

УДК 378.147.007.2:5/54(075.8)

В.П. Шибицкий

## ЭКСПЕРТНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОБУЧЕНИЯ

*Предложен метод экспертного оценивания процессов в слабоформализованной информационной среде обучения на основе структурной модели дидактических знаний и тестовых индикаторов в логико-семантическом базисе.*

Рассмотрим задачу анализа информационных процессов в эргатической системе обучения. Для анализа процессов в данной системе используем входной сигнал, который обладает свойствами эталона при оценивании процессов усвоения, сохранения и обработки дидактических знаний оператором [1, 2].

Дидактическими называются знания, которые оператор использует в профессиональной деятельности. Формально базу дидактических знаний в системе обучения можно представить в виде иерархической структуры модулей. Внутренняя структура модуля обуславливается отношениями между информационными объектами, типичными для модуля и определяющими связность компонентов и соблюдение принципа полноты знаний в нем (рис. 1).

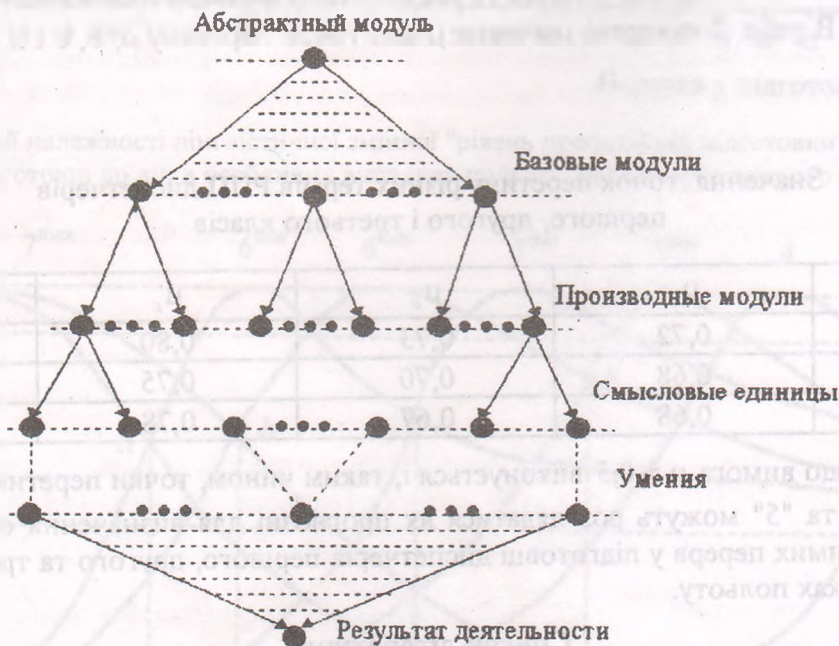


Рис. 1. Модульная структура знаний

В качестве абстрактного модуля верхнего уровня могут выступать разделы и темы дисциплины. Производные модули содержат типовые понятия дисциплины. На самом нижнем уровне иерархии определена система умений, овладение которой оценивается по результатам деятельности. Процесс приобретения оператором знаний системы описывает функция принадлежности  $\mu_Y(x_i)$  нечеткого подмножества  $Y \subset X$  знаний оператора множества эталонных знаний  $x_i \in X$  системы (рис.2).

Компьютерная система осуществляет диагностику деятельности оператора в заданных точках процесса обучения с экспоненциальным законом усвоения знаний и их сохране-



При этом определяется начальное множество  $Y_0$  знаний оператора, функция принадлежности знаний  $x_i \in X$  текущих разделов множеству  $Z$  целевых знаний, скорость формирования множества  $Z$  в процессе обучения, скорость забывания или сохранения знаний. Функция принадлежности знаний оператора множеству знаний системы

$$\mu_Y(x_i) \Leftrightarrow \Psi(X, Y_0, D, \Delta)$$

позволяет оценить процесс накопления оператором знаний на интервале времени  $\Delta$ . Процесс деятельности  $D$  определяется как последовательность действий над эталонными информационными объектами, вовлеченными в этот процесс. Для управления процессом обучения и организации обратной связи от оператора к эргатической системе обучения предлагается абстрактная информационная форма входного воздействия, которую назовем тест-сигналом.

