

# Информационные технологии и системы

УДК 681.335:004.891

## АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБУЧЕНИЕМ НА ОСНОВЕ СИНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Т.Л. Мазурок

*Южноукраинский национальный педагогический университет  
им. К.Д. Ушинского*

В рамках развития синергетической модели управления обучением разработана модель системы межпредметных связей. Сформирована структурно-параметрическая модель системы межпредметных связей, позволяющая автоматизировать адаптивный процесс интегрирования учебных дисциплин на основе использования нейро-нечеткого анализа и сети Хопфилда для определения коэффициентов интеграции. Приведены результаты компьютерных экспериментов.

В межах розвитку синергетичної моделі управління навчанням розроблено модель системи міжпредметних зв'язків. Сформовано структурно-параметричну модель системи міжпредметних зв'язків, що дозволяє автоматизувати адаптивний процес інтегрування навчальних дисциплін на основі використання нейрон-нечіткого аналізу та мережі Хопфілда для визначення коефіцієнтів інтеграції. Наведено результати комп'ютерних експериментів.

### Введение

В условиях становления информационного общества усовершенствование средств компьютеризации обучения является одним из необходимых условий повышения эффективности любых форм образования. Использование средств информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в рамках информационного подхода позволяет решать локальные педагогические задачи, связанные с предоставлением учебного контента, компьютеризировать процессы контроля обучения и т.п. Однако при этом управление обучением, как сложным целенаправленным процессом, остается по сути «ручным», что не позволяет реализовать замкнутый, направленный, автоматизированный вариант управления в соответствии с современными дидактическими требованиями [1]. Устранение данного противоречия связано с развитием идеи кибернетического подхода к управлению обучением, который дидактически обоснован в работах Н.Ф. Талызиной, реализован на основе моделей, предложенных в работах Н. Винера, Л.А. Растрюгина, А.Ф. Верланя, М.Ф. Уса, Н.В. Шароновой, Ю.К. Годорцева и др. Дальнейшее развитие кибернетического подхода к управлению педагогической системой, как организационно-технической сложной системой, в которой необходим учет саморазвития объекта управления —

обучаемого, связано с использованием синергетического подхода для системного анализа таких систем. Синергетическая модель управления обучением предложена в [2], она позволяет при выработке управляющих обучающих воздействий учесть характер изменений параметров модели обучаемого, что создает условия для индивидуализации обучения.

Одним из условий расширения фазового пространства состояний процесса обучения является учет междисциплинарных и межпредметных взаимосвязей учебных элементов, что с кибернетических позиций соответствует принципу необходимого разнообразия У. Эшби, а с дидактических позиций отражает интеграционные процессы в современной науке и, следовательно, образовании [3].

Совместное решение задачи учета саморазвития обучаемого в пространстве многовекторных несогласованных воздействий в условиях одновременного изучения набора учебных дисциплин является **актуальной и нерешенной** задачей, решение которой связано с необходимостью разработки средств интеллектуальной поддержки процесса автоматизированного формирования индивидуальных траекторий обучения для каждого обучаемого.

**Цель** данной статьи состоит в разработке средств повышения адаптивных свойств управляющих воздействий со стороны автоматизированной системы управления обучением на основе применения синергетического подхода и его реализации интеллектуальными технологиями с учетом интегративных характеристик учебного материала.

#### **Особенности синергетической модели управления обучением**

Рассмотрение процесса обучения как управляемого, является плодотворной идеей. Задача обучения естественным образом формулируется как задача управления. В соответствии с кибернетическим подходом к обучению в качестве объекта управления рассматривается модель обучаемого, в качестве средства управления — преподаватель. Схема управления обучением идентична общей схеме управления любым объектом (рис. 1), которая содержит следующие элементы:  $X$  — состояние среды, влияющее на обучение;  $Y$  — состояние обучаемого;  $D_x, D_y$  — соответствующие датчики. Обычно известны цели обучения  $Z^*$ , ресурсы  $R$ , информация о текущем состоянии обучаемого  $Y'$ , состоянии среды  $X'$ . Задача состоит в определении такой организации обучения  $U$ , которая изменит состояние обучаемого таким образом, чтобы была достигнута цель обучения  $Z^*$  [4]:

$$U = \varphi(X', Y', Z^*, R), \quad (1)$$

где  $\varphi$  — алгоритм обучения.

