

УДК 658.336:007:681.3.06

3 973.233-018 + Ч 312.15

<sup>1</sup>В.П. Бабак, чл.-кор. НАН України<sup>2</sup>В.П. Шибицький, канд. техн. наук<sup>3</sup>А.І. Ісак**ДІАГНОСТИКА ЗНАНЬ В ЕРГАТИЧНИХ СИСТЕМАХ НАВЧАННЯ**<sup>1,3</sup> Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: bvp@nau.edu.ua; isakandrey@mail.ru<sup>2</sup> Інститут інформатики НАУ, e-mail: shibitskiy@csf.nau.edu.ua

*Розглянуто методіку аналізу інформаційних процесів з погляду діагностики знань оператора в ергатичній системі навчання й оцінювання вмінь оператора за допомогою еталонного підходу. Запропоновано алгоритм діагностики знань на підставі стек-спискової моделі формування дерева міркувань та аналізу структури знань.*

**Вступ**

Стандарти і рекомендована практика ICAO щодо забезпечення безпеки польотів (SARPs) та підвищення вимог щодо психолого-педагогічної підготовки викладачів вищої школи дозволяють виділити основні напрями вдосконалення професійної підготовки операторів [1; 2]:

- удосконалення засобів і методів подання інформації;
- розробка і впровадження різних програмно-технічних засобів навчання операторів;
- вдосконалення засобів і методів контролю знань;
- впровадження засобів реєстрації і накопичення результатів навчання.

**Аналіз досліджень і публікацій**

Традиційні методи навчання формувалися десятиріччями. Але результати наукових досліджень (Р. Готтсданкер, К. Інгенкамп, Ж. Піаже) свідчать про те, що існуючі методи і засоби організації процесу навчання недостатньо відповідають сучасним вимогам щодо ефективності і надійності підготовки операторів ергатичних систем [2]. Найбільш характерним недоліком традиційного процесу навчання є пасивний характер усного викладення знань, що не дозволяє здійснювати зворотний зв'язок від особи, яка навчається, до викладача з можливістю подальшого контролю та інваріантності оцінки якості засвоєння декларованих знань. У зв'язку з цим актуальною науковою задачею є розробка нових методів аналізу і синтезу систем керування процесом навчання в ергатичній системі так, щоб за максимально короткий термін навчити оператора заданій сумі знань, умінь і навиків, необхідних для виконання професійної діяльності.

**Постановка завдання**

На сьогодні немає еталонів оцінювання інформаційних процесів навчання, тому актуальним є структурування наукового змісту навчання до елементарних змістовних одиниць і формування бази знань [3; 4].

Технічними засобами вирішення цієї задачі є потужні комп'ютерні системи обробки даних у формі інформаційних об'єктів, які вміщують змістовні одиниці знань та методи їх обробки.

Задача формування змістовних одиниць і системи дидактичних знань у формі інформаційних об'єктів за темою дисципліни вирішується викладачем.

Одиниця знань має такі характеристики:

- інформаційну повноту та логічну завершеність;
- інформаційну зв'язність з будь-якою іншою одиницею знань – бінарне відношення змістовних одиниць;
- кожна змістовна одиниця формується в єдиному логіко-семантичному базисі.

**Методика структурування наукового змісту навчання**

Відносно системи змістовних одиниць знань, яка відповідає принципу інформаційної повноти та логічної завершеності, розробляють тестові завдання.

Кожне питання тестового завдання належить до таких типів [3].

Концептуально-семантичні питання описують об'єкт  $S$  з оператором відношення  $\sigma$  "один до одного" на множині  $Z$  змістовних одиниць  $z_i \in Z$  знань, що можна записати як

$$S < \sigma > z_i \in Z.$$

Фактологічні питання визначають існування явища або ситуації, які позначимо  $S_1$ , а факт їх існування з об'єктом  $S$  у момент часу  $t$ , визначає оператор  $\psi$ . Отже, можна записати

$$S(t) < \psi > S_1(t), \dots, S_n(t).$$

Функціональні (цільові або причинні) питання "для чого – навіщо – чому" дозволяють виявити характерні зміни об'єкта  $S$  в ланцюжку причинно-наслідкових зв'язків:

$$\rightarrow S_1(t-2) \rightarrow S_1(t-1) \rightarrow \rightarrow S_1(t) \rightarrow S(t+1) \rightarrow \dots$$

