

УДК 519.816: 004.5

**В. М. Кір'янов**, д-р техн. наук,

**І. Є. Фільо**, асистент

Національний університет водного господарства  
та природокористування, м. Рівне

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ «ВИКЛАДАЧ — КОМП'ЮТЕР — СТУДЕНТ» НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИСНОВКУ**

У статті наведено етапи моделювання взаємодії в системі «викладач — комп'ютер — студент» (ВКС) для реалізації комп'ютеризованого дослідницького навчання на основі нечіткого логічного висновку. Розглянуто загальні принципи побудови моделі прогнозування ефективності взаємодії в системі ВКС.

**Ключові слова:** *ефективність взаємодії, система «викладач — комп'ютер — студент», комп'ютеризоване дослідницьке навчання, нечіткий логічний висновок.*

**Постановка проблеми.** Аналіз теоретичних основ створення і використання моделей у дидактиці дає можливість стверджувати про відсутність науково обґрунтованих алгоритмів управління процесом комп'ютеризованого навчання з урахуванням ефективності взаємодії в системі «студент — комп'ютер», характеристик основних моделей (стратегій управління учбовою діяльністю) навчання, навчальних впливів, що реалізуються в системі «викладач — комп'ютер — студент». Тому, актуальною є задача моделювання ефективності взаємодії системи “*викладач — комп'ютер — студент*” для реалізації продуктивної навчальної діяльності студентів.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання математичного моделювання в педагогіці знайшли відображення в роботах Р. Аткинсона (R. Atkinson), С. Архангельського, Л. Ітельсона, В. Міхеєва, А. Свиридова, Дж. Стенлі (J. Stenly), Й. Турбовича. Оптимізації навчального процесу присвячені роботи по: програмованому навчанню (А. Берг, В. Беспалько, П. Гальперін, О. Довгялло, Л. Ітельсон, Н. Краудер (N. Krauder), Є. Машбиць, У. К. Річмонд (W. Kenneth Richmond), Б. Скіннер (B. Scinner), Н. Тализіна, К. Ющенко); використанню пакетів прикладних програм для комп'ютерного навчання (В. Карпов, Н. Тализіна, О. Савельєв); комп'ютеризації в сфері освіти (Г. Атанов, М. Бурда, Б. Гершунський, О. Івахненко, Г. Козлакова, Т. Корнілова, Є. Машбиць, І. Підласий); вивченню ефективності управління навчальним процесом (А. Алексюк, С. Архангельський, Ю. Бабанський, А. Берг, В. Беспалько, Н. Кузьміна, У. Морріс (W. Morris), Н. Ніканд-

ров, В. Полонський, Н. Тализіна, В. Якунін). Імітаційному моделюванню в педагогіці присвячені дослідження Б. Койшибаєва, Л. Кудрявцева, Я. Мікк, Д. Матроса, М. Моїсеєва, Л. Растрігіна. Визначальну роль у вирішенні питань моделювання користувачів інформаційних систем відіграли праці В. М. Глушкова, А. М. Довгялло, Т. А. Гаврилової, О. В. Піскуна, В. І. Дракіна, А. П. Бєня та ін.

Прогностичні моделі успішності та пізнавальної діяльності студентів були побудовані Т. В. Афоніною, Н. Л. Рижовою, Л. М. Гриненко, А. М. Продеус, Ю. В. Шукевичем, С. В. Якубовим, В. І. Бегуном, А. І. Захаровим, В. А. Чигирьовим, А. Н. Овечкіним, А. Б. Кондратенко. Серед цих моделей можна виділити моделі “переходу станів”, “функціональні” моделі, “регресійні” моделі. Серед недоліків цих моделей можна назвати: не врахування факторів, що пов'язані з впровадженням інформаційних технологій в підготовку інженерних кадрів, неможливість врахування великої кількості вхідних параметрів, вільного введення додаткових параметрів моделі, врахування параметрів, що вимірюються на початковому етапі експерименту тощо. В останні роки для математичного моделювання важко визначених педагогічних процесів дослідники почали використовувати методи теорії нечітких множин. Ці методи використовуються вченими Веселовською Г. В. [1], Якусевичем Ю. Г. [2], Зянчуріною І. М. [3], Яшун Т. В. [4] для математичного моделювання діалогових систем навчання, процесу дистанційного навчання, взаємодії користувача та комп'ютера. Однак, не знайшли достатнього відбиття у науковій літературі підходи до математичного моделювання комп'ютеризованого дослідницького навчання, а також моделі ефективності взаємодії системи “викладач — комп'ютер — студент” для реалізації продуктивної навчальної діяльності студентів.

