями образования и реальными возможностями традиционных тестов.

При организации процесса адаптивного тестирования знаний необходимо создание базового множества тестовых заданий (другими словами, базового теста, банка тестовых заданий или тестовой базы), ранжированных по уровню трудности. С этих позиций мы рассматриваем тестовую базу как генеральную совокупность заданий для измерения уровня знаний. При этом тест есть стратифицированная выборка заданий из тестовой базы, формируемая в зависимости от ответов испытуемого. По завершению тестирования на основе информации, получаемой из анализа ответов на предъявленные задания теста, делается вероятностный вывод об уровне знаний.

Организация тестовой базы основана на следующих принципах:

- тестовая база полностью отражает содержание предметной области;
- содержательная валидность тестовой базы проверена экспертами и не вызывает сомнений;
- каждое задание тестовой базы имеет ряд атрибутов (параметров), основным из которых является трудность тестового задания;
- значения параметров тестовых заданий на начальном этапе определяются экспертно, в дальнейшем, по мере проведения тестирований и накопления статистических данных, значения параметров тестовых заданий уточняются с использованием трёхпараметрической логистической IRT-модели.

Трёхпараметрическая логистическая IRT-модель имеет вид

$$P_j(\theta) = \gamma_j + (1 - \gamma_j) \frac{e^{1,7\alpha_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1,7\alpha_j(\theta - \beta_j)}} = \gamma_j + \frac{1 - \gamma_j}{1 + e^{-1,7\alpha_j(\theta - \beta_j)}}. \quad (1)$$

Определить значения параметров тестовых заданий, не прибегая к пилотажному тестированию, возможно с использованием экспертных методов, самый простой из которых метод моноэкспертизы. В роли эксперта выступает автор тестового задания, который не только формулирует задание, определяет время, отводимое на его решение, но также определяет значения параметров  $\alpha$ ,  $\beta$ , и  $\gamma$ .

При генерации адаптивного теста наиболее значимым параметром является трудность вопроса  $\beta$ , менее значимым, но существенным является вероятность угадывания пра-

вильного ответа  $\gamma$ . Параметром  $\alpha$  на начальном этапе использования тестовой базы можно пренебречь, приняв для всех заданий  $\alpha = 1$ . Вероятность угадывания правильного ответа  $\gamma_j$  на задание множественного выбора  $j$  можно определить по формуле

$$\gamma_j = \frac{1}{S_j}, \quad (2)$$

где  $S_j$  - количество дистракторов в  $j$ -м задании теста.

Таким образом, остаётся определить лишь значение параметра  $\beta$ . Необходимо учесть, что в любой логистической модели, в том числе и в трёхпараметрической (1), рассматриваются значения параметра трудности тестового задания  $\beta$  в шкале логитов. При определении значения параметра  $\beta$ -трудности тестового задания экспертными методами удобнее использовать процентную или какую-либо другую шкалу, отличную от шкалы логитов. Поэтому возникает необходимость перехода от соответствующей шкалы к шкале логитов.

После проведения тестирования возможно определение или уточнение значений параметров  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\theta$  по полученным результатам [2]. Источником исходной информации является матрица результатов  $X=(x_{ij})$ , элементы которой в простейшем случае равны нулю или единице:

$$x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если получен неправильный ответ,} \\ 1, & \text{если получен правильный ответ.} \end{cases} \quad (3)$$

Если испытуемый  $i$  не выполнил задание  $j$ , то значение  $x_{ij}$  не определено, то есть, в общем случае матрица  $X$  может быть разреженной. Для определения значений параметров, а точнее их статистических оценок, воспользуемся методом максимального правдоподобия. Пусть  $P_{ij}$  и  $Q_{ij}$  – соответственно вероятности правильного и неправильного выполнения  $i$ -м испытуемым  $j$ -го задания теста, которые, согласно (1), заданы выражениями

$$P_{ij} = P_{ij}(\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \theta_i) = \gamma_j + \frac{1 - \gamma_j}{1 + e^{-1,7\alpha_j(\theta_i - \beta_j)}}, \quad (4)$$

$$Q_{ij} = Q_{ij}(\alpha_j, \beta_j, \gamma_j, \theta_i) = 1 - P_{ij} = 1 - \left( \gamma_j + \frac{1 - \gamma_j}{1 + e^{-1,7\alpha_j(\theta_i - \beta_j)}} \right) = \frac{1 - \gamma_j}{1 + e^{1,7\alpha_j(\theta_i - \beta_j)}}. \quad (5)$$