Различные модификации и реализации известной схемы управления основаны на «ручном» режиме формирования управляющих воздействий со стороны преподавателя, что не позволяет индивидуализировать обучение в полной мере. Поэтому предлагаемая схема управления в качестве устройства управления предусматривает блок взаимодействия автоматизированной

системы управления обучением (АСУ-О) со специализированным информационным обеспечением (ИнфО) и с преподавателем.

Однако в связи с изменениями, происшедшими в теории управления, заключающимися в расширении объекта ее рассмотрения от технических систем к организационно-техническим и социальным, кибернетическая парадигма управления дополняется синергетическим подходом, что позволяет определить параметры управления, с помощью которых возможна адаптация для конкретного обучаемого.

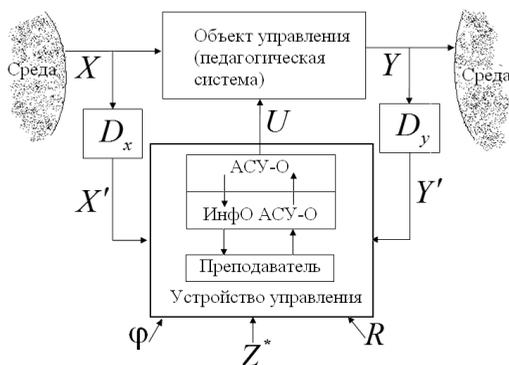


Рис. 1. Схема управления обучением

В рамках синергетического подхода разработана двухклассовая модель управления обучением на основе допущения об эквивалентности коэффициентов забывания  $f$  и умозаключения  $c$  соответствующим коэффициентам индивидуальных особенностей. Модель позволяет найти связь между двумя параметрами управления: количеством информации  $S$  и частью времени, отведенному на накопление знаний  $U$  [2]. Преобразования системы уравнений синергетической модели приводят к результирующему описанию инвариантного многообразия в фазовом пространстве, связывающему координаты состояния и управления:

$$(1+r)e^{\alpha t}(Ux + (1-U)y) = \beta + \int e^{-\alpha t} h(t) dt, \quad (2)$$

где  $r$  — коэффициент сопротивления дидактическому процессу,  $h(t)$  — скорость предоставления информации,  $x, y$  — нормированные объемы накопленных знаний и сформированных умений соответственно, причем  $0 < x < 1, 0 < y < 1, \alpha = \frac{c-f}{1+r}, \beta$  — произвольные постоянные.

Формирование управляющего воздействия на основе предложенной модели осуществляется в соответствии с треугольником управления (рис. 2), где  $\lambda$  — параметр, зависящий от скорости предоставления информации, определяется на основе календарного плана занятий,  $\gamma$  — коэффициент гипотезы забывания.

При формировании индивидуализированных управляющих воздействий в условиях интегрированного обучения, одной из наиболее известных и широко применяемых форм которого является применение системы межпредметных связей (МПС), необходим учет индивидуальных

особенностей обучаемого, определяющих память и скорость формирования направленных ассоциаций. Соотношение между этими характеристиками