**Метою статті** є побудова математичної моделі взаємодії в системі ВКС та відповідного методу нечіткого прогностичного оцінювання ефективності взаємодії в системі «викладач-комп'ютер-студент» на основі модифікованого алгоритму нечіткого логічного висновку.

**Основна частина.** З кібернетичної точки зору задача побудови моделі прогнозування ефективності взаємодії на базі нечіткої логіки [5] може бути зведена до пошуку функціонального відображення виду:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_m\}, \quad (1)$$

де  $X$  — вектор факторів впливу на систему ВКС;  $n$  — кількість факторів системи ВКС;  $D$  — вектор оцінок показника ефективності взаємодії системи ВКС;  $m$  — кількість оцінок показника ефективності взаємодії.

При оцінюванні показника ефективності взаємодії 4-ма термами та виконуючи декомпозицію факторів системи ВКС, відображення (1) набуде вигляд:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_k, t_1, t_2, \dots, t_j\} \rightarrow D \in \{d_1, d_2, d_3, d_4\}, \quad (2)$$

де  $X$  вектор факторів, що впливають на ефективність взаємодії системи ВКС:  $x_i, i = \overline{1, n}$  — фактори, що привносить студент у процес взаємодії,  $y_g, g = \overline{1, k}$  — фактори, пов'язані з комп'ютером та  $t_l, l = \overline{1, j}$  — фактори викладацької діяльності;  $D$  — вектор оцінок показника ефективності взаємодії системи ВКС, що описаний термами:  $d_1$  — низький (взаємодія неефективна),  $d_2$  — середній (взаємодія малоефективна),  $d_3$  — вище середнього (взаємодія ефективна),  $d_4$  — високий (взаємодія високоефективна).

Таким чином, задача моделювання взаємодії в системі «викладач-комп'ютер-студент» на базі нечіткої логіки [6] передбачає наступні кроки дослідження:

- 1) визначення найвпливовіших факторів, що привносяться студентом  $x_i, i = \overline{1, n}$ , викладачем  $t_l, l = \overline{1, j}$  і комп'ютером  $y_g, g = \overline{1, k}$ , в процес взаємодії системи ВКС;
- 2) здійснення прогностичної оцінки ефективності взаємодії за деяким правилом нечіткого висновку, що за заданим вектором факторів  $X$  моделює взаємодію в системі ВКС диференційовано для кожного студента.

Розглянемо основні етапи та загальні принципи дослідження, які використовуються при побудові математичної моделі прогнозування ефективності взаємодії в системі ВКС.

*Етап 1.* Побудова дерева логічного висновку та фазифікація вхідних параметрів моделі взаємодії.

*Етап 2.* Побудова нечіткої бази знань.

*Етап 3.* Нечіткий логічний висновок.

На ефективність взаємодії в системі «викладач — комп'ютер — студент» впливають психологічні, учбові, технічні та інші фактори. Нами, на основі дослідження науково-педагогічних джерел [3; 4; 7—12] та проведеного анкетування серед студентів і викладачів, пропонується така ієрархічна класифікація факторів впливу (рис. 1) у вигляді дерева логічного висновку.

Елементи дерева інтерпретуються таким чином [5]: корінь дерева — показник, що прогнозується — ефективність взаємодії системи ВКС ( $d$ ); термінальні вершини — частинні фактори впливу ( $x_1, \dots, x_{25}$ ); не термінальні вершини (подвійні кола) — згортка частинних факторів впливу в укрупненні; дуги графа, що виходять із не термінальних вершин дерева, відповідають укрупненим факторам впливу. Таким чином,

подане дерево логічного висновку (рис.1) визначає послідовність розрахунків при прогнозуванні ефективності взаємодії в системі ВКС.

