

УДК 519.8+004.81

В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверін, О.В. Воробйов, І.А. Нос

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЧІТКОЇ ПІДМНОЖИНИ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЗМІСТОВНІСТЬ ВЛАСНОЇ ПОВЕДІНКИ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ

Сучасне бачення сутності когнітивного моделювання функціонування складної системи – це спосіб виявлення закономірностей попереджування та запобігання негативних тенденцій розвитку особистої цілеспрямованої поведінки складної системи, процес функціонування якої протікає в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі. Пропонується метод визначення чіткої підмножини факторів впливу на власну поведінку розвитку процесу функціонування складної системи на основі його когнітивного моделювання по рівню функції приналежності нечіткої підмножини факторів, які введені особою, що приймає рішення (ОПР), для опису її функціонування.

**Ключові слова:** когнітивне моделювання, нечітка підмножина, функція приналежності, фактори впливу.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Суб'єктивний погляд на сутність складної системи, процес її функціонування в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі ОПР подається переліком достатньо значного обсягу факторів, які мають політичну, економічну, соціальну, етнічну, суб'єктивну та інші спрямованості. Така складна система володіє властивістю формувати власну поведінку розвитку її процесу функціонування за часом. Виявлення закономірностей попередження та запобігання негативних тенденцій розвитку власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи можливе шляхом впливу на чітку підмножину впливових факторів. Чітка підмножина впливових факторів може бути сформована при визначенні рівнів значущості факторів по заданому рівню функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги множини факторів, які введені ОПР для опису функціонування складної системи. Відзначене дозволяє визначити проблему: формування підмножини факторів впливу на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи на основі рівнів їх значущостей.

Аналіз літератури. В [2] викладені методологічні основи засад розуміння нечіткого нестохастично невизначеного середовища та дослідження процесу функціонування складних систем. В [1] подані означення відношення, нечіткого відношення та їх властивості. Подання в [1] сутності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги та відповідної їй функції приналежності є підставами щодо тлумачення означення значущостей факторів та визначення їх рівнів. Виходячи з того, що складна система володіє властивістю формуван-

ня власної поведінки розвитку її процесу функціонування за часом, в [3] пропонується метод визначення напрямів сприяння формуванню цілеспрямованої власної поведінки розвитку складної системи. В [4] пропонуються методологічні основи опису процесу функціонування складної системи, які передбачають множини факторів, які ОПР вводить до розгляду при описі складної системи та її процесу функціонування, подавати ієрархічною декомпозицією їх структури. Такий погляд, що викладено в [5], дозволяє запропонувати методику визначення значущості факторів, які можуть складати будь-який великий обсяг, з урахуванням їх взаємовпливовості.

**Мета статті** полягає в поданні методу визначення підмножини факторів впливу на змістовність поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом, який ґрунтується на функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів, які можуть складати множини будь-якого обсягу.

### Основна частина

Вирішення поставленого завдання. Досягнення визначеної мети, що і забезпечує вирішення проблеми формування підмножини факторів впливу на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування системи як чіткої підмножини носіїв  $\alpha$ -рівню функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини  $D = \{d_i\}$ ,  $i = \overline{1, m}$ , будь-якого значного обсягу, які ОПР ввела до розгляду при когнітивному моделюванні процесу функціонування  $\overline{D}_r$  складної системи. Когнітивне моделювання передбачає побудову когнітивної карти та визначення когнітивної моделі процесу функціонування складної системи.

За прийнятим розумінням, що відзначено в [2 – 5], когнітивна карта подається у вигляді функціонального графа, в якому вершини відповідають факторам та визначені зв'язки між ними. При побудові когнітивної карти ОПР враховує свою цілеспрямовану зацікавленість щодо розгляду функціонування складної системи. При формуванні множини факторів ОПР вводять до розгляду фактори політичної, економічної, соціальної, етнічної, суб'єктивної та інших спрямованостей. Введені до розгляду фактори можуть характеризуватись багатоспрямованістю та взаємовпливовістю. Середовище, яке формують фактори множини  $D$  та в якому ОПР розглядає процес функціонування складної системи є нечітке нестохастично невизначене. Якщо вводити до розгляду підмножини, які взаємно не перетинаються та

$$D = \bigcup_{r=1}^R \bar{D}_r, \bar{D}_r \cap \bar{D}_{r+i} = \emptyset, i = \overline{1, R}, i \neq r, \text{ де } \emptyset - \text{пуста}$$

множина, то значення взаємовпливів підмножин не співпадає із сумою(чи добутком) значень впливів складових факторів для  $\bar{D}_r$ . Фактори, які складають  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  є мінливими за часом, тому когнітивна карта може відповідати деякому стану функціонування складної системи при  $t = \tau$ . Може бути ОПР прийнято принцип: когнітивна карта за часом є сталою. Але так як фактори слід розглядати мінливими за часом, то значення взаємовпливів факторів також слід вважати мінливими, що і необхідно враховувати при формуванні когнітивної моделі.