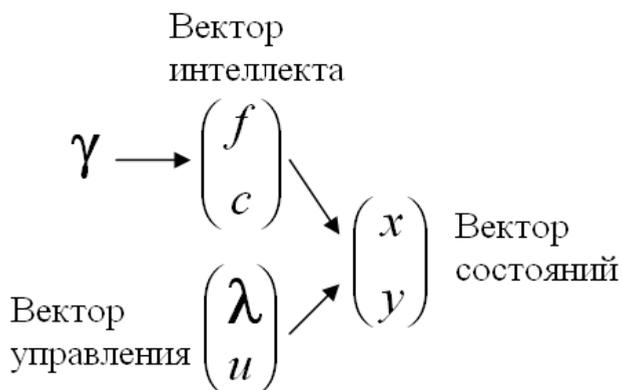


Рис. 2. Треугольник векторов управления обучением

определяет вектор интеллекта, выражающий продуктивность обучения на основе показателей  $f$  и  $c$ . Для определения внутреннего содержания вектора интеллекта разделим всю обучающую информацию, на два блока: блок учебных элементов (УЭ) —  $A$ , блок комплексов —  $B$ . Причем под блоком комплексов будем понимать множество бинарных отношений, которые характеризуют взаимосвязи между УЭ, принадлежащими к разным учебным дисциплинам. Каждый элемент блока УЭ  $a_i$  имеет свой номер  $i$  в соответствии с моментом времени  $t_i$ , в который обучаемый получает информацию об УЭ. Блок комплексов  $B$  содержит результаты умозаключений, которые основаны на внутрипредметных и межпредметных формируемых ассоциациях. Указанные блоки образуют граф обучения (ГО), вершины которого являются элементами блока  $A$ , а ребра образованы блоком комплексов  $B$ .

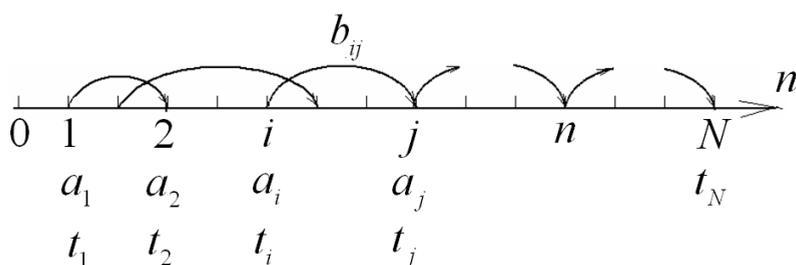


Рис. 3. Линейная укладка графа обучения ГО(A, B)

Линейная укладка ориентированного графа (рис. 3) служит исходной информацией для графо-аналитического определения параметров вектора интеллекта, которые определяются как вероятности усвоения элементов, соответствующих вершинам  $x(t)$  и ребрам  $y(t)$  графа, где  $t$  — время обучения.

Используя линейную укладку подграфа  $\Gamma_t$ , состоящего из  $n_t$  вершин и  $m_t$  дуг за время  $t$ , и весовые коэффициенты его вершин  $q_i$  и ребер  $q_{ij}$ , а также коэффициент гипотезы забывания  $\gamma$ , получим формулы для определения вероятностей сохранения вершин и ребер ГО в памяти через время  $t$  после их изучения:

$$x_t = \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_t} q_i e^{-\gamma(t-t_i)} \right)}{\left( \sum_{i=1}^{n_t} q_i \right)}; y_t = \frac{\left( \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{j=n_t-i}^{n_t} q_{ij} e^{-\gamma(2t-t_i-t_j)} \right)}{\left( \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{j=n_t-i}^{n_t} q_{ij} \right)}. \quad (3)$$

После определения производных уравнений (3) и исключения знаков нахождения суммы, получаем

$$\frac{dx}{dt} = -\left( \gamma + \frac{d}{dt} Q_t \right) x; \frac{dy}{dt} = -\left( 2\gamma + \frac{d}{dt} R_t \right) y, \quad (4)$$

где  $Q_t = \sum_{i=1}^{n_t} q_i$ ,  $R_t = \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{j=n_t-i}^{n_t} q_{ij}$ .

Уравнения (3), (4) позволяют использовать модель (2) для накопления статистических данных вектора интеллекта:

$$f = \frac{dx}{dt} /_{uy}; \quad c = \frac{dy}{dt} /_{(1-u)xy}. \quad (5)$$

Таким образом, выбор параметров управления определяется на основе учета распределения вектора интеллекта с помощью графо-аналитического метода реализации синергетической модели управления. Для последующей адаптации интеграционных характеристик содержания обучения необходима разработка структурно-параметрической модели системы межпредметных связей как составной части ГО.