Структурні питання “із чого” (або з яких частин складається) спрямовують сприйняття на аналіз зовнішнього вигляду об’єкта  $S$ , його структури і складових частин  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , що за допомогою оператора  $\chi$  утворюють ціле:

$$S \langle \chi \rangle S_1, S_2, \dots, S_n.$$

Проблемно-операційні завдання  $S$  з метою розв’язання поставленої задачі припускають використання змістовних одиниць  $z^* \in Z^*$  знань поза межами розглядуваної множини  $Z$  знань  $z_i \in Z$ , що формально відображується

$$S \langle \psi \rangle z_i \in Z, z^* \in Z^*.$$

Уявимо структуру процесу діагностики стану оператора ергатичної системи у вигляді ієрархії еталонних індикаторів (рис. 1).

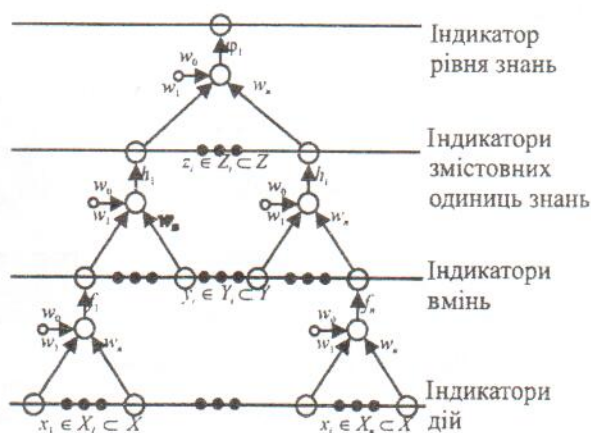


Рис. 1. Структура контролю і діагностики процесу навчання

Значення індикаторів обробляються спеціальним пристроєм – нейроконтролером на основі моделі нейрона з ваговими коефіцієнтами  $w_i \in W$  і вхідними сигналами  $x_i \in X$ :

$$y_i = \text{expert} \left( \sum_{i=1}^n w_i x_i + w_0 \right),$$

де  $\text{expert}$  – активаційна функція нейрона;  $w_i$  – ваговий коефіцієнт;  $x_i$  – вхідна змінна.

Активаційна функція нейрона задається експертно залежно від рівня обробки сигналів в ієрархічній структурі (рис. 1).

Кожна підмножина індикаторів  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $z_i \in Z$  утворить клас із заданими критеріями еквівалентності елементів на різноманітних рівнях ієрархії.

Елементи класу-нащадка мають відношення з елементами класу-предка. При цьому можна виділити такі типи відношень.

Тип відношення “просте спадкування” оцінюється по парах із класів предків і нащадків.

Зокрема, даний тип відношень визначає сукупність понять, що входять у задану тему, або визначає множину  $z_i \in Z$  дидактичних знань, необхідних для формування вміння  $y_i \in Y$ .

У типі “множинного спадкування” виділяється підмножина класів-предків і клас-нащадок.

Для оцінювання відношення типу “використання” в класі-предку виділяється використовувана частина.

Оцінювання відношення “наповнення” припускає визначення структурного відношення на елементах множини класу-предка й індукування цього відношення на елемент класу-нащадка.

У теорії комп’ютерних систем навчання основне призначення тестових еталонів оцінювання знань полягає в тому, що інформація визначеного типу, яка утримується в тестах, служить для оцінки аналогічної інформації в об’єктах навчання [2-4].

Необхідною умовою вирішення задачі навчання в комп’ютерній системі навчання є оцінювання інформаційних процесів на основі:

- бази дидактичних знань, структурованих до змістовних еталонних одиниць;
- системи тестових питань, яка має бінарне відношення до системи змістовних одиниць.

Для організації процесу навчання в комп’ютерній системі нами пропонується принцип тест-сигналів. Він полягає в наступному.