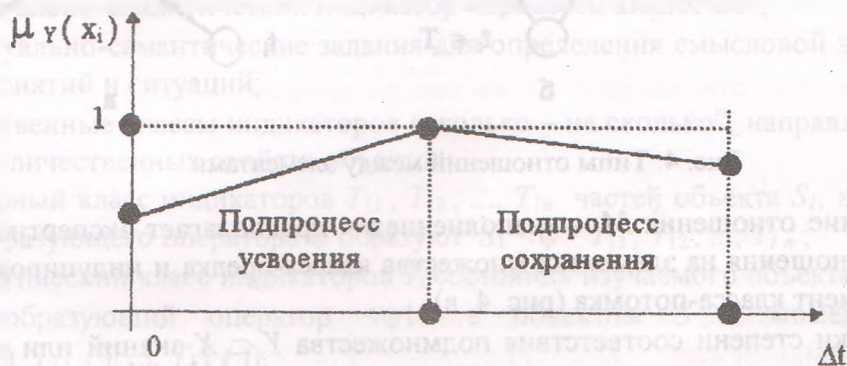


Рис. 2. Процесс обработки знаний оператором

Тест-сигнал фиксирует отношения элементов базы знаний и тестовых индикаторов. Рассмотрим иерархическую модель отношений классов тестовых индикаторов (рис. 3).

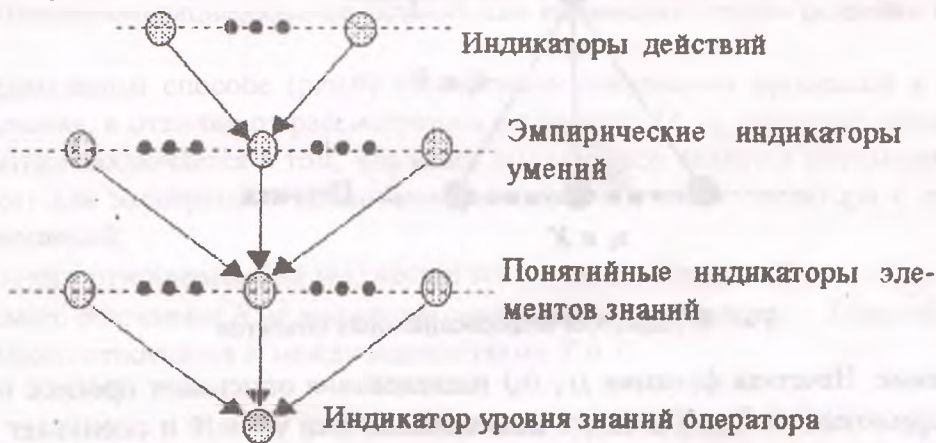


Рис. 3 Структура контроля и диагностики процесса обучения

Зададим типы отношений между элементами указанных множеств и определим возможные тест-сигналы (рис. 4).

Тип В – отношения «простого наследования» – оценивается по парам элементов из классов предков  $x_i \in X$  и потомков в виде тестовых индикаторов. В частности, данный тип отношений определяет смысловые единицы знаний, входящих в заданную тему, или подмножество дидактических знаний, необходимых для формирования умения, на которое устанавливается тестовый индикатор  $t_i \in T$  (рис. 4, а).

В типе  $W$  – «множественное наследование» – выделяется подмножество элементов из классов-предков и класс-потомок. Например, умение может формироваться в результате приобретения знаний из различных модулей (рис. 4, б). В этом типе отношений может возникнуть частный случай использования класса элементов знаний. Для оценивания отношения типа «использования» из элементов класса формируется подмножество.