### **Структурно-параметрическая модель системы межпредметных связей**

В процессе планирования и реализации МПС необходимо провести два структурно-логических анализа содержания учебных дисциплин (УД): внутренний и внешний [5]. Внутренний анализ направлен на определение ведущих положений и основных связеобразующих элементов, а внешний — на определение степени перекрытия содержания тем других УД, нахождение «опорных» межпредметных знаний для всестороннего рассмотрения ведущих положений основной УД. Осуществление указанных двух этапов относится к плохо формализованным задачам, функционально связано с двумя процессами — содержательным анализом структуры темы со стороны преподавателя и выполнением определенных информационных преобразований, которые могут быть автоматизированы при условии

разработки определенных моделей, подлежащих обработке методами искусственного интеллекта.

Исходными данными для построения модели системы МПС являются логически упорядоченные последовательности УЭ двух УД —  $LE1$  и  $LE2$ , где  $LE1 = \{l_i\}, i = 1 \dots m$ ,  $LE2 = \{l_j\}, j = 1 \dots n$ . Пусть  $LE1$  — множество УЭ основной УД,  $LE2$  — вспомогательной УД. Мнение эксперта-преподавателя по поводу целесообразности отображения взаимосвязей между парами УЭ, относящихся к разным УД, представляется в виде заполнения таблицы. Таким образом, формируется нечеткое отношение  $R_{1R2} = \left\{ \langle l_i, l_j \rangle; \mu_{R_{1R2}} \langle l_i, l_j \rangle \right\}$ , где функция принадлежности  $\mu_{R_{1R2}}$  бинарного нечеткого отношения количественно выражает степень уверенности эксперта в целесообразности рассматриваемой взаимосвязи. Нечеткое отношение  $LE1 R LE2$  образует нечеткий двудольный граф.

Для определения характеристики степени «перекрытия», используемой в последующем анализе МПС, будем использовать коэффициент интегрирования УД  $k_{int}$ . По сути данный коэффициент можно определить на основе локальных степеней вершин нечеткого орграфа. Однако с дидактических позиций при количественном определении показателя интеграции необходимо учесть не только количество взаимосвязей, но и коэффициент равномерности, расстояние от главной диагонали матрицы взаимосвязей. В связи с нечеткостью данных, которыми удобно пользоваться преподавателю, и нечетким характером соображений, определяющих набор правил логического вывода по определению показателя интеграции, в качестве математического аппарата применим нечеткую логику. В качестве входных и выходных данных будем использовать точные количественные показатели, поэтому система нечеткого вывода содержит фаззификатор на входе и дефаззификатор на выходе.

Для задачи формализации определения показателя интеграции учебного материала наиболее существенными являются следующие особенности, влияющие на выбор алгоритма нечеткого вывода:

— определение всех критериев выполняется в едином диапазоне, поэтому не требуется процедура масштабирования, следовательно, отсутствует необходимость применения модели Ларсена [6];

— все функции принадлежности являются однородными, следовательно, нет необходимости в применении модели Цукамото;

— результатом вывода является простое нечеткое множество, определение которого не связано с вычислением функционалов. Таким образом, нет необходимости в использовании модели Сугено.

Таким образом, на основе рассуждений от противного, выбираем в качестве основной модели алгоритм нечеткого вывода Мамдани. Математическое описание взаимосвязей между входными  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  и выходными  $Y$  данными, определяемое базой правил, можно представить с помощью операций  $\vee$  (дизъюнкции) и  $\wedge$  (конъюнкции) в следующем виде:

$$\bigvee_{p=1}^{k_j} \left( \bigwedge_{i=1}^n x_i = a_{i,jp} \right) \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

где  $a_{i,jp}$  — лингвистический терм, по которому оценивается переменная  $x_i$  в строчке с номером  $jp$  ( $p = \overline{1, k}$ );  $k_j$  — количество строк-конъюнкций, в которых выход  $y$  определяется выходным лингвистическим термом  $d_j$ ;  $m$  — количество термов, используемых для лингвистической оценки выходной переменной.