Наведена структурна модель прогнозування показника ефективності взаємодії системи ВКС містить у собі сім моделей: 1) модель шкільної (базової з дисципліни) підготовки; 2) модель комп'ютерної грамотності студента; 3) модель особистісних та учбових характеристик студента; 4) модель інженерно-технічного мислення студента; 5) модель проблемності викладання; 6) модель організації взаємодії системи ВКС; 7) модель готовності викладача до здійснення ПКДН.

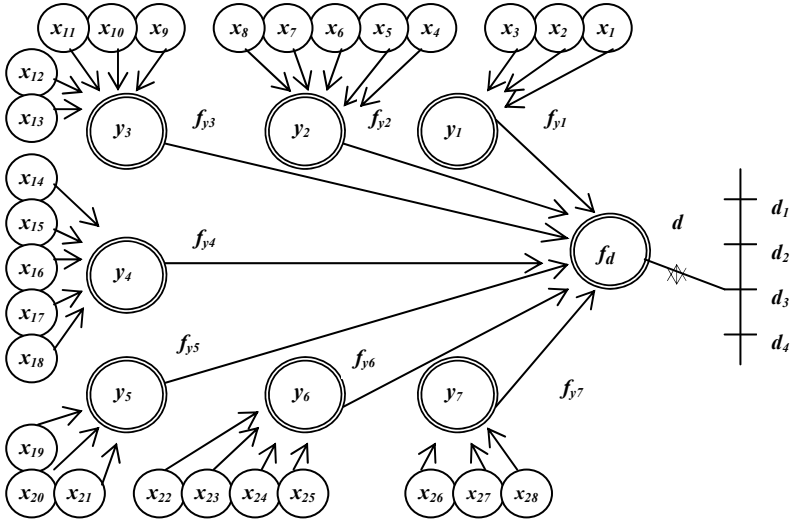


Рис. 1. Дерево логічного висновку

Опис факторів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Обґрунтування впливу факторів верхнього рівня  
( $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7$ ) на показник ефективності  
взаємодії в системі ВКС ( $D$ )

Позначення укрупненого фактора	Опис фактора	Джерело
$y_1$	Рівень шкільної (базової з дисципліни) підготовки	[4; 8]
$y_2$	Рівень комп'ютерної грамотності студента	[4; 8; 10; 12]
$y_3$	Рівень особистісних та учбових характеристик	[3; 8; 10-12]
$y_4$	Рівень інженерно-технічного мислення	[9; 10]
$y_5$	Рівень проблемності викладання	[7; 11]
$y_6$	Рівень організації взаємодії системи ВКС	[4; 11]
$y_7$	Рівень готовності викладача до здійснення ПКДН	[7; 10; 12]

З метою обрахування частинних факторів впливу були розроблені спеціальні анкети-опитувальники, які містять всю необхідну для експерименту інформацію про параметри системи ВКС, що привносяться студентом, викладачем і комп'ютером в процес взаємодії. Фактори, що вимірюються в анкетах, описуються з допомогою нечітких термів і визначаються терм-множиною:

$$T(PF) = \{ \text{"Низький"} (H), \text{"Нижче середнього"} (HC), \text{"Середній"} (C), \\ \text{"Вище середнього"} (BC), \text{"Високий"} (B) \}.$$

Отже, кожне питання анкети передбачає вибір однієї з п'яти нечітких відповідей (нечітких термів).

Наведеному на рис. 1. дереву логічного висновку відповідає така система співвідношень, що описує взаємозв'язок між вхідними змінними, ієрархією вхідних змінних і вихідною змінною (інтегральним показником ефективності взаємодії системи ВКС):

$$y_1 = f_{y_1}(x_1, x_2, x_3), \quad (3)$$

$$y_2 = f_{y_2}(x_4, x_5, x_6, x_7, x_8), \quad (4)$$

$$y_3 = f_{y_3}(x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}), \quad (5)$$

$$y_4 = f_{y_4}(x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}), \quad (6)$$

$$y_5 = f_{y_5}(x_{20}, x_{21}, x_{22}), \quad (7)$$

$$y_6 = f_{y_6}(x_{23}, x_{24}, x_{25}, x_{26}), \quad (8)$$

$$y_7 = f_{y_7}(x_{27}, x_{28}, x_{29}). \quad (9)$$

Враховуючи (3)—(9),  $d$  — вихідна змінна (інтегральний показник ефективності взаємодії системи ВКС) може бути отримана за таким правилом висновку:

$$d = f_d(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7), \quad (10)$$

де  $f(\cdot)$  — функціональний зв'язок між вхідними та вихідними змінними.