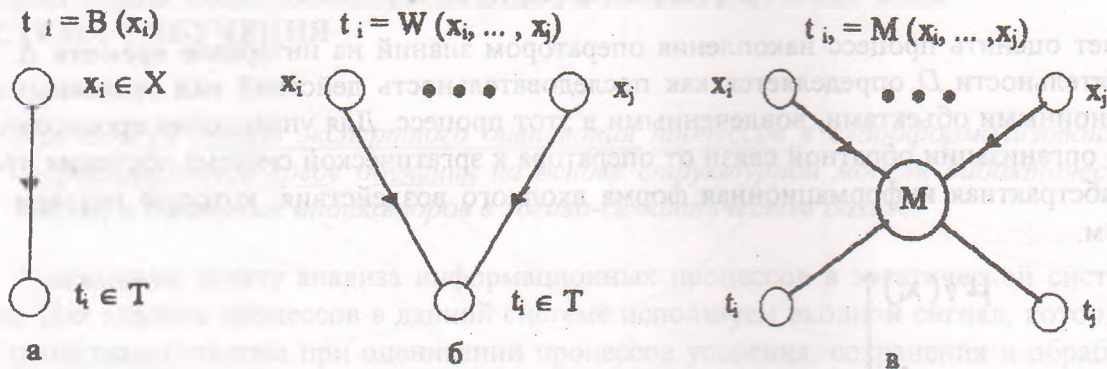


Рис. 4. Типы отношений между элементами

Оценивание отношения  $M$  – «наполнение» – предполагает экспертное определение структурного отношения на элементах множества класса-предка и индуцирования этого отношения на элемент класса-потомка (рис. 4, в).

Для оценки степени соответствия подмножества  $Y \subset X$  знаний или умений группы операторов требуемому подмножеству  $Z \subset X$  знаний предлагается понятие нечеткой функции  $\mu_z(x_i)$  наследования (рис. 5).

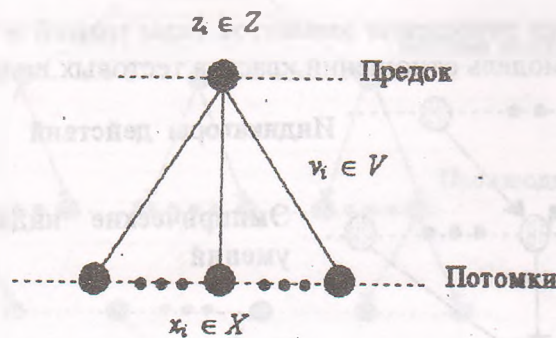


Рис. 5. Иерархия информационных объектов

**Определение.** Нечеткая функция  $\mu_z(x_i)$  наследования описывает процесс накопления оператором подмножества  $Y \subset X$  дидактических знаний или умений и оценивает вклад элементов  $x_i$  из множества  $X$  - потомков в формирование элемента множества  $Z$  знаний - предка по формуле:

$$\mu_z(x_i) = \sum_{i=1}^N (\mu_v(x_i) * \xi_v(x_i)),$$

где  $\xi_v(x_i)$  – относительный вес бинарного отношения наследования в паре элементов  $(x_i, z_i)$ , рассчитываемый по формуле:

$$\xi_v(x_i) = \mu_v(x_i) / \sum_{i=1}^N \mu_v(x_i).$$



Рассмотрим приведенные формулы более подробно. Для фиксированного элемента  $z$  множества знаний предка экспертно зададим структуру отношения наследования в виде функции  $V = H(x_i, z)$ , где  $i = 1, N$ .

Будем считать, что множество  $V$  отношений между элементами  $x_i, z$  знаний соседних уровней представлено весовыми коэффициентами  $\mu_V(x)$ , заданными экспертно на этапе структурирования знаний и построения дерева целей (умений).

Принцип абстрагирования структуры знаний и теста в единую форму тест-сигнала с учетом отношений наследования для элементов знаний и тестовых индикаторов умений позволяет проектировать тесты в логико-семантическом базисе знаний [3]:

- восприятие информации человеком в виде направленного анализа исследуемых эталонных объектов, явлений и ситуаций;
- концептуальный класс индикаторов "кто, что" и "определи понятие";
- концептуально-аналитический индикатор «провести аналогию»;
- концептуально-семантические задания для определения смысловой эквивалентности или близости понятий и ситуаций;
- количественные классы индикаторов «сколько – на сколько», направленные на выявление знания количественных свойств объектов;
- структурный класс индикаторов  $T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1n}$  частей объекта  $S_i$ , которые с помощью системообразующего оператора  $\psi$  образуют  $S_i \langle \psi \rangle T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1n}$ ;
- фактологический класс индикаторов  $T_i$  состояния изучаемого объекта  $S_i$ , связанный через системообразующий оператор  $\langle \psi \rangle$  с объектом  $S$  в момент времени  $t$ :  $S(t) \langle \psi \rangle T_i(t), T_i(t), \dots, T_n(t)$ ;
- функциональный класс индикаторов, изучающий физическое состояние объекта как процесса развернутой во времени последовательности событий и выявляющий характерное изменение параметров объекта в цепочке причинно-следственных связей  $\rightarrow S_i(t-2) \rightarrow S_i(t-1) \rightarrow S_i(t) \rightarrow S_i(t+1) \rightarrow \dots$ ;
- проблемно-операциональные задания для индикации этапов решения поставленной задачи.