Для определения входных переменных, с помощью которых выражается мнение преподавателя по поводу целесообразности МПС, вводим следующие лингвистические переменные (ЛП).

«*Степень перекрытия*», содержащая три термина: {«низкий» (Н), «средний» (С), «высокий» (В)}. Для определения понятия «степень перекрытия» рассмотрим  $\alpha$ -сечение нечеткого отношения  $R1R2_\alpha = \{ \langle I1_i, I2_j \rangle : \mu_{R1R2} \langle I1_i, I2_j \rangle \geq \alpha \}$ , которое на основе эвристических соображений примем  $\alpha = 0,5$ . Таким образом, при определении «перекрытия» будут учтены только те взаимосвязи, степень принадлежности которых не меньше, чем 0,5. Тогда степень перекрытия определяем по следующей формуле:

$$S_p = \frac{\text{card}(R1R2_\alpha)}{m \cdot n}. \quad (7)$$

«*Степень равномерности*»: содержит те же термы: {«низкий» (Н), «средний» (С), «высокий» (В)}. Степень равномерности определяем на основе выражения

$$S_r = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \left| \mu_{R1R2} - \overline{\mu_{R1R2}} \right|. \quad (8)$$

«*Степень согласованности*» применяется для согласования изучения взаимосвязанных УЭ по времени. При этом принимаем во внимание соображение о том, что наилучшим вариантом расположения взаимосвязанных элементов с точки зрения согласования очередности, является главная диагональ матрицы МПС. В этом случае изучение взаимосвязанных УЭ синхронизировано. Чем больше расстояние между элементами, для которых  $\mu_{R1R2} \neq 0$ , тем больше степень несогласованности, что сдерживает осуществление интегрированного обучения. Таким образом, вычисление степени согласованности осуществляем по формуле

$$S_u = \frac{\text{card}\{\mu_{Rij} \mid \mu_{Rij} > 0, i = j\}}{\text{card}\{\mu_{Rij} \mid i = j\}}. \quad (9)$$

Выходная ЛП «*Коэффициент интеграции*» является дидактически значимой. Однако в педагогических исследованиях отсутствуют

количественные показатели его градации. В то же время различают преимущественно три уровня, содержательный смысл которых, в большинстве случаев, связан с выделением следующих уровней интеграции: эпизодические МПС, интегрированное обучение (на основе систематического использования МПС), интегративные учебные дисциплины. Поэтому в качестве термов данной ЛП применим также три значения: {«низкий» (Н), «средний» (С), «высокий» (В)}.

Диапазоны значений всех входных и выходных переменных составляют множество  $E = [0, 1]$ . В качестве функции принадлежности использована стандартная симметричная гауссова функция, описываемая следующим образом:

$$\mu(u) = \exp\left(-\frac{(u-b)^2}{2c^2}\right), \quad (10)$$

где  $b$  — координата максимума функции принадлежности;  $c$  — коэффициент концентрации.

Параметры термов для данной функции приведены в табл. 1.

**Таблица 1**

*Параметры функций принадлежности*

ЛП	Терм	Диапазон		Ширина	Центр	$b$	$c$
$S_p, S_r, S_u, k_{int}$	Н	0	0,5	0,5	0,25	0	0,1699
	С	0,25	0,75	0,5	0,5	0,5	0,1699
	В	0,5	1	0,5	0,75	1,0	0,1699

Определение выходной переменной осуществляется на основе правил продукции для нечетких переменных. При формировании правил учтены требования полноты и непротиворечивости. В данной постановке задачи необходимо сформировать 27 ( $3^3$ ) правил. Для формализации процесса составления правил применим принцип назначения весов каждому из термов входных ЛП [7]. Назначим терму Н вес — 1, терму С — 2, терму В — 3. На основе эвристических соображений определим, что минимальный вес (3) будет соответствовать конъюнкции  $H \wedge H \wedge H$ , а максимальный (9) — конъюнкции  $V \wedge V \wedge V$ . Тогда соответствие весовых диапазонов наборам конъюнкций для термов выходной переменной можно распределить следующим образом: 3–4 — Н, 5–7 — С, 8–9 — В. На основе назначенных весовых диапазонов сформированы правила установления выходной переменной в виде 3-разрядных векторов следующим образом: наборы ННН, ННС, НСН, СНН — для терма Н; ВВВ, ВВС, СВВ, ВСВ — для терма В, все остальные — для терма С.