В загальному випадку, будемо вважати, що всі змінні, які стоять у вершинах дерева, є лінгвістичними змінними з наступними термами:

$\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ia}\}$  — множина термів для оцінки змінної

$x_i$ ,  $i = \overline{1, 29}$ ;  $\{y_{k1}, y_{k2}, \dots, y_{kb_k}\}$  — множина термів для оцінки змінної

$y_k$ ,  $k = \overline{1, 7}$ ;  $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$  — множина термів для оцінки змінної  $d$ .

Співвідношення (3)—(10) будемо представляти у вигляді нечітких баз знань, які містять логічні висловлювання про взаємозв'язки вхідних та вихідних змінних [5; 6]. Нечітка база знань про співвідношення (1) буде такою:

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО } (x_1 = x_1^{j1}) \text{ I } (x_2 = x_2^{j1}) \text{ I } (x_3 = x_3^{j1}) \text{ АБО} \\ & (x_1 = x_1^{j2}) \text{ I } (x_2 = x_2^{j2}) \text{ I } (x_3 = x_3^{j2}) \text{ АБО ...} \end{aligned} \quad (11)$$

$$(x_1 = x_1^{jc_j}) \text{ I } (x_2 = x_2^{jc_j}) \text{ I } (x_3 = x_3^{jc_j}), \text{ ТО } y_1 = y_{1j}$$

Правила нечіткої бази знань представимо у вигляді матриці знань  $M_{y_1}$ :

$$M_{y_1} = \begin{matrix} & x_1 & x_2 & x_3 & y_1 \\ & x_1^{11} & x_2^{11} & x_3^{11} & \\ & \dots & \dots & \dots & y_{11} \\ & x_1^{1c_1} & x_2^{1c_1} & x_3^{1c_1} & \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & x_1^{j1} & x_2^{j1} & x_3^{j1} & \\ & \dots & \dots & \dots & y_{1j} \\ & x_1^{jc_j} & x_2^{jc_j} & x_3^{jc_j} & \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ & x_1^{a1} & x_2^{a1} & x_3^{a1} & \\ & \dots & \dots & \dots & y_{1a} \\ & x_1^{ac_a} & x_2^{ac_a} & x_3^{ac_a} & \end{matrix} \quad (12)$$

Застосовуючи операцію перетину та об'єднання множин представимо нечітку базу знань (11) у такій формі:

$$\bigcup_{s=1}^{c_j} \left[ \bigcap_{i=1}^3 (x_i = x_i^{js}) \right] \rightarrow y_1 = y_{1j}, \quad j = \overline{1, a}. \quad (13)$$

Аналогічно можна побудувати нечіткі бази знань та матриці знань для співвідношень (4)—(8).

Нечітка база знань про співвідношення (7) буде такою:

$$\begin{aligned} & \text{ЯКЩО } (y_1 = y_1^{j1}) \text{ I } (y_2 = y_2^{j1}) \text{ I } \dots \text{ I } (y_7 = y_7^{j1}) \text{ АБО} \\ & (y_1 = y_1^{j2}) \text{ I } (y_2 = y_2^{j2}) \text{ I } \dots \text{ I } (y_7 = y_7^{j2}) \text{ АБО ...} \end{aligned} \quad (14)$$

$$(y_1 = y_1^{jt_j}) \text{ I } (y_2 = y_2^{jt_j}) \text{ I } \dots \text{ I } (y_7 = y_7^{jt_j}), \text{ ТО } d = d_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