Тогда функция правдоподобия примет вид

$$L = \prod_i \prod_j P_{ij}^{x_{ij}} Q_{ij}^{1-x_{ij}}, \quad (6)$$

а её логарифм

$$\ln L = \ln \left( \prod_i \prod_j P_{ij}^{x_{ij}} Q_{ij}^{1-x_{ij}} \right) = \sum_i \sum_j (\ln P_{ij}^{x_{ij}} + \ln Q_{ij}^{1-x_{ij}}) = \sum_i \sum_j (x_{ij} \ln P_{ij} + (1 - x_{ij}) \ln Q_{ij})^*. \quad (7)$$

Неизвестные оценки максимального правдоподобия для параметров  $\alpha_j$ ,  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$  и  $\theta_i$  находим из необходимого условия экстремума логарифма функции правдоподобия, которое, с учётом (4) и (5), после преобразований примет вид

\* Умножение и суммирование ведут по всем  $i$  и  $j$ , для которых элемент  $x_{ij}$  определён, то есть, имеет числовое значение

$$\begin{cases} \sum_i \frac{P_{ij} - x_{ij}}{P_{ij}} \cdot \frac{1,7(\theta_i - \beta_j)(P_{ij} - \gamma_j)}{1 - \gamma_j} = 0, \\ \sum_i \frac{P_{ij} - x_{ij}}{P_{ij}} \cdot \frac{1,7\alpha_j(P_{ij} - \gamma_j)}{1 - \gamma_j} = 0, \\ \sum_i \frac{P_{ij} - x_{ij}}{P_{ij}} \cdot \frac{1}{1 - \gamma_j} = 0, \\ \sum_j \frac{x_{ij} - P_{ij}}{P_{ij}} \cdot \frac{1,7\alpha_j(P_{ij} - \gamma_j)}{1 - \gamma_j} = 0, \end{cases} \quad (8)$$

где  $i = \overline{1, n}$ ;  $j = \overline{1, m}$ ;  $n$  – количество испытуемых,  $m$  – количество вопросов в тестовой базе,  $P_{ij}$ , задана согласно (4).

Таким образом, система (8) содержит  $3n+m$  нелинейных уравнений, поэтому найти её решение в аналитическом виде практически невозможно, да и нецелесообразно. Для практических целей достаточно найти значения параметров с заданной погрешностью, что возможно, если использовать при решении системы (8) итерационные методы.

В рамках описанной модели уровень знаний  $\theta$  есть генеральная доля правильных ответов на все мыслимые тестовые задания, отображающие предметную область. Таким образом, по данным тестирования можно найти точечную  $\tilde{\theta}_k$  и/или интервальную  $[\tilde{\theta}_k^1; \tilde{\theta}_k^2]$  статистическую оценку  $\theta$ . Как известно из курса математической статистики, точечной оценкой генеральной доли является выборочная доля, т.е.

$$\tilde{\theta}_k = p, \quad (9)$$

где  $p$  – доля правильных ответов испытуемого.

Эта оценка является несмещённой, состоятельной и эффективной, тем не менее, она является лишь приближённым значением  $\theta$ , причём точность приближения можно считать достаточной для практических выводов лишь в случае, когда испытуемому было предложено большое количество тестовых заданий ( $k \rightarrow \infty$ ). Для тестов небольшой длины вопрос о точности оценки может быть решён, если определить интервальную оценку  $\theta$  с надёжностью  $\delta$ . Границы  $\tilde{\theta}_k^1 = p_1$  и  $\tilde{\theta}_k^2 = p_2$  доверительного интервала для  $\theta$  в предположении, что  $\theta$  имеет нормальное распределение, могут быть определены по формуле

$$p_{1,2} = p \pm t_\delta \sqrt{\frac{p(1-p)}{k-1}}, \quad (10)$$

где  $p$  – доля правильных ответов испытуемого,  $t_\delta$  – квантиль уровня  $\frac{1+\delta}{2}$  распределения

Стьюдента с  $(k-1)$  степенями свободы.