Модель определения коэффициента интеграции, как обобщенного показателя, количественно оценивающего МПС на основе мнения преподавателя базовой УД, представлена на рис. 4.

Предложенная структурно-параметрическая модель системы МПС позволяет автоматизировать процесс управления интегрированием двух УД с учетом иерархического вложения «УД — Раздел (подраздел, модуль и т.п.) — УЭ».

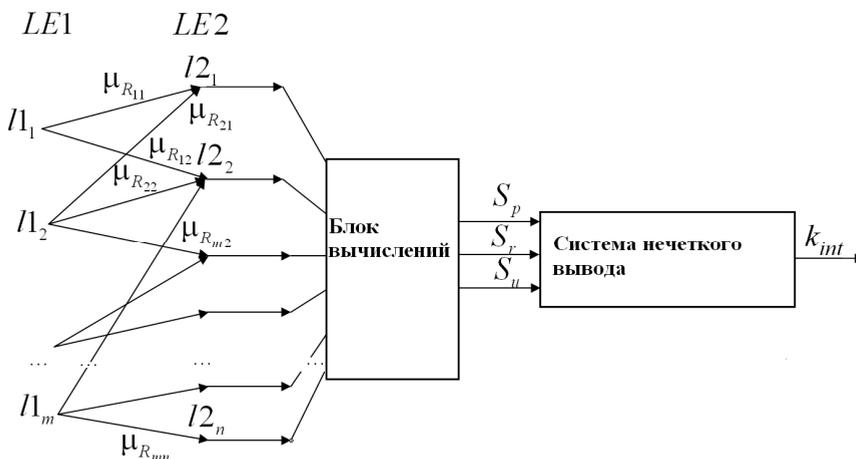


Рис. 4. Схема определения коэффициента интегрирования

### Нейросетевая реализация системы межпредметных связей

Теория формирования межпредметных структур учебных знаний базируется на психолого-педагогических исследованиях закономерностей ассоциативного процесса, характерных для использования МПС. Поэтому формализацию междисциплинарного объекта обучения выполним на основе модели ассоциативного мышления. Модель описания ассоциативного мышления рассматривается нами как звено, связывающее логическую модель и модель нейронной сети, что соответствует тенденциям развития систем искусственного интеллекта по созданию гибридных систем.

Для реализации модели ассоциативного поиска используем нейронную сеть Хопфилда [8], которая представляет собой сеть автоассоциативной памяти, формирующей отображение и обновление по ближайшему к эталонному образцу. Архитектура сети представляет собой рекуррентную однослойную сеть, в которой выход каждого нейрона связан с входами всех остальных. Начальное состояние сети определяется входным вектором, конечное состояние – состоянием равновесия, в результате которого устанавливается выходной восстановленный образец. Состояние равновесия устанавливается при условии достижения в сети минимума энергии. Компьютерная реализация системы МПС, как модели отражения эталона ассоциативного мышления, выполнена на основе использования инструмента Neural Networks Toolbox (NNT) пакета Matlab.

Сеть Хопфилда используется в качестве инструмента преобразования информации о целесообразных взаимосвязях между УД, представленной

бинарными значениями целевых точек, в информацию о коэффициентах интеграции, обеспечивающих требуемый уровень взаимосвязей. Предложенная модель системы МПС основана на аналогии с ассоциативным мышлением, позволяет даже в условиях отсутствия «задачника» настроить сеть, определить необходимые весовые коэффициенты, соответствующие заданному коэффициенту интегрирования. Данная модель является одним из необходимых элементов синтезированной системы управления индивидуализированным обучением, основным средством реализации интегрированного обучения.