У відповідності до [1] бінарним відношенням  $R$  на множенні елементів (факторів)  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  називається підмножина упорядкованих пар  $(d', d'')$  прямого декартова добутку  $D \times D$  усіх таких пар. Нечітким бінарним відношенням  $\tilde{R}$  на звичайній множині  $D$  називається нечітка підмножина прямого декартова добутку  $D \times D$ , яка характеризується функцією приналежності  $\mu_{\tilde{R}} : D \times D \rightarrow [0, 1]$ . Значення  $\mu_{\tilde{R}}(d, d')$  цієї функції приймається як суб'єктивна міра відношення  $(d, d') \in \tilde{R}$ . Елементи  $d^m \in D$  називається недомінованим по відношенню строгої переваги, якщо у решті елементів  $D$  не існує жодного елемента  $d \in D$ , який мав би мати строгу перевагу над  $d^m$ . Підмножина  $\{d^m\}$  складає ядро відношення строгої переваги на множині  $D$ , тобто:

$$\dot{I}_{\tilde{R} >} = \{d^m \mid \exists d \in D : d > d^m, \forall d, d^m \in D\}. \quad (1)$$

Означення сутності ядра відношення строгої переваги елементів (факторів) множини  $D$  є підставою того, що значення рівня недомінованості фактора  $d_i \in D$  переконливо можна вважати значенням рівня його значущості.

Вище відзначено, що значна більшість факторів  $d_i \in D$  є багатоспрямованими, що приводить до розуміння, що фактори слід вважати взаємовпливовими. Це означає, що суб'єктивне судження експерта щодо значення

$\mu_{\tilde{R}}(d, d')$  будь-якої пари факторів  $(d, d')$  повинно враховувати впливовість решти факторів, які складають деяку підмножину  $D_r \in D$ . Множина факторів  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  ОПР вводиться до розгляду з метою опису цілеспрямованого функціонування складної системи  $D$ . Висловлювання суб'єктивних суджень відносно значення  $\mu_{\tilde{R}}(d, d')$  для пар  $(d, d') \in D_r$  вважаються погодженими, якщо вони відповідають вимозі транзитивності. Нечітке відношення  $\tilde{R}$  строгої ( $>$ ) чи нестрогої ( $\geq$ ) переваги на множенні  $D$  називається транзитивним, якщо для будь-яких трьох пар із будь-яких елементів  $d, d', d'' \in D$  виконується умова

$$\mu_{\tilde{R}}(d, d'') \geq \max_d \min \{\mu_{\tilde{R}}(d, d'), \mu_{\tilde{R}}(d', d'')\}.$$

Властивість транзитивності порушується, якщо експерт, при висловлюванні судження відносно значення  $\mu_{\tilde{R}}(d, d')$  для пар  $(d, d') \in D_r$ , буде по різним цільовим признакам враховувати вплив кожного фактора, які складають решту для пари  $(d, d')$ . Цільовий признак фактора експертом формується по наявності його впливу на цілеспрямованість функціонування складної системи  $D$ .

Тоді може бути прийнято наступний принцип: при формуванні функції приналежності нечіткого бінарного відношення нестрогої переваги погодженість суб'єктивних суджень експерта, що відповідає забезпеченню властивості транзитивності, може бути забезпечено формуванням підмножин  $D_r$  незначного обсягу, до 7... 9 елементів.

Прийняття такого принципу обґрунтовано, а необхідна організація експертизи ОПР може бути забезпечена при побудові нею когнітивної карти.

Множину факторів  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$ , яку ОПР ввела до розгляду, з урахуванням їх природних спрямованостей та необхідності виконання висловленого принципу, при побудові когнітивної карти доцільно подати як ієрархічну декомпозицію структури факторів. Під структурою факторів розуміється групування факторів у підгрупи (підмножини по 7... 9 елементів), які в свою чергу також групуються у підгрупи (підмножини по 7... 9 підмножин) більш високого рівня. Останні групуються у групи (множини), об'єднання яких відповідає  $D$ .

Визначення чіткої підмножини впливових факторів на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи за часом

як чіткої підмножини носіїв  $\alpha$ -рівня функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини  $D = \{d_i\}$ ,  $i = \overline{1, m}$  потребує прийняття наступного алгоритму реалізації метода формування нечіткої підмножини зазначеного вище ядра, яка має вигляд:

$$\tilde{M} = \bigcup_{i=1}^m \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_i}}(d_i) / d_i \right\}. \quad (2)$$

Формування нечіткої підмножини  $\tilde{M}$  складає зміст одного із завершальних кроків побудови когнітивної моделі. Змістовність кожного етапу алгоритму реалізації метода розглянемо на прикладі когнітивного моделювання навчального рейтингу вищого навчального закладу (ВНЗ) з точки зору абітурієнта. Значний обсяг факторів (43 фактора) та їх природні спрямованості дають підстави вважати, що ВНЗ є складна система  $P$ , цілеспрямоване функціонування якої протікає в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі.