Если необходимо определить оценку  $\theta$  с заданной точностью  $\Delta$ , то при фиксированной надёжности  $\delta$  можно заранее определить длину теста  $k$  (точнее нижнюю оценку для  $k$ ), т.е. количество заданий, которое необходимо предложить испытуемому. Зависимость между точностью оценки  $\Delta$  и количеством тестовых заданий  $k$ , которое необходимо задать для достижения этой точности, в неявном виде может быть задана равенством

$$\varepsilon \sqrt{k-1} = t_\delta (k-1). \quad (11)$$

В (11)  $t_\delta$  заменено на  $t_\delta(k-1)$ , так как значение квантиля  $t_\delta$  зависит не только от надёжности  $\delta$ , но и от количества степеней свободы, то есть, в конечном счёте, от  $k$ ,  $\varepsilon$  – ширина доверительного интервала ( $\varepsilon=2\Delta$ ).



Используя интервальное оценивание уровня знаний можно существенно сократить длину теста, если проводить тестирование в несколько этапов, сужая на каждом этапе область допустимых значений  $\theta$ . При этом, чтобы по возможности минимизировать длину теста задания в него следует подбирать таким образом, чтобы из результатов выполнения этих заданий можно было извлечь как можно больше информации об уровне знаний испытуемого.

Количество информации Фишера о  $\theta$ , содержащейся в результате  $x_j$  выполнения задания  $j$  испытуемым с уровнем знаний  $\theta$  принято называть информационной функцией  $I_j(\theta)$  задания  $j$ , а количество информации Фишера о  $\theta$ , содержащейся в результатах  $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$  выполнения теста длины  $k$  испытуемым с уровнем знаний  $\theta$  - информационной функцией  $I(\theta)$  теста. Информационная функция  $I(\theta)$  теста состоящего из  $k$  заданий равна сумме информационных функций этих заданий, а информационная функция задания  $j$ , равна отношению квадрата производной  $P'_j(\theta)$  по переменной  $\theta$  функции  $P_j(\theta)$  к произведению  $P_j(\theta)(1 - P_j(\theta))$  (или  $P_j(\theta)Q_j(\theta)$ ), где  $P_j(\theta)$  для трёхпараметрической логистической модели определяется согласно (1). Таким образом, информационная функция  $I(\theta)$  теста длины  $k$  для трёхпараметрической логистической модели определяется по формуле

$$I(\theta) = \sum_{j=1}^k I_j(\theta) = \sum_{j=1}^k \frac{2,89\alpha_j Q_j(\theta)(P_j(\theta) - \gamma_j)^2}{P_j(\theta) \cdot (1 - \gamma_j)^2} = 2,89 \sum_{j=1}^k \frac{\alpha_j Q_j(\theta)(P_j(\theta) - \gamma_j)^2}{P_j(\theta) \cdot (1 - \gamma_j)^2}. \quad (12)$$

В силу аддитивности  $I(\theta)$  (12) значение информационной функции теста  $I(\theta_0)$ , полученного из предыдущего добавлением  $(k+1)$ -го задания, при некотором  $\theta_0$  - априорно найденном значении  $\theta$  будет максимально возможным, если максимально возможным будет значение  $I_{k+1}(\theta_0)$  информационной функции  $(k+1)$ -го задания.

Определив путём построения доверительных интервалов по результатам выполнения  $k$  тестовых заданий границы  $\tilde{\theta}_k^1$  и  $\tilde{\theta}_k^2$  варьирования  $\theta$ ,  $(k+1)$ -е задание следует выбирать из множества оставшихся заданий тестовой базы, таким образом, чтобы значение информационной функции  $I(\theta)$  теста, составленного из этих  $k+1$  заданий при  $\tilde{\theta}_k = \frac{1}{2}(\tilde{\theta}_k^1 + \tilde{\theta}_k^2)$  было максимальным, то есть

$$I(\tilde{\theta}_k) = 2,89 \sum_{j=1}^{k+1} \frac{\alpha_j Q_j(\tilde{\theta}_k)(P_j(\tilde{\theta}_k) - \gamma_j)^2}{P_j(\tilde{\theta}_k) \cdot (1 - \gamma_j)^2} \rightarrow \max \quad (13)$$

или, что то же самое,

$$I_{k+1}(\tilde{\theta}_k) = \frac{2,89\alpha_{k+1}(1 - \gamma_{k+1})}{(\gamma_{k+1} + e^{1,7\alpha_{k+1}(\tilde{\theta}_k - \beta_{k+1})})(1 + e^{-1,7\alpha_{k+1}(\tilde{\theta}_k - \beta_{k+1})})^2} \rightarrow \max. \quad (14)$$