Комп’ютерна система множини  $Z$  змістовних одиниць знань  $z_i \in Z$  структурує і формує відповідні класи  $Z_i \subset Z$ .

Кожен клас  $Z_i$  має деревоподібну структуру і відповідає принципу інформаційної зв’язності змістовних одиниць  $z_i \in Z_i \subset Z$ . Відносно кожного класу  $Z_i \subset Z$  експерт формує множину тестових питань:

$$Z \supset Z_i \langle R \rangle Y_i \subset Y.$$

Для класу  $Z_i \subset Z$  змістовних одиниць знань і множини  $Y_i \subset Y$  тестових питань встановлюється відношення  $R$ . У самому простому випадку це відношення взаємно однозначної відповідності. Під час формування системи для елементів тестів уводимо відношення переваги і виділяємо еталонні елементи.

Розглянемо методику побудови еталонних структур  $S_i \subset S$  на базі елементів  $z_i \in Z$  множини  $Z$  дидактичних знань.

Ієрархічна деревоподібна структура (рис. 2) елементів знань побудована на основі відношення спадкування, в якому фіксується спрямована зв’язність елементів знань та вмій.

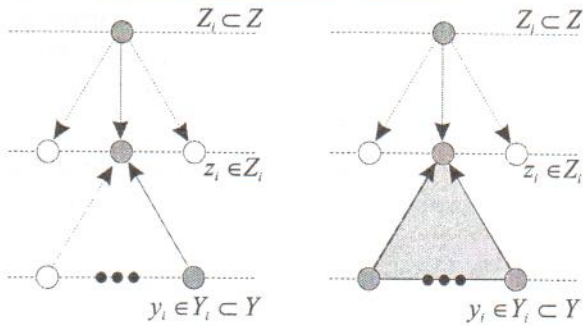


Рис. 2. Ієрархічна структура відношень

Застосування таких структур, як системи еталонів, що реалізують відношення  $S$ , дозволяє обчислити деяку перевагу для елементів  $z_i \in Z$  знань системи стосовно вмінь  $y_i \in Y$  того, кого навчають, із метою побудови оверлейної моделі того, кого навчають.

Для формування відношення індивідуальної переваги елементів знань тих, кого навчають, на множині знань системи при використанні чітких відношень застосовують такі відомі схеми експертного оцінювання:

- одночасне порівняння всіх об'єктів;
- одночасне порівняння тільки двох об'єктів (парне порівняння).

У процесі оцінювання вмінь  $y_i \in Y$  того, кого навчають, з еталонними знаннями  $z_i \in Z$  системи в ідеальному випадку експертна система повинна робити порівняння пар об'єктів  $(z_i, y_i)$  із метою визначення бінарного відношення.

Функціонування такого засобу експертного оцінювання визначається трьома відношеннями:

- задалегідь заданим відношенням  $S$  на множині еталонних елементів  $z_i \in Z$  системи знань;
- шуканим відношенням  $R$  на множині оцінюваних елементів  $y_i \in Y$  умінь тих, кого навчають;
- відношенням  $F$  між множинами  $Z$  і  $Y$ .

Отже, відношення  $S$  фіксує стан системи з еталонних елементів знань, а шукане відношення  $R$  повинно характеризувати стан системи вмінь того, кого навчають.

Розглянутий підхід експертного оцінювання вмінь  $y_i \in Y$  того, кого навчають, порівняно з еталонною системою знань  $Z$  має характерну рису [4].

**Твердження.** Комп'ютерна система знань буде мати еталонну структуру  $S$  у тому випадку, коли для будь-якого елемента  $z_i$  множини  $Z$  існує відношення з елементом  $z_j$  і ці елементи утворюють пару  $(z_i, z_j)$ , що можна уявити у вигляді графа або матриці. Булева операція об'єднання

$$\bigcup_{k=1}^N (z_i, z_j)_k = Z$$

таких пар дає повну множину елементів  $z_i \in Z$  знань і характеризує їхню повноту. При цьому кількість  $N$  пар  $(z_i, z_j)$  на одиницю менше значення  $M = |Z|$ , а множина елементів  $\{z_i, z_j\}$  які утворюють еталонну структуру  $S$ , відповідає критерію інформаційної зв'язності.