На першому етапі алгоритму реалізації метода складається когнітивна карта як ієрархічна декомпозиція структури факторів, яка має наступний зміст:

$$P = \bigcup_{i=1}^4 P_i = \{P_{11} \cap P_{12} \cap P_{13}\} \cup \{P_{21} \cup P_{22}\} \cup \{P_{31} \cup P_{32}\} \cup \{P_{41} \cup P_{42}\}, \quad (3)$$

де  $P$  – множина факторів, яка визначена ОПР для опису процесу функціонування ВНЗ;

$P_1$  – підмножина факторів, які описують прогноз розвитку складної системи  $P$ ;

$P_{11} = \{P_{11k} \cap q_{11k}\}$ ,  $k = \overline{1, 4}$  – підмножина факторів, які описують зовнішні для  $P$  умови прогнозу розвитку  $P$ ;

$P_{12} = \{r_{12k}\}$ ,  $k = \overline{1, 4}$  – підмножина факторів, які описують прогноз економічних умов розвитку  $P$ ;

$P_{13} = \{I_{12k}\}$ ,  $k = \overline{1, 7}$  – підмножина факторів, які описують внутрішні для  $P$  структурно організаційні умови;

$P_2$  – множина факторів, які описують зацікавленість абітурієнта як майбутнього фахівця;

$P_{21} = \{t_{21k}\}$ ,  $k = \overline{1, 4}$  – підмножина факторів, які описують науковий та педагогічний потенціал  $P$ , багатопрофільність та акредитаційний рівень ВНЗ;

$P_{22} = \{U_{22k}\}$ ,  $k = \overline{1, 5}$  – підмножина факторів, які описують можливість підготовки фахівців високого рівня;

$P_3$  – множина факторів, які описують зацікавленість абітурієнтів проводити навчання в даному ВНЗ;

$P_{31} = \{g_{31k}\}$ ,  $k = \overline{1, 6}$  – підмножина факторів, які описують привабливість міста, в якому розташований ВНЗ;

$P_{32} = \{\omega_{32k}\}$ ,  $k = \overline{1, 4}$  – підмножина факторів, які описують політичний, економічний, науковий, соціальний статус міста, в якому розташований ВНЗ;

$P_4$  – множина факторів, які описують організаційні та побутові умови навчання в ВНЗ;

$P_{41} = \{\tau_{41k}\}$ ,  $k = \overline{1, 3}$  – підмножина факторів, які описують організаційні (контрактні) умови навчання в ВНЗ;

$P_{42} = \{\phi_{42k}\}$ ,  $k = \overline{1, 3}$  – підмножина факторів, які описують побутові умови навчання (стан навчального та жилого фонду ВНЗ).

На другому етапі реалізації алгоритму у відповідності до ієрархічної декомпозиції структури факторів (3), яка має зміст когнітивної карти, визначаються нечіткі підмножини ядер нечітких бінарних відношень строгої переваги виду:

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{\tilde{R}_D} &= \bigcup_{k=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{p_{11k}}}} \succ (p_{11k}) / p_{11k} \right\}, \bar{P} = \{p_{11k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_Q} &= \bigcup_{k=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{q_{11k}}}} \succ (q_{11k}) / q_{11k} \right\}, Q = \{q_{11k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_R} &= \bigcup_{k=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{r_{12k}}}} \succ (r_{12k}) / r_{12k} \right\}, R = \{r_{12k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_S} &= \bigcup_{k=1}^7 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{s_{13k}}}} \succ (s_{13k}) / s_{13k} \right\}, S = \{s_{13k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_T} &= \bigcup_{k=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{t_{21k}}}} \succ (t_{21k}) / t_{21k} \right\}, T = \{t_{21k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_U} &= \bigcup_{k=1}^5 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{u_{22k}}}} \succ (u_{22k}) / u_{22k} \right\}, U = \{u_{22k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_V} &= \bigcup_{k=1}^6 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{g_{31k}}}} \succ (g_{31k}) / g_{31k} \right\}, V = \{g_{31k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_W} &= \bigcup_{k=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{\omega_{32k}}}} \succ (\omega_{32k}) / \omega_{32k} \right\}, W = \{\omega_{32k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_T} &= \bigcup_{k=1}^3 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{\tau_{41k}}}} \succ (\tau_{41k}) / \tau_{41k} \right\}, \bar{T} = \{\tau_{41k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_\Phi} &= \bigcup_{k=1}^3 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{\phi_{42k}}}} \succ (\phi_{42k}) / \phi_{42k} \right\}, \Phi = \{\phi_{42k}\}; \\ \tilde{M}_{\tilde{R}_G} &= \bigcup_{j=1}^9 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{p_{ij}}}} \succ (P_{ij}) / P_{ij} \right\}, G = \{P_{ij}\}; i = \overline{1, 3}, \\ & i = \overline{2, 4}, j = \overline{1, 2}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\tilde{M}_{\tilde{R}_P} = \bigcup_{i=1}^4 \left\{ \mu_{M_{\tilde{R}_{P_i}}} \succ (P_i) / P_i \right\}, P = \bigcup_{i=1}^4 P_i.$$