В предлагаемом способе (рис.6) экспертного оценивания процессов в эргатической системе обучения, в отличие от рассмотренного в работах [4,5], основное назначение эталона и индикатора заключается в том, что класс индикаторов является потомком эталона знаний и служит для экспертного оценивания процесса обучения оператора с помощью следующих отношений:

- заданного отношения  $S$  на множестве эталонов  $x_i \in X$  знаний;
- искомого отношения  $R$  на множестве оцениваемых элементов  $y_i \in Y$  знаний обучаемых;
- искомого отношения  $F$  между множествами  $X$  и  $Y$ .

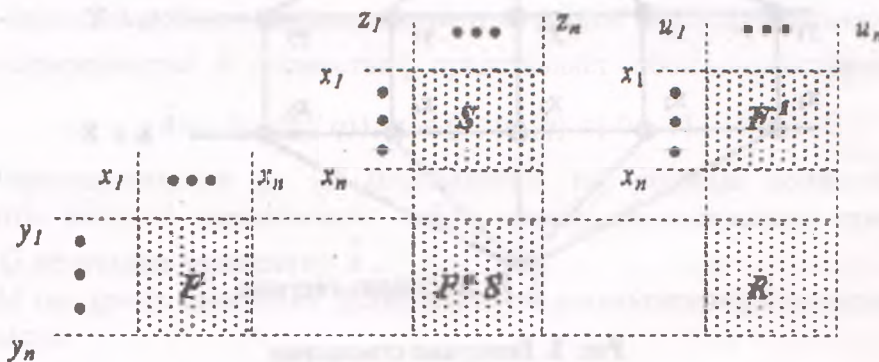


Рис. 6. Формирование отношения  $R$



Пусть заданы два множества  $X$  и  $Y$  с нечеткими отношениями  $S$  и  $R$  на них соответственно, а также нечеткое отношение  $F$  между  $X$  и  $Y$ . Кортеж  $\langle X, R; Y, S; F \rangle$  будем называть согласованной системой, если выполнено соотношение  $R = F \circ S \circ F^{-1}$ , показанное на рис.6.

Таким образом, отношение  $S$  фиксирует состояние системы из эталонных элементов знаний, искомое отношение  $R$  характеризует состояние системы знаний обучаемого  $y_i \in Y$ , а отношение  $F$  определяет характер взаимодействия этих систем и характер их согласования.

Рассмотрим методику оценивания отношения предпочтения тестового задания или класса тестовых индикаторов к элементам базы знаний системы. Отношение  $F$  является бинарным отношением множества тестовых индикаторов к эталонным знаниям системы. Это отношение оценивается степенью принадлежности  $\mu_F(x, y)$ . Далее вычисляется композиция  $F \circ S$  на основе отношений  $F$  и  $S$  по формуле:

$$\mu_{F \circ S}(y, z) = V \mu_F(x, y) \wedge \mu_S(x, z) = \text{MAX} [ \text{MIN} (\mu_F(x, y), \mu_S(x, z)) ],$$

где  $x, z \in X, y \in Y$ .

Результирующее отношение  $R$  на множестве тестовых заданий определяет отношение предпочтения и вычисляется по формуле

$$\mu_R(y, u) = V \mu_{F \circ S}(y, z) \wedge \mu_{F^{-1}}(x, u) = \text{MAX} [ \text{MIN} (\mu_{F \circ S}(y, z), \mu_{F^{-1}}(x, u)) ],$$

где  $y, u \in X$ .

Система обучения декларирует дискретно из базы знаний элементы множества  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$  с экспертно заданным структурным свойством этого множества (рис. 7), определяющим его класс на множествах  $X$  и  $Q$ , где  $q_i \in Q$  – степень отношения элементов  $x_i \in X$ .

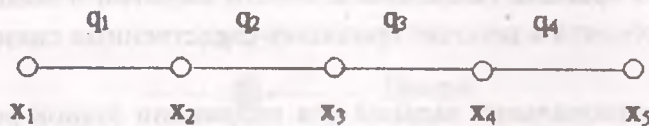


Рис. 7. Информационный поток

В результате тестирования группы обучаемых на заданной структуре  $N$  знаний можно оценить степень  $\mu_y(x_i)$  принадлежности элемента знаний системы множеству  $Y$  знаний группы обучаемых (рис. 8).