Застосовуючи операцію перетину та об'єднання множин представимо нечітку базу знань (14) у такій формі:

$$\bigcup_{s=1}^{t_j} [(y_1 = y_1^{js}) \cap (y_2 = y_2^{js}) \cap (y_3 = y_3^{js}) \cap (y_4 = y_4^{js}) \cap (y_5 = y_5^{js}) \cap (y_6 = y_6^{js}) \cap (y_7 = y_7^{js})] \rightarrow d = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (15)$$

Таким чином, нами визначено систему логічних висловлювань (13), (14), які описують експертну інформацію про співвідношення (3)—(10), що відповідає узагальненому дереву взаємозв'язку між вхідними параметрами  $x_i$  та вихідної змінної  $d$ .

Відповідно до методу [5], що був запропонований О. П. Ротштейном, представимо співвідношення (3)—(10) у вигляді нечітких логічних рівнянь, які будуються на основі матриці знань і дозволяють віднайти значення функцій належності вихідної змінної при фіксованих значеннях вхідних параметрів.

Тоді, зі співвідношення (13) маємо:

$$\mu^{y_{1j}}(x_1, x_2, x_3) = \bigvee_{s=1}^{c_j} \left[ \bigwedge_{i=1}^3 \mu^{x_i^{js}}(x_i) \right], \quad (16)$$

де  $\mu^{y_{1j}}(x_1, x_2, x_3)$  — поверхня належності вектора змінних  $(x_1, x_2, x_3)$  нечіткому терму  $y_{1j}$ ;  $\mu^{x_i^{js}}(x_i)$  — функція належності змінної  $x_i$ ,  $i = \overline{1, 3}$ , нечіткому терму  $x_i^{js}$ ,  $s = \overline{1, c_j}$ ,  $j = \overline{1, a}$ .

Аналогічно можна отримати поверхні належності для вихідних змінних  $y_2 \div y_7$ .

Зі співвідношення (15) маємо:

$$\mu^{d_j}(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7) = \bigvee_{s=1}^{t_j} \left[ \bigwedge_{i=1}^7 \mu^{y_i^{js}}(y_i) \right], \quad (17)$$

де  $\mu^{d_j}(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7)$  — поверхня належності вектора змінних  $(y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7)$  нечіткому терму  $d_j$ ;  $\mu^{y_i^{js}}(y_i)$  функція належності змінної  $y_i$ ,  $i = \overline{1, 7}$ , нечіткому терму  $y_i^{js}$ ,  $s = \overline{1, t_j}$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

Таким чином, математичною моделлю прогнозування ефективності взаємодії в системі ВКС є система нечітких логічних рівнянь у вигляді (16)—(17).

Механізм побудови моделі взаємодії в системі ВКС та алгоритм нечіткого логічного висновку дозволяють сформулювати *метод прогностичного оцінювання ефективності взаємодії в системі «викладач — комп'ютер — студент»*. Такий метод може бути представлений у вигляді наступного алгоритму.

*Крок 1.* Зібрати статистичну інформацію на основі проведення попереднього експерименту: отримати якісні оцінки факторів системи ВКС шляхом анкетування студентів експериментальних груп та їх викладачів, зафіксувати оцінки на початковому занятті з дисципліни.

*Крок 2.* Задати кількість і вигляд лінгвістичних термів для оцінки факторів системи ВКС та показника ефективності взаємодії системи ВКС.

*Крок 3.* Представити зібрану статистичну інформацію у вигляді таблиці з врахуванням лінгвістичних термів заданих на кроці 2.

*Крок 4.* У випадку невиконання правила  $7 \pm 2$  для факторів системи ВКС, виконати класифікацію факторів, побудувати ієрархічне дерево висновку, сформувати ієрархічну систему матриць знань.

*Крок 5.* Задати функції належності для визначення нечітких множин вхідних факторів системи ВКС та вихідної змінної – показника ефективності взаємодії.

*Крок 6.* Задати вектор лінгвістичних оцінок певного студента для якого проводиться дослідження.

*Крок 7.* При побудові загальної матриці знань, перейти до кроку 9, при умові формування ієрархічної системи матриць знань, перейти до кроку 8.