При визначенні (4) ОПР організує експертизу за схемою: експерти незалежні, зворотний зв'язок відсутній. Кожний експерт свої суб'єктивні судження щодо нечіткого бінарного відношення факторів нестрокої переваги подає функцією приналежності для кожної із підмножин, зазначених в (4) з урахуванням впливу для будь-якої пари, наприклад пари

$(s_{13k}, s_{13k+1}) \in \{s_{13k}\}, k = \overline{1,7}$ , решти факторів відносно цієї пари, які належать цій підмножині, та без врахування факторів, які складають будь-які інші підмножини. Відзначене відповідає прийнятому раніше принципу при побудові когнітивної карти. При обробці експертних даних функція приналежності нечіткого бінарного відношення несупорядкованої переваги перетворюється в функцію приналежності нечіткого бінарного відношення строгої переваги за співвідношення, які приведені в [1, 3, 4]. Функція приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги, яке має вигляд (1), визначається за виразом

$$\mu_{M_{\tilde{R}}^>}(d) = 1 - \max_{d' \in D} \mu_{\tilde{R}}^>(d', d) \quad (5)$$

Результати обробки експертизи на другому етапі реалізації алгоритму подаються у вигляді нечітких підмножин нечітких ядер бінарних відношень строгої переваги факторів виду (2), факторів відповідних підмножин  $\tilde{P}, \tilde{Q}, \tilde{R}, \tilde{S}, \tilde{T}, \tilde{U}, \tilde{V}, \tilde{W}, \tilde{T}, \tilde{O}, \tilde{G}$ , які мають вигляд (4).

При побудові когнітивної карти, яка розглядається в [8], множина факторів  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  подавалась ієрархічною декомпозицією структури факторів, тобто множина  $D$  подавалась множиною  $P = \{P_i\}, i = \overline{1, 4}$ , а множини  $P_i$  подавались підмножиною  $G = \{P_{ij}\}, i = \overline{1, 3}; i = \overline{2, 4}, j = \overline{1, 2}$ , а останні – підмножинами  $\tilde{P}, \tilde{Q}, \tilde{R}, \tilde{S}, \tilde{T}, \tilde{U}, \tilde{V}, \tilde{W}, \tilde{T}, \tilde{O}$ . Для всіх цих множин та підмножин (4) подають нечіткі підмножини ядер нечітких бінарних відношень строгої переваги факторів чи підмножин факторів, які їх складають. Значення функцій приналежностей для (4) відповідають рівням значущостей факторів, які визначені для будь-якої пари приведених підмножин  $\tilde{P}, \tilde{Q}, \tilde{R}, \tilde{S}, \tilde{T}, \tilde{U}, \tilde{V}, \tilde{W}, \tilde{T}, \tilde{O}$  без впливу решти факторів, які належать іншим підмножинам по відношенню до підмножин, до яких належать пари факторів, які розглядаються. В [1] відзначено, що для нечітких бінарних відношень двох будь-яких підмножин  $A$  та  $B$ , таких що  $\tilde{A}, \tilde{A} \in D, A \cap B = \emptyset$ , тобто якщо  $\tilde{R}_C = \tilde{R}_A \cup \tilde{R}_B \in \text{об'єднання } A \cup B \in D$ , тоді

$$\mu_{\tilde{R}_C}(d, d') = \mu_{\tilde{R}_A \cup \tilde{R}_B} = \max\{\mu_{\tilde{R}_A}(d, d'), \mu_{\tilde{R}_B}(d, d')\}, \quad (6)$$

та, якщо  $\tilde{R}_F = \tilde{R}_A \cap \tilde{R}_B \in \text{переріз } A \cap B \in D$ , тоді

$$\mu_{\tilde{R}_F}(d, d') = \mu_{\tilde{R}_A \cap \tilde{R}_B} = \min\{\mu_{\tilde{R}_A}(d, d'), \mu_{\tilde{R}_B}(d, d')\}, \quad (7)$$

а також, якщо  $\tilde{R}' \in \text{нечітке доповнення відношення до } \tilde{R} \text{ на } D$ , тоді

$$\mu_{\tilde{R}'}(d, d') = 1 - \mu_{\tilde{R}}(d, d'). \quad (8)$$

Формування нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги  $\tilde{M}_{\tilde{R}_D}$  факторів множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  може бути виконано при наявності (4) у відповідності до ієрархічної декомпозиції структури факторів множини  $D$ , що відповідає когнітивній карті, за співвідношеннями (6)–(8).