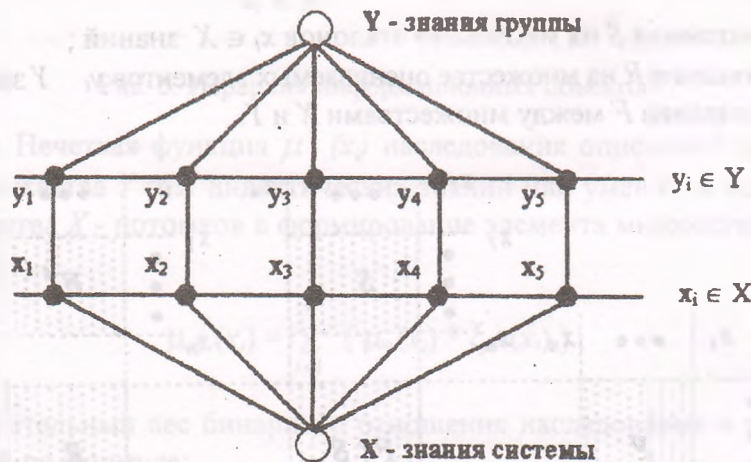


Рис. 8. Бинарные отношения

Бинарные отношения на множестве  $X$  знаний системы и множестве  $Y$  знаний группы операторов с нечеткой функцией принадлежности приведены в табл. 1. Оценивание отношений на множестве индикаторов  $t_i \in T$  знаний позволяет вычислить функцию принадлежности  $\mu_Y(t_j)$  и классифицировать операторов по уровню знаний:

$$\mu_Y(t_j) = \sum_{i=1}^N (\mu_Y(x_i) * \mu_V(x_i) / \sum_{i=1}^N \mu_V(x_i))$$

Таблица 1

Значения функции принадлежности  $\mu_Y(x_i)$

Подмножества знаний Операторов	Множество эталонных знаний системы, X					$\mu_Y(x_i)$
	$\xi_1 = 0,1$	$\xi_2 = 0,5$	$\xi_3 = 0,2$	$\xi_4 = 0,1$	$\xi_5 = 0,1$	
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	
$Y_1$	1	0,7	0	0,9	0,3	0,57
$Y_2$	0	1	0,9	0,7	0,3	0,78
$Y_3$	0,7	0,5	1	0,9	0,5	0,66
$Y_4$	0	0,3	0,5	1	0,3	0,38
$Y_5$	1	0,3	1	0,5	1	0,5

Для подтверждения достоверности предлагаемой методики тест-сигналов рассчитаем коэффициенты корреляции значений функции принадлежности подмножеств знаний операторов (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты корреляции

	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$
$Y_1$	1	0,3	0,2	0,03	0,4
$Y_2$		1	0,2	0,5	0,6
$Y_3$			1	0,5	0,2
$Y_4$				1	0,4
$Y_5$					1

Анализ результатов, приведенных в табл.2, подтверждает достоверность предлагаемой методики оценивания знаний операторов в группе.

Перейдем к классическим оценкам знаний и воспользуемся лингвистическими понятиями («Оценка», Term, Q), где лингвистическая переменная Term-множество определена в работе [ 5 ]; Q - базовое множество оценок элементов знаний по числовой шкале  $Q = [ 0 .. 1 ]$ .

Нечеткое подмножество  $\hat{A}$  множества Q представляет собой множество пар:

$$\hat{A} = \{ (\mu_A(q) / q) \}, q_i \in Q, \mu_A(q) \in [ 0 .. 1 ]$$

Функция принадлежности  $\mu_A(q)$  определяется по матрице попарных сравнений  $M = \|m_{ij}\|$ , элементы которой представляют собой оценки интенсивности принадлежности элементов  $q_i \in Q$  нечеткому множеству  $\hat{A}$ .

Матрица M попарных сравнений формируется в результате опроса экспертов данной предметной области.



Коэффициенты  $m_j = h_i / h_j$  определяются с учетом мнения эксперта о том, насколько элемент  $q_i$  более значим, чем элемент  $q_j$  для определения понятия, описываемого нечетким множеством  $\tilde{A}$ , т.е. разницей между значениями функций  $\mu_A(q_i)$  и  $\mu_A(q_j)$ .