Далее, с учётом результата  $x_{k+1}$  выполнения  $(k+1)$ -го тестового задания, выбранного, согласно (14), по результатам выполнения  $k+1$  тестовых заданий границы  $\tilde{\theta}_{k+1}^1$  и  $\tilde{\theta}_{k+1}^2$  варьирования  $\theta$ , необходимо путём построения доверительных интервалов и выбрать следующее задание согласно (14). Процесс следует повторять до тех пор, пока  $\tilde{\theta}_k^2 - \tilde{\theta}_k^1 > \varepsilon = 2\Delta$  ( $\Delta$  - точность оценки).

На рис. 1 представлена функциональная схема самонастраивающейся системы оценивания уровня знаний.

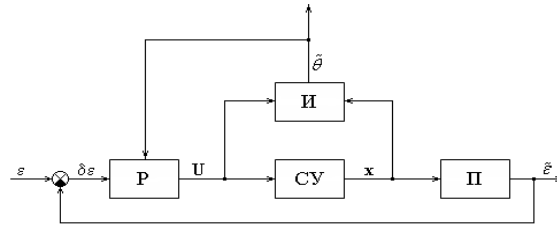


Рис. 1. Самонастраивающаяся система оценивания уровня знаний

Регулятор  $P$  выполняет функции генератора теста. Если разность  $\delta \varepsilon$  между априорно заданной точностью оценки  $\varepsilon$  и точностью  $\tilde{\varepsilon}$  оценки, полученной на очередном этапе тестирования, отрицательна, то есть  $\delta \varepsilon = \varepsilon - \tilde{\varepsilon} < 0$ , генератор теста формирует блок тестовых заданий с параметрами  $\alpha, \beta, \gamma$ . Эти задания предлагают тестируемому, который выступает в качестве субъекта управления  $СУ$ . Другими словами, регулятор  $P$  генерирует управляющее воздействие  $U$  ( $U$  - вектор размерности  $k^{(r)}$  с компонентами  $(\alpha_j, \beta_j, \gamma_j)$ ,  $k^{(r)}$  - количество тестовых заданий, предъявляемых тестируемому на  $r$ -м этапе). Поскольку компонентами вектора  $U$  являются трёхмерные векторы параметров тестовых заданий, можно также сказать, что  $U$  представляет собой матрицу размерности  $k^{(r)} \times 3$ . Тестируемый выполняет задания, тем самым субъект управления  $СУ$  формирует вектор результатов  $x = (x_1, x_2, \dots, x_{k^{(r)}})$ , где  $x_j$  - результат выполнения  $j$ -го задания, определяемый согласно (3). В устройстве текущей идентификации  $И$  путём обработки данных о параметрах тестовых заданий  $U$  и результатах выполнения этих заданий  $x$  определяется оценка  $\tilde{\theta}$  уровня знаний  $\theta$ . Значение текущей оценки  $\tilde{\theta}$  передаётся в регулятор  $P$  (генератор теста), что позволяет последнему сформировать следующий блок наиболее информативных тестовых заданий, то есть таких заданий, для которых значение информационной функции при  $\theta = \tilde{\theta}$  по возможности максимально. Кроме того, по вектору результатов  $x$  в преобразователе  $П$  определяется точность  $\tilde{\varepsilon}$  текущей оценки  $\tilde{\theta}$  уровня знаний.

На рис. 2 представлен обобщённый алгоритм функционирования системы.



Рис. 2. Схема работы самоадаптивной системы оценивания уровня знаний

Описанный подход к проведению тестирования позволяет индивидуализировать контрольно-оценочные процедуры по средствам немедленного реагирования на особенности подготовки тестируемых за счёт эффективного использования всей доступной информации об его уровне знаний и имеющейся в наличии базы тестовых заданий.

Список литературы

1. Балыкбаев Т.О. Развитие педагогического тестирования и системы внешнего оценивания в Казахстане: Материалы международной научно-практической конференции «Педагогические измерения: состояние и перспективы развития». – Астана, 2006. – С. 6-11.
2. Редикарцева Е.М. Статистический анализ качества тестовых заданий: Материалы международной научно-практической конференции «Продукция высшей школы и её конкурентоспособность». – Петропавловск: СКГУ, 2006. – Т.2. – с. 123-126.

Получено: 30.11.06.