Варто висловити таку примітку: нечітка підмножина  $\tilde{M}_{\tilde{R}_D}$  може бути сформована як об'єднання нечітких підмножин виду

$$\begin{aligned} \tilde{M}_{\tilde{R}_D} = & \tilde{M}_{\tilde{R}_P} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_Q} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_R} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_S} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_T} \cup \\ & \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_U} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_V} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_W} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_T} \cup \tilde{M}_{\tilde{R}_O}. \end{aligned} \quad (9)$$

Значення функції приналежності  $\tilde{M}_{\tilde{R}_D}$  відповідають рівням невідомостей  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ , які за прийнятим методичним підходом визначають рівні значущостей  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ . Отримані значення рівнів значущостей факторів  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ , за (9) не враховують вплив решти факторів  $d_j \in D, j = \overline{1, m}, j \neq i$ , та потребують корегування. Корегування значень рівнів значущостей  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ , доцільне тільки у відповідності до когнітивної карти, де зазначені зв'язки виду (6)–(8) між окремими факторами будь-якої підмножини із  $\tilde{P}, \tilde{Q}, \tilde{R}, \tilde{S}, \tilde{T}, \tilde{U}, \tilde{V}, \tilde{W}, \tilde{T}, \tilde{O}$  та між окремими факторами та їх підмножинами будь-якого ієрархічного рівня їх декомпозиції відповідають функціональному впливу на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи, має такий опис:

$$\mu_{M_{\tilde{R}_P \cap \tilde{R}_Q \cap \tilde{R}_G \cap \tilde{R}_P}^>}(p_i \cap g_i \cap P_{11} \cap P_1) = \min\left\{\min_i\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_P \cap \tilde{R}_Q}^>}(p_i \cap g_i), \mu_{M_{\tilde{R}_G}^>}(P_{11})\right\}, \mu_{M_{\tilde{R}_P}^>}(P_1)\right\}, i = \overline{1, 4}; \quad (10)$$

$$\mu_{M_{\tilde{R}_R \cap \tilde{R}_G \cap \tilde{R}_P}^>}(r_i \cap P_{12} \cap P_1) = \min\left\{\min_i\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_R}^>}(r_i), \mu_{M_{\tilde{R}_G}^>}(P_{12})\right\}, \mu_{M_{\tilde{R}_P}^>}(P_1)\right\}, i = \overline{1, 4}; \quad (11)$$

$$\mu_{M_{\tilde{R}_S \cap \tilde{R}_G \cap \tilde{R}_P}^>}(s_i \cap P_{13} \cap P_1) = \min\left\{\min_i\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_S}^>}(s_i), \mu_{M_{\tilde{R}_G}^>}(P_{13})\right\}, \mu_{M_{\tilde{R}_P}^>}(P_1)\right\}, i = \overline{1, 7}; \quad (12)$$

$$\mu_{M_{\tilde{R}_T \cap \tilde{R}_G \cap \tilde{R}_P}^>}(t_i \cup P_{21} \cup P_2) = \max\left\{\max_i\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_T}^>}(t_i), \mu_{M_{\tilde{R}_G}^>}(P_{21})\right\}, \mu_{M_{\tilde{R}_P}^>}(P_2)\right\}, i = \overline{1, 4}; \quad (13)$$

$$\mu_{M_{\tilde{R}_U \cap \tilde{R}_G \cap \tilde{R}_P}^>}(u_i \cap P_{22} \cup P_2) = \max\left\{\min_i\left\{\mu_{M_{\tilde{R}_U}^>}(u_i), \mu_{M_{\tilde{R}_G}^>}(P_{22})\right\}, \mu_{M_{\tilde{R}_P}^>}(P_2)\right\}, i = \overline{1, 5}; \quad (14)$$

$$\mu_{M_{\bar{R}_V \cup \bar{R}_G \cup \bar{R}_P}}(v_i \cup P_{31} \cup P_3) = \max \left\{ \max_i \left\{ \mu_{M_{\bar{R}_V}}(v_i), \mu_{M_{\bar{R}_G}}(P_{31}) \right\}, \mu_{M_{\bar{R}_P}}(P_3) \right\}, i = \overline{1,5}; \quad (15)$$

$$\mu_{M_{\bar{R}_W \cup \bar{R}_G \cup \bar{R}_P}}(w_i \cup P_{32} \cup P_3) = \max \left\{ \max_i \left\{ \mu_{M_{\bar{R}_W}}(w_i), \mu_{M_{\bar{R}_G}}(P_{32}) \right\}, \mu_{M_{\bar{R}_P}}(P_3) \right\}, i = \overline{1,4}; \quad (16)$$