Для построения графиков функций принадлежности (рис.9) множество  $\tilde{A} = \{(h_i / h_{\max}) / \mu_A(q_i)\}$  нормализуется по правилам, изложенным в работах [6, 7].

Вычисленное значение функции принадлежности подмножества знаний оператора множеству знаний системы позволяет перейти от оценок в шкале нечетких множеств к лингвистическим оценкам, определяемым некоторой степенью принадлежности к термину множеству базовых оценок.

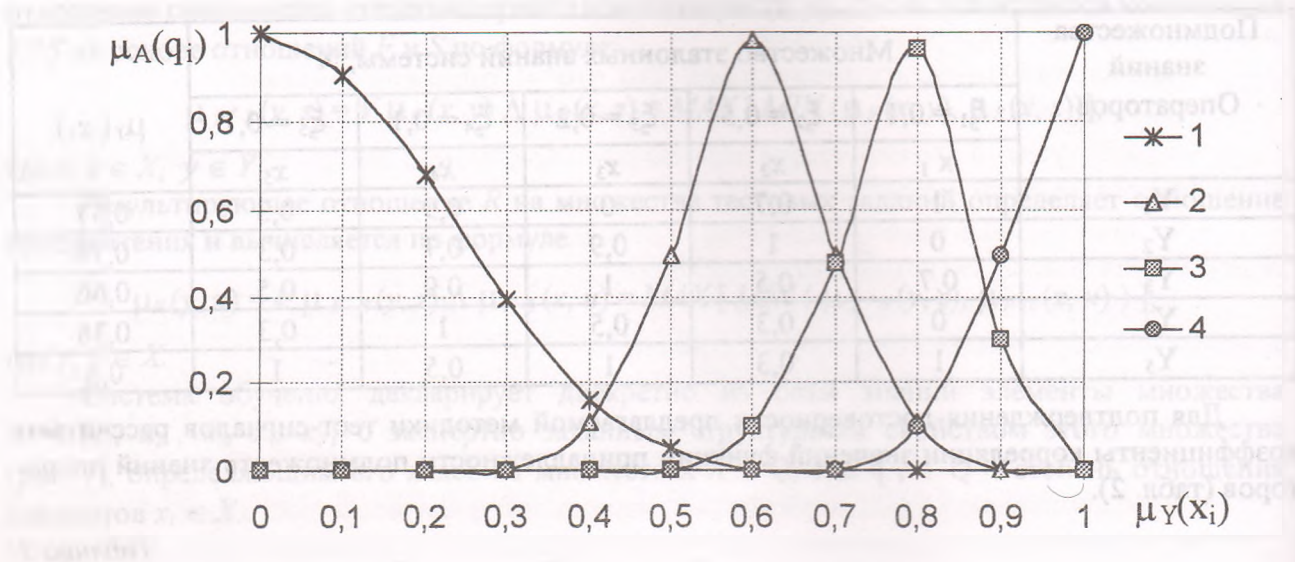


Рис. 9. Функции принадлежности

Таким образом, рассмотренная методика экспертного оценивания позволяет в комплексе провести точную и объективную диагностику многопараметрического процесса обучения.

#### Список литературы

1. Городецкий В.И., Грушинский М.С., Хабалов А.В. Многоагентные системы (обзор) // Санкт-Петербургский Институт Информатики и автоматизации РАН e-mail: gor@iias.spd.su, 1999. – 43 с.
2. Шибцикий В.П., Шибцикая Н.Н. Структурный анализ интеллектуальных систем управления с декомпозицией и распараллеливанием вычислительных процессов // Вісник КМУЦА. – К.: КМУТА, 1999. – № 2. – С. 179–187.
3. Шибцикая Н.Н. Метод идентификации объектов в эргатической системе управления процессом обучения. // Кибернетика и вычислительная техника. – К., 1998. – Вып. 121. – С.52-58.
4. Ингенкамп К. Педагогическая диагностика // Зарубежная школа и педагогика. – М.: Педагогика, 1991. – 239 с.
5. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: / Пер. с англ.: Под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
6. Гохман О.Г. Экспертное оценивание: Учеб. пособие. – Воронеж: изд-во ВГУ, 1991. – 152с.
7. Шибцикая Н.Н. Методика принятия решений в интеллектуальных системах обучения с нечетко заданной целевой функцией // Вісник КМУЦА. – К.: КМУТА, 1998. – № 1. – С. 307-314.

Стаття надійшла до редакції 3 квітня 2000 року.