### Практическая реализация

Рассмотрим в качестве примера исследование МПС между модулями, относящимися к дисциплинам — «Системы искусственного интеллекта» (СИИ) (модуль № 1 — Основные понятия искусственного интеллекта) и «Инженерия знаний» (ИЗ) (модуль № 1 — Методы получения и структурирования знаний). Исследование и компьютерные эксперименты проведены на основе опыта преподавания указанных дисциплин при подготовке студентов по специальности 080401 «Информационные управляющие системы и технологии» в Одесской национальной академии пищевых технологий. На основе заполнения преподавателем формы матрицы МПС, определена логическая последовательность каждого из модулей на основе композиции нечетких отношений. В результате учета

The screenshot shows a window titled 'Form2' with two dropdown menus for 'Дисципліна 1' (Systems of Artificial Intelligence) and 'Дисципліна 2' (Knowledge Engineering). Below is a table with 7 columns and 9 rows. The columns are: 'Вступ в ШІ', 'Основні нап', 'Структура ті', 'Моделі над', 'Засоби фор', and 'Декларатив'. The rows represent different knowledge components. The bottom row is 'Робота з нап'.

	Вступ в ШІ	Основні нап	Структура ті	Моделі над	Засоби фор	Декларатив
Вступ. Стру	0,75	0,25	0,25	1,0	0,5	0,5
Психологіч	0,25	0,25	0,25	0,75	0,75	0,5
Лінгвістичн	0,25	0,5	0,25	0,75	0,75	0,5
Гносеологіч	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25
Текстологіч	0,25	0,25	0,25	0,5	0,5	0,25
Комунікатив	0,25	0,25	0	0,25	0,5	0
Методи стр	0	0,25	0	0,25	0,5	0
Методи виз	0	0,25	0	0,25	0,5	0
Робота з нап	0	0	0	0,25	0,25	0

Рис. 5. Окно редактора межпредметных связей

внутрипредметных логических взаимосвязей получена последовательность изучения тем для модуля № 1 ИЗ: 1–4–6–3–8–7–2–5. С помощью специально разработанного программного модуля «Редактор МПС» преподаватель заполняет матрицу МПС, используя распределение уверенности в необходимости взаимосвязи: 0 — отсутствие, 0,25 — низкая, 0,5 — средняя, 1 — высокая. По результатам заполненной таблицы (рис. 5) вычисляем входные показатели нейро-нечеткого анализа по формулам (7)–(9): степень перекрытия  $S_p = 0,25$ , степень равномерности  $S_r = 0,3$ , степень согласованности  $S_u = 0,63$ .

Последующий анализ результатов моделирования МПС выполнен на основе использования пакета нечеткого вывода Fuzzy Logic Toolbox системы Matlab. В результате моделирования получено значение выходной переменной — коэффициента интеграции  $k_{int} = 0,454$ , что соответствует средней степени осуществления интеграции. С дидактической точки зрения это соответствует систематическому использованию МПС (рис. 6).