$$\mu_{M_{\bar{R}_T \cup \bar{R}_G \cup \bar{R}_P}}(\tau_i \cup P_{41} \cup P_4) = \max \left\{ \max_i \left\{ \mu_{M_{\bar{R}_T}}(\tau_i), \mu_{M_{\bar{R}_G}}(P_{41}) \right\}, \mu_{M_{\bar{R}_P}}(P_4) \right\}, i = \overline{1,3}; \quad (17)$$

$$\mu_{M_{\bar{R}_\Phi \cup \bar{R}_G \cup \bar{R}_P}}(\phi_i \cup P_{42} \cup P_4) = \max \left\{ \max_i \left\{ \mu_{M_{\bar{R}_\Phi}}(\phi_i), \mu_{M_{\bar{P}}} (P_{42}), \mu_{M_{\bar{R}_P}}(P_4) \right\}, i = \overline{1,2}; \right. \quad (18)$$

$$\left. \mu_{M_{\bar{R}_\Phi \cap \bar{R}_G \cup \bar{R}_P}}(\phi_3 \cap P_{42} \cup P_4) = \max \left\{ \min \left\{ \mu_{M_{\bar{R}_\Phi}}(\phi_3), \mu_{M_{\bar{P}}} (P_{42}) \right\}, \mu_{M_{\bar{R}_P}}(P_4) \right\} \right.$$

За виразом вигляду (9), а саме

$$\tilde{M}_{\bar{R}_D}^{(k)} = \tilde{M}_{\bar{R}_P}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_Q}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_R}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_S}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_T}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_U}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_V}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_W}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_T}^{(k)} \cup \tilde{M}_{\bar{R}_\Phi}^{(k)}, \quad (19)$$

де символ (k) відповідає корегованим значенням функцій приналежностей відповідних нечітких підмножин ядер нечітких бінарних відношень строгої переваги факторів підмножин  $\bar{P}, \bar{Q}, \bar{R}, \bar{S}, \bar{T}, \bar{U}, \bar{V}, \bar{W}, \bar{T}, \bar{\Phi}$ , формується нечітка підмножина ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  з корегованим значенням її функції приналежності  $\tilde{M}_{\bar{R}_D}^{(k)}$ . Цим завершується третій етап алгоритму реалізації метода визначення чіткої підмножини факторів впливу.

Четвертий етап алгоритму включає визначення відносних значень значущостей факторів множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  за виразом виду

$$\gamma_i = \mu_{M_{\bar{R}_D}^{(k)}}(d_i) / \sum_{i=1}^m \mu_{M_{\bar{R}_D}^{(k)}}(d_i), i = \overline{1, m} \quad (20)$$

та подання когнітивної моделі процесу функціонування складної системи. На рис. 1 подана когнітивна модель навчального рейтингу ВНЗ, де на основі когнітивної карти як ієрархічної декомпозиції структури факторів множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  подані значення функції приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів множини D, їх підмножин  $P_{ij}, i = 1, j = \overline{1,3}; i = \overline{2,4}, j = 1; 2$ . які складають підмножину G на другому ієрархічному рівні, їх підмножин  $P_i, i = \overline{1,4}$ , які складають підмножину P на третьому ієрархічному рівні, откереговані значення значущостей факторів множини D, які визначені за (10)–(18); відзначені символами об'єднання ( $\cup$ ) та перерізу ( $\cap$ ) логічні подання впливу рівнів значущостей підмножин  $P_{ij}, i = 1, j = \overline{1,3}; i = \overline{2,4}, j = 1; 2$ . як елементів підмножини G, та рівнів значущостей підмножин  $P_i$  як елементів підмножини P на корегування рівнів значущостей факторів  $d_i \in D, i = \overline{1, m}$ ; символами ( $\bullet$ ) та

( $\bullet\bullet$ ) відзначені підмножини факторів, які, на думку ОПР, слід вважати впливовими факторами; приведені значення відносних значущостей факторів множини  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$ , які визначені за (20).

Наявність когнітивної моделі функціонування складної системи в нечіткому нестохастично невизначеному середовищі забезпечує ОПР формування чіткої підмножини факторів впливу на змістовність власної поведінки розвитку її процесу функціонування за часом. Визначена чітка підмножина факторів впливу відповідає чіткій підмножині факторів як  $\alpha$ -рівневих носіїв за функцією приналежності ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги нечіткої підмножини (19) на множині  $D = \{d_i\}, i = \overline{1, m}$  факторів.

Прийнятому рівню  $\alpha$  когнітивна модель дозволяє поставити у відповідність чітку множину факторів впливу та значення значущості, яка їй відповідає. Зростання  $\alpha$  приводить до зменшення обсягу чіткої підмножини впливових факторів. Порівняння значущостей підмножин впливових факторів при різних  $\alpha$  дозволяє ОПР прийняти рішення щодо обсягу та змісту чіткої підмножини найбільш впливових факторів. В табл. 1 приведені чіткі підмножини впливових факторів та рівні їх значущостей при різних  $\alpha$ -рівнях як витяги із когнітивної моделі, поданої на рис. 1.