Це твердження формально відображає на множині  $Z$  деревоподібну структуру  $S$  з елементами  $\{z_i, z_j\} \in S$ .

Визначимо нечітке бінарне відношення  $R$  [3] як нечітку сукупність упорядкованих пар  $(z, y)$  елементів знань того, кого навчають, і знань системи, що характеризуються функцією приналежності  $\mu_R(z, y)$ , яка кожній парі  $(z, y)$  ставить у відповідність ступінь приналежності відношенню  $R$  (рис. 3)

$$R = F \circ S \circ F^{-1}$$

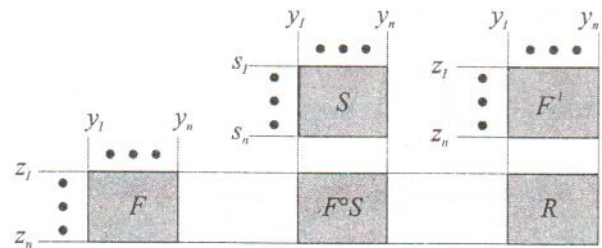


Рис. 3. Формування відношення  $R$

Під час експертного оцінювання знань того, кого навчають, необхідно визначити функцію  $\mu_R(z, y)$  приналежності відношенню  $R$  знань системи на множині вмінь  $Y$  того, кого навчають [3; 4].

**Еталонний підхід до формування відношення переваги знань оператора щодо знань системи**

Розглянемо методику (рис. 3) оцінювання відношення переваги тестових питань до знань системи.

Нехай задано дві множини  $Z$  і  $Y$  із нечіткими відношеннями  $S$  і  $R$  на них відповідно, а також нечітке відношення  $F$  між  $Z$  і  $Y$ .

Відношення  $F$  є бінарним відношенням множини тестових завдань до еталонних знань системи. Це відношення оцінюється ступенем приналежності  $\mu_R(z, y)$ . Далі обчислюється композиція  $F \circ S$  на основі відношень  $F$  і  $S$  за формулою:

$$\begin{aligned} \mu_{F \circ S}(y, z) &= V \mu_F(z, y) \wedge \mu_S(z, z) = \\ &= \max[\min(\mu_F(z, y), \mu_S(z, z))], \end{aligned}$$

де  $z \in Z, y \in Y$ .

Результуюче відношення  $R$  на множині тестових завдань визначає відношення переваги й обчислюється за формулою

$$\mu_R(y, u) = V\mu_{FoS}(y, z) \wedge \mu_{F-1}(z, u) = \max[\min(\mu_{FoS}(y, z), \mu_{F-1}(z, u))]$$

де  $y, u \in Z$ .

На відміну від роботи [4] на експертні оцінки елементів множини декартового добутку  $Z \times Y$  накладається обмеження, пов'язані з умовами надійності тесту, та після закінчення експертизи кожний  $i$ -й вимір множини  $Z \times Y$  нормується максимальним значенням  $f(y_i, z_i), z_i \in Z$ .

Експерту пропонується спочатку вибрати для кожного  $y_i$  максимально близький до нього еталон  $z_i$  і оцінити їхню подібність  $f(z_i, y)$  одиницею, а інші оцінки  $f(y_i, z), z \in Z, l \neq j, i = \text{const}$ , призначати, виходячи з максимально подібної пари.

Такий підхід до організації процесу навчання забезпечує формування знань того, кого навчають, у формі деревоподібної структури, визначеної на множині елементів знань [3; 4], яка відповідає дидактичним принципам і необхідна для вирішення поставленої задачі.

**Алгоритм генерації змістовних одиниць знань**

Розглянемо роботу алгоритму генерації змістовних одиниць знань на прикладі заданої бази знань. Множину алгоритмічних структур та їх відношення можна уявити у формі графа (рис. 4, а).