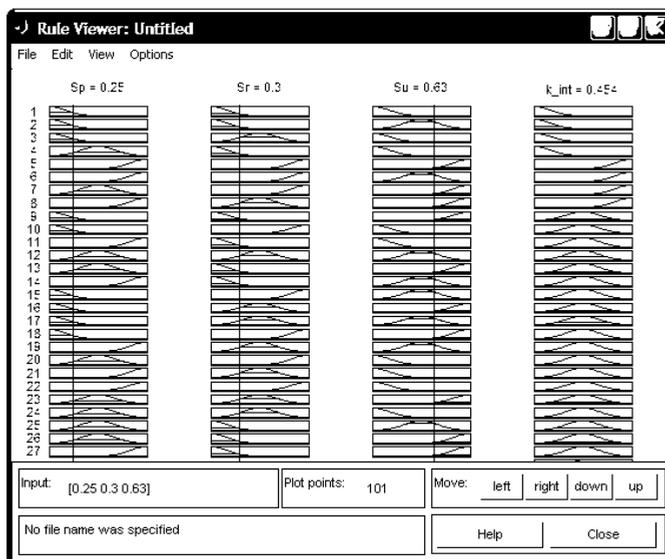


Рис. 6. Окно нечеткого логического вывода

## Выводы

Определение коэффициента интеграции составляет основу для управления процессом формирования компетенций. Приведенный пример подтверждает практическую значимость моделей учебного материала и модели МПС. Программное обеспечение в виде редактора МПС создано для удобства заполнения преподавателем матрицы МПС и определения степени взаимосвязей. Результаты практической реализации нейро-нечеткой системы подтверждают достоверность полученных данных. Таким образом, в условиях даже традиционного обучения, АСУ-О выполняет функции формирования последовательности УЭ с учетом внутрипредметных и межпредметных связей.

Эффективность использования составных элементов АСУ-О определяется возможностью автоматизированного формирования последовательности изучения учебной информации не зависимо от способа ее представления (электронный или нет), возможностью количественной оценки показателей интеграции на основе применения нечетких отношений.

Таким образом, в рамках реализации общей синергетической модели управления обучением, разработана модель адаптации управляющих воздействий в виде последовательности изучения УЭ различных УД с учетом особенностей интегрированного обучения, что является одним из элементов расширения фазового пространства управляющих воздействий, позволяющих индивидуализировать обучение.

1. *Беспалько В.П.* Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) / В.П. Беспалько. — М. : МПСИ, 2002. — 325 с.  
Bespalko V.P. *Education and teaching with participation of computers (pedagogy third millennium)*. Moscow psychology-social institute Publ., 2002. 325 p.
2. *Мазурок Т.Л.* Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением / Т.Л. Мазурок // Математичні машини і системи. — 2010. — № 3. — С. 124–134.  
Mazurok T.L. Synergetic model of individualized teaching control. *Mathematical Machines and Systems*, 2010, no. 3, pp. 124–134.
3. *Кленко С.Ф.* Интегративна освіта і поліморфізм знання / С.Ф. Кленко. — Х. : ХГУ, 1988. — 357 с.  
Klepko S.F. *Integrative education and knowledge polymorphism*. Kharkov: KSU, 1988. 357 p.
4. *Растрюгин Л.А.* Адаптивное обучение с моделью обучаемого / Л.А. Растрюгин, М.Х. Эренштейн. — Рига : Зинатне, 1988. — 160 с.  
Rastrigin L.A. Ehrenstein M.H. *Adaptive learning with student model*. Riga: Zinatne, 1988. 160 p.
5. *Федорец Г.Ф.* Межпредметные связи в процессе обучения / Г.Ф. Федорец. — Л. : ЛГПИ, 1983. — С.8–18.  
Fedoretc G.F. *Interdisciplinary relations in the process of teaching*. Leningrad: LSPI, 1983. pp. 8–18.
6. *Зайченко Ю.П.* Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Ю.П. Зайченко. — К. : Издательский дом «Слово», 2008. — 344 с.  
Zaichenko Y.P. *Fuzzy models and methods in intellectual systems*. Kiev: Publishing House "Slovo", 2008. 344 p.
7. Нечеткая логика в экспертной оценке ИКТ-компетентностей / Г.Ф. Кривуля, А.С. Шкиль, Д.Е. Кучеренко, Е.В. Гаркуша // Вестник ХНТУ. — 2011. — № 2 (41). — С.13–22.  
Krivulya G.F., Shkil A.S., Kucherenko D.E., Garkusha E.V. Fuzzy logic in expert evaluation of ICT-competencies. *Vesnik HNTU*, 2011, no. 2 (41), pp. 13–22.
8. *Медведев В.С.* Нейронные сети. Matlab6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. — М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. — 496 с.  
Medvedev V.S., Potemkin V.G. *Neural network. Matlab6*. Moscow: Dialog-MIFI, 2002. 496 p.

Получено 22.04.2013