Таблиця 1

Змістовність множини впливових факторів

$\alpha$	Множина впливових факторів	$\sum_{\xi} \gamma_{\xi}$
0,7	$I_1 = \left\{ t_1^1, t_2^2, u_3^3, \vartheta_1^4, \vartheta_2^5, \vartheta_3^6, \vartheta_7^7, \vartheta_8^8, \omega_9^9, \omega_2^{10}, \omega_3^{11}, \omega_4^{12}, \tau_1^{13}, \tau_2^{14}, \tau_3^{15}, \phi_1^{16}, \phi_2^{17} \right\}$	0,592
0,8	$I_2 = \left\{ t_1^1, \vartheta_4^2, \omega_1^3, \tau_1^4, \tau_2^5, \tau_3^6, \phi_1^7, \phi_2^8 \right\}$	0,312
0,9	$I_3 = \left\{ \tau_1^1, \tau_2^2, \tau_3^3, \phi_1^4 \right\}$	0,201

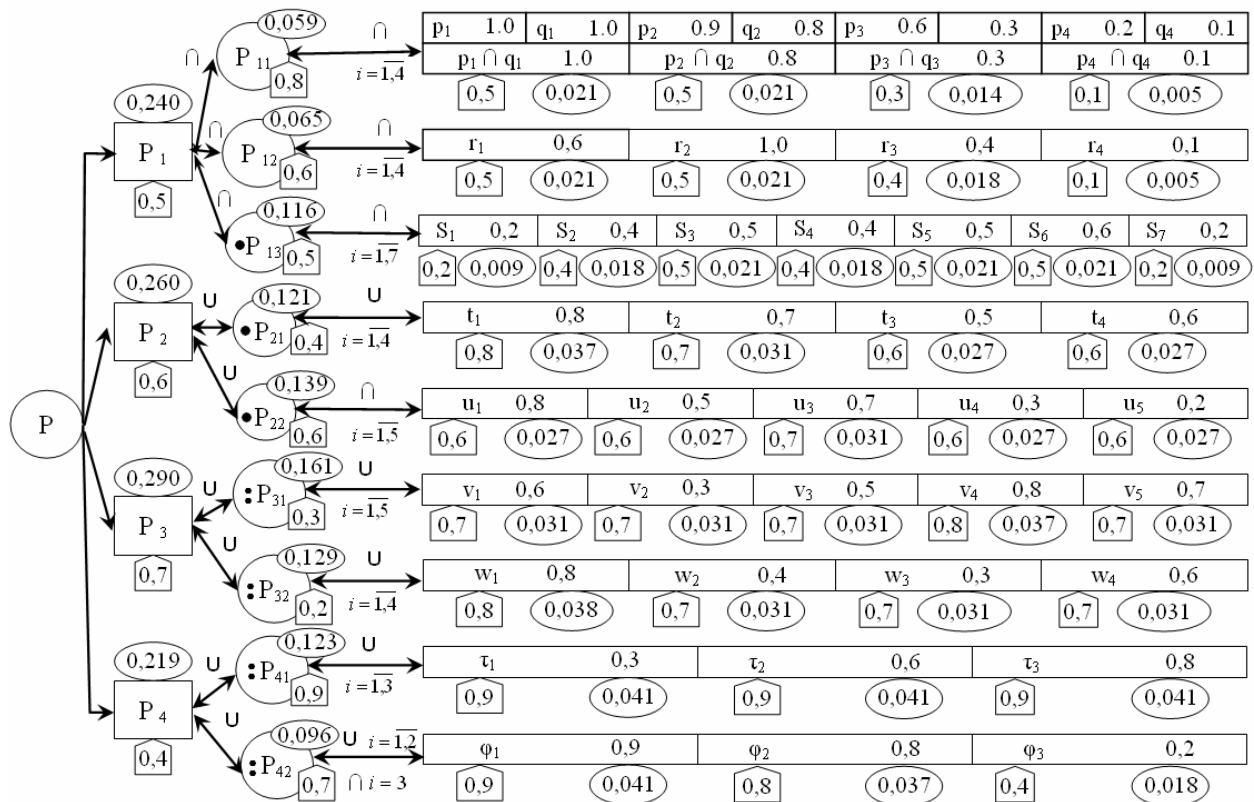


Рис. 1. Когнітивна модель навчального рейтингу ВНЗ

Прийняття рішення ОПР щодо нечіткої множини найбільш впливових факторів може базуватись на її наступних суб'єктивних судженнях. Значний обсяг множини факторів затрудняє доцільно розподілити її вплив на власну поведінку розвитку складної системи, а суттєве зменшення обсягу приводить до значного зменшення значущості такого її впливу. Так, що видно із табл. 1, множина I3 в порівнянні з I1 характеризується значенням показника значущості в три рази меншим. Обсяг I2 в два рази більший обсягу I3, але показник значущості I2 тільки в два рази менший показника значущості I1. При такому підході ОПР може множину I2 визначити як множину найбільш впливових факторів.