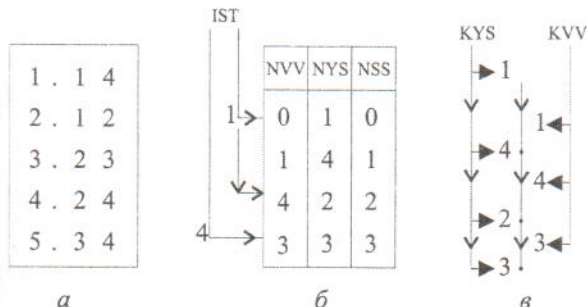


Рис. 4. Процес формування стек-списку: а – вхідна модель даних; б – стек-список; с – значення змінних

Для організації алгоритмічних процесів декларування дидактичних знань використовуємо математичну модель перерахування інформаційних об'єктів (вузлів) та відношень між ними (гілок) у формі дерева міркувань (рис. 5).

- Дерево міркувань має такі властивості:
- неперервність процесу та зв'язність об'єктів;
  - процес перерахування відношень об'єктів виконується на всій множині об'єктів.

Алгоритм декларування знань базується на дереві міркувань із застосуванням стек-спискової моделі та використовує такі процедури.

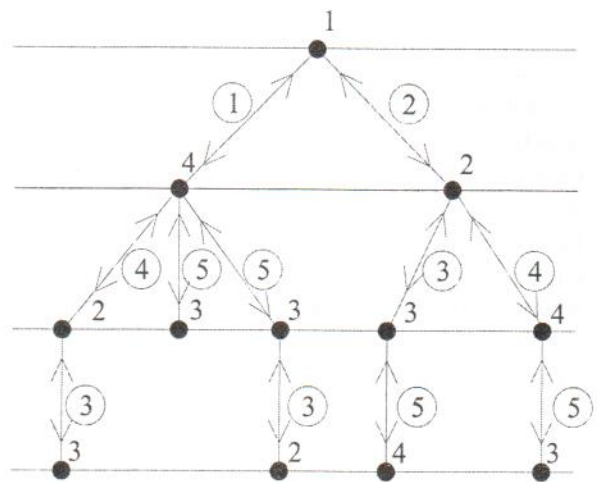


Рис. 5. Дерево міркувань

Процедура SPISOK формує за показником IST=1 перший елемент стек-списку з початковим елементом знань (KYS=1) та потоковою гілкою з початковим значенням KVV=0, що характеризує відношення між елементами знань. При цьому встановлюються початкові значення посилань (KSS=0) для обмеження зворотного ходу при рухові по дереві міркувань. Далі виконується звернення до процедури PUTCH для пошуку наступного інформаційного об'єкта (IVV+1).

Процедура PUTCH набуває значення TRUE, якщо в результаті алгоритмічних дій для вузла з ідентифікатором IYS знайдено відношення для елементів знань (KVV). При цьому звертаємося до процедури SPISOK і заповнюємо новий елемент стек-списку. Циклічний процес формування стек-списку припиняється за умови PUTCH=FALSE. У цьому процесі змінні KYS, KVV набували значення, що відповідають прямому ходу алгоритму (рис. 6).

Після виконання умови PUTCH=FALSE перевіряється умова досягнення IST максимального значення NX (кількість інформаційних об'єктів) і у випадку її правдивості відображаємо на екрані монітора наступний елемент знань. Після чого показник стеку IST (кількість вивчених елементів знань) зменшується на одиницю.

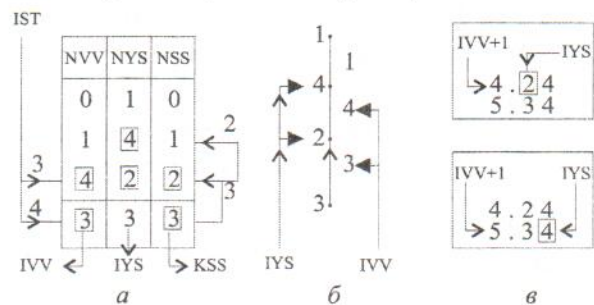


Рис. 6. Стек-спискова модель: а – модель прямого ходу; б – значення змінних; в – визначення значень змінних