*Крок 8.* Підставити знайдені на кроці 5 функції належності в нечіткі логічні рівняння (14)—(15), перейти до кроку 10.

*Крок 9.* Застосувати композиційне правило Заде для визначення нечіткої множини прогностичної оцінки показника ефективності взаємодії для певного студента.

*Крок 10.* Інтерпретувати отриману нечітку множину і здійснити прогноз з максимальним ступенем належності для певного студента.

*Крок 11.* Отримати прогностичні оцінки ефективності взаємодії для всіх студентів експериментальних груп.

*Крок 12.* На підставі отриманих оцінок проміжних прогнозів  $y_i, i = \overline{1, 7}$  та прогностичної оцінки ефективності взаємодії  $d_j^*$  отримати графічну модель експертного нечіткого оцінювання системи ВКС.

**Висновки.** У статті запропоновано: ієрархічну класифікацію факторів впливу у вигляді дерева логічного висновку, яке визначає послідовність розрахунків при прогнозуванні ефективності взаємодії в системі ВКС; параметри моделі взаємодії в системі «викладач — комп'ютер — студент» у вигляді логіко-лінгвістичної інформації; метод нечіткого прогностичного оцінювання ефективності взаємодії в системі «викладач — комп'ютер — студент». Запропонований метод вимагає значних інтелектуальних витрат з боку викладача, тому перспективним напрямком подальших досліджень має стати програма реалізація методу.



### Список використаних джерел:

1. Веселовська Г. В. Моделі діалогових систем навчання на основі теорії нечітких множин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец.: 05.13.06 / Г. В. Веселовська. — Херсон, 1997. — 18 с.
2. Якусевич Ю. Г. Моделювання прогресивних комп'ютерних технологій самостійного навчання: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец.: 05.13.06 / Ю. Г. Якусевич. — Херсон, 1999. — 17 с.
3. Зянчуріна І. М. Моделі та методи комп'ютерного навчання з урахуванням індивідуальних здібностей користувачів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец.: 05.13.06 / І. М. Зянчуріна. — Харків, 2005. — 18 с.
4. Ящун Т. В. Оцінка якості навчально-пізнавальної діяльності в системі "студент — комп'ютер" : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.01.04 / Т. В. Ящун. — Х., 2000. — 20 с.
5. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. — 302 с.
6. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечеткими базами знаний / Ю. И. Митюшкин, Б. И. Мокин, А. П. Ротштейн. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2002. — 146 с.
7. Резіна О. В. Психолого-дидактичні особливості формування інформаційно-пошукових умінь / О. В. Резіна // Рідна школа. — 2004. — № 1. — С. 9–11.
8. Радванська Л. М. Моделі, методи та засоби підвищення ефективності інтерфейсу «користувач — ЕОМ» в системах організаційного управління : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Л. М. Радванська. — Херсон, 1999. — 15 с.
9. Чернишов Д. О. Педагогічні умови формування інженерного стилю мислення учнів технічного ліцею засобами інформатики : автореф. ... дис. канд. пед. наук : 13.00.01 / Д. О. Чернишов. — Луганськ, 2002. — 20 с.
10. Кременчуцька М. К. Психологічний аналіз мисленневих процесів комп'ютерних користувачів : автореф. дис. ... канд. псих. наук : 19.00.01 / М. К. Кременчуцька. — Одеса, 2005. — 18 с.
11. Балан О. Л. Дидактична взаємодія викладачів і студентів як фактор оптимізації процесу навчання : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.01 / О. Л. Балан. — Одеса, 1994. — 24 с.
12. Голівер Н. О. Дидактичні умови використання комп'ютерних технологій у процесі навчання студентів вищих технічних навчальних закладів : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.09 / Н. О. Голівер. — Луцьк, 2005. — 20 с.

In the article the stages of design of co-operation are resulted in the system «teacher — computer — student» for realization of computerized research studies on the basis of unclear logical conclusion. General principles of construction of model of prognostication of efficiency of cooperation are considered in the system.

**Key words:** *efficiency of cooperation, system «teacher — computer — student», computerized studies, unclear logical conclusion.*

Отримано: 07.02.2012