**Висновки**

Запропонований метод визначення чіткої підмножини факторів впливу на змістовність власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи забезпечує вирішення проблеми формування підмножини факторів впливу на основі рівнів їх значущостей. Значущість факторів, які ОПР ввела для розгляду опису процесу функціонування складної системи, відповідає рівням їх недомінованості як значень функції приналежності нечіткої підмножини ядра нечіткого бінарного відношення строгої переваги факторів. З метою визначення значень функції приналежності нечітких бінарних відношень кожної пари факторів з урахування впливу решти інших, фактори подаються ієрархічною декомпози-

цією їх структури та врахуванням значущостей їх підмножин на всіх рівнях ієрархії, а також врахуванням функціонального впливу кожного фактора на розвиток цілеспрямованого функціонування складної системи вцілому. Чітка підмножина факторів впливу формується як  $\alpha$  – рівневі носії функції приналежності. Рівень  $\alpha$  ОПР може тлумачити як її рівень впевненості щодо обсягу, змістовності та рівня значущості чіткої підмножини факторів впливу та чіткої підмножини найбільш впливових факторів.

**Список літератури**

1. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 томах. Т.3. Эффективность технических систем / Под. общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
2. Метод вибору раціональної за ефективністю стратегії управління в ході збройної боротьби в умовах її нечіткого інформаційного ресурсу / В.М. Більчук, Н.І. Литвинець, В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2007. – № 9 (67). – С. 2 – 10.
3. Більчук В.М. Метод определения показателей эффективности и риска принятия решений при проведении операций в условиях нестохастической неопределенности / В.М. Більчук, О.В. Десятов, И.С. Николаева // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2003. – № 3. – С. 11 – 22.
4. Більчук В.М. Оцінка ефективності прийняття рішень щодо оперативного управління в умовах нестохастичної невизначеності інформаційного забезпечення / В.М. Більчук // Системи озброєння і військова техніка. – 2005. – № 2 (2). – С. 39 – 46.
5. Більчук В.М. Методологічні основи засад розуміння нечіткого нестохастично невизначеного середовища та досліджень наявності в цьому явищі природи / В.М. Більчук,

В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2008. – Вип. 1 (13). – С. 2 – 9.

6. Методологічні основи опису процесу функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин, О.В. Воробійов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 6 (113). – С. 5 – 12.

7. Метод визначення напрямів сприяння формуванню цілеспрямованої власної поведінки розвитку процесу функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин, О.В. Воробійов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 8 (115). – С. 16 – 23.

8. Методика визначення рівнів значущості факторів формуючих нечітке нестохастичне невизначене середовище цілеспрямованого функціонування складної системи / В.М. Більчук, Д.А. Гриб, І.Г. Дзеверин, О.В. Воробійов, І.А. Нос // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 4 (120). – С. 106 – 112.

Надійшла до редколегії 29.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧЕТКОГО ПОДМНОЖЕСТВА ФАКТОРОВ ВЛИЯНИЯ НА СОДЕРЖАТЕЛЬНОСТЬ СОБСТВЕННОГО ПОВЕДЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ

В.М. Бильчук, Д.А. Гриб, И.Г. Дзеверин, О.В. Воробьев, И.А. Нос

Современное виденье сущности когнитивного моделирования функционирования сложной системы – это способ выявления закономерностей предупреждения и предотвращения негативных тенденций развития личного целенаправленного поведения сложной системы, процесс функционирования которой протекает в нечеткой нестохастически неопределенной среде. Предлагается метод определения четкого подмножества факторов влияния на собственное поведение развития процесса функционирования сложной системы на основе его когнитивного моделирования по уровню функции принадлежности нечеткого подмножества факторов, введенных лицом, принимающим решение, для описания ее функционирования.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование, нечеткое подмножество, функция принадлежности, факторы влияния.

## METHOD FOR DETERMINING A CLEAR SUBSET OF INFLUENCE FACTORS ON THE CONTENT OF THEIR BEHAVIOR OF THE PROCESS DEVELOPMENT OF COMPLEX SYSTEM FUNCTIONING

V.M. Bilchuk, D.A. Grib, I.G. Dzeverin, O.V. Vorobyev, I.A. Nos

The contemporary vision of the essence of cognitive modeling of a complex system functioning is a method of identifying regularities to prevent and to avoid negative tendencies of the development of personal purposeful behavior of a complex system, a functioning process of which takes place in the functioning of fuzzy non-stochastic uncertain environment. A method for determining a clear subset of influence factors on personal behavior of the development of complex system functioning process is proposed based on its cognitive modeling by the level of the membership function of fuzzy subsets of factors, introduced by a decision-maker, for the description of its functioning.

**Keywords:** cognitive modeling, fuzzy subset, membership function, influence factors.