Для генерації наступної послідовності інформаційних об'єктів необхідно на місці останнього елемента стека (IST=4) сформувати новий. Для цього в алгоритм введений зворотний хід руху по стек-списку з показником KSS. Цей показник для запам'ятовування прямого ходу є посиланням на номер елемента стека структури STEC(KSS) з елементом NYS, з якого у вхідному наборі даних процедурою PUTCH визначається новий елемент знань (KYS) і записується в стек STEC(IST).NYS за показником IST у полі NSS стек-списку STEC(IST).NYS. За посиланням KSS виявляється відношення між елементами  $IVV=STEC(KSS).NVV$  і нове посилання  $KSS=STEC(KSS).NSS$ . На рис. 7 показано схему алгоритмічних дій при зворотному ході.

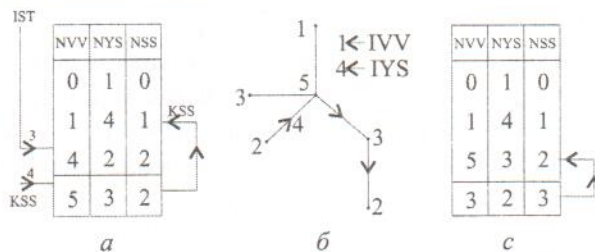


Рис. 7. Стек-спискова модель зворотного ходу:  
а – зворотний хід; б – значення змінних;  
с – посилання на елемент стеку

За посиланням KSS виявляється новий елемент IYS і викликається підпрограма PUTCH для пошуку нового відношення. Пошук починається у вхідному наборі даних із номера гілки на одиницю більше потокового значення IVV. Номер цього відношення заноситься до стека підпрограмою SPISOK, і відображується новий елемент знань. Після чого показник стеку IST зменшується на одиницю і виконуються операції за формуванням нового інформаційного об'єкта.

Процес формування нового елемента стека починається з пошуку елемента IYS за посиланням KSS і виявлення нового відношення процедурою PUTCH. Під час виконання умови  $KSS=0$  посиланням KSS присвоюється нове значення показника IST, яке далі зменшується на одиницю і виконується переформування стека (рис. 7).

### Висновки

Розглянуто питання формалізації процесу навчання в ергатичній системі. Розроблено методику структурування наукового змісту навчання та діагностики знань оператора як єдиної системи з заданими відношеннями. Запропоновано алгоритм генерації елементів знань на підставі дерева міркувань і стек-спискової моделі. Алгоритм дозволяє формувати систему змістовних одиниць знань із заданими відношеннями "один до одного", що визначає шлях пошуку об'єктів, або "один до багатьох", що визначає дерево пошуку.

### Список літератури

1. Бабак В.П., Лузік Е.В. Психолого-педагогічна підготовка викладача вищої технічної школи: проблеми та перспективи розвитку // Вісн. НАУ. – 2002. – № 3. – С. 5–14.
2. Немов Р.С. Психология: Учеб. для студентов высш. пед. учеб. Заведений. – М.: Просвещение; ВЛАДОС, 1995. – 512с
3. Шибицкий В.П. Структурный метод анализа информационных систем обучения с нечетко заданной целевой функцией // Вісн. КМУЦА. – 2000. – № 1–2. – С. 102–109.
4. Шибицька Н.М. Еталонний підхід експертного оцінювання дидактичних знань // Вісн. НАУ. – 2002. – № 3. – С. 166–170.

Стаття надійшла до редакції 23.12.03.

В.П. Бабак, В.П. Шибицкий, А.И. Исак

Диагностика знаний в эргатических системах обучения

Рассмотрена методика анализа информационных процессов с точки зрения диагностики знаний оператора в эргатической системе обучения и оценивания умений оператора с помощью эталонного подхода. Предложен алгоритм диагностики знаний на основании стек-списковой модели формирования дерева рассуждений и анализа структуры знаний.

V.P. Babak, V.P. Shybytsky, A.I. Isak

Knowledge diagnostics in ergotic training system

An information process analysis methodology from the point of view of diagnosing an operator's knowledge with the use of the etalon method approach is considered. A knowledge diagnostics algorithm is suggested which is based on a stack-list model of reasoning tree construction as well as on knowledge structure analysis.