УДК 004.62+004.82+303.732.4+ 519.81

**В.В. ГОРБОРУКОВ, О.Є. СТРИЖАК, О.В. ФРАНЧУК,
В.Б. ШАПОВАЛОВ**

ОНТОЛОГІЧНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗАДАЧІ РАНЖУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Анотація. *Розглядається технологічна проблема формування альтернативних представлень проблемних ситуацій в операційному середовищі систем підтримки прийняття рішень. Описується процес онтологічного представлення альтернатив. Визначається онтологія задачі вибору, як платформа формування альтернатив для розв'язання задачі ранжування. Описується процес нормалізації критеріїв, як певних інтерпретацій властивостей понять предметної області, в термінах якої розв'язується задача ранжування. Представлено табличне й графічне відображення станів розв'язання задачі ранжування альтернатив.*

Ключові слова: *онтологія, ранжування, альтернатива, система підтримки прийняття рішень, таксономія, нормалізація.*

Вступ

Вирішення будь-якої проблеми вимагає проведення її контекстного аналізу, оцінки стану, формування ідеї розв'язання і на кінцевій стадії виокремлення і формулювання складників прикладних задач у термінах прикладних областей її постановки. Особливо це характеризує системи підтримки процесів прийняття рішень (СППР), де на кожному етапі виникає проблемна ситуація, яку можна уявити у вигляді певних суджень, що дозволяють визначити певну задачу [1]. Використання онтологічних систем [1-4] для представлення опису проблемних ситуацій в термінах предметної області дозволяє виділяти в проблемній ситуації набір прикладних задач, розв'язання яких забезпечує її вирішення. Онтологічний супровід дозволяє реалізовувати досить повний опис множини станів кожного етапу вирішення в термінах предметної області, що забезпечує алгоритмічну виводимість наступних станів процесу розв'язання прикладної задачі.

1. Онтологічне представлення множин альтернатив

Кожна онтологія містить інформаційні описи, на основі об'єктно-орієнтованої процедури формалізації, а також описи інтерпретаційних функцій, які є функціональним проявом властивостей об'єктів (концептів), що складають онтологію, та які управляють на основі цього процесом поставки інформаційного ресурсу на усіх етапах прийняття рішень. Тому цілком виправданим є представлення інформаційної моделі в середовищі СППР у вигляді певної онтології [4-8].

Як відомо, в основі онтологічної методології лежить об'єктно-орієнтований підхід, при якому предметна прикладна область представляється у вигляді сукупності об'єктів, взаємодія між якими може бути представлена за допомогою семантичного зв'язування висловлювань, тверджень та суджень [9].

Під об'єктом розуміється деяка сутність (реальна або абстрактна) з притаманними їй станом, поведінкою і індивідуальністю.

- Стан об'єкта характеризується переліком всіх його можливих властивостей – структурою і значеннями кожної з цих властивостей.
- Поведінка об'єкта (або його функціональність) характеризує те, як об'єкт взаємодіє з іншими об'єктами або піддається впливу інших об'єктів, проявляючи свою індивідуальність. Поведінка об'єкта реалізується у вигляді функцій, які називають методами. При цьому структура об'єкта доступна тільки через його методи, які в сукупності формують інтерфейс об'єкта.
- Індивідуальність об'єкта характеризують такі властивості, які відрізняють його від всіх інших об'єктів.

Для формування адекватного операційного середовища СППР особливий інтерес представляють два типи ієрархічних залежностей між об'єктами:

- зв'язки – позначають рівноправні відношення між об'єктами; об'єкт співробітничає з іншими об'єктами через зв'язки, що з'єднують його з ними;
- агрегація – описує відношення цілого і частини, що наводять до відповідної таксономії (ієрархії об'єктів).

Комп'ютерну онтологію певної предметної області (ПрО) будемо розглядати як певну непусту множину об’єктів, які задовольняють наступним вимогам:

1) об’єкти організовані у вигляді ієрархічної структури скінченної множини понять, що описують задану предметну область;
2) структура може бути представлена множиною дводольних графів, вершинами яких є поняття, а дугами – семантичні відношення між ними;
3) поняття і відношення інтерпретуються відповідно до загальнозначущих функцій інтерпретації, взятих з електронних джерел знань заданої ПрО;
4) визначення понять і відношень виконується на основі аксіом і обмежень їх області дії;
5) функції інтерпретації та аксіоми описані мовою формальної теорії.

У загальному випадку онтологія предметної області формально представляється впорядкованою трійкою [6, 7, 11,12]:

$$O = \langle X,\ R,\ F \rangle, \tag{1}$$

Але найбільш конструктивним щодо використання онтологій в СППР є її розширене визначення у наступному вигляді:

$$O = \langle X, R, F, \tilde{\mathcal{A}}, D, R_s \rangle \tag{2}$$

де X – множина концептів, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$, $(i = \overline{1, n}, n = Card\ X)$, кінцева множина концептів (понять) заданої в операційному середовищі СППР, що фактично визначає поняття тематики предметної області (ПрО), на основі яких формується предметна складова операційного середовища;

$R = \{R_1, R_2, \dots, R_k, \dots, R_m\}, R_k \subseteq X \times X,\ k = \overline{1, m}, m = Card\ R,$ – кінцева множина семантично значущих властивостей концептів ПрО. Вони визначають тип взаємодії між поняттями онтології і являють собою інтерпретації відношень, які існують між концептами, що дає можливість визначити перетворення, яке кожному відношенню встановлює у відповідність певну властивість;

F – скінченна множина функцій інтерпретації R, заданих на концептах і/або відношеннях, які складають функціональну частину операційного середовища СППР;

$\tilde{\mathcal{A}}$ – скінченна множина аксіом, які використовуються для запису завжди істинних висловлювань (визначень і обмежень) в термінах тематики ПрО;

D – множина додаткових визначень концептів (понять) в термінах тематики ПрО;

R_s – множина обмежень, що визначає область дії понятійних структур визначеної тематики ПрО ($R_s \subseteq R$).

Онтологія виду (2), яку представлено доповненням визначення (1) аксіомами ПрО, а також додатковими визначеннями понять, що задають певні обмеження за тематикою даної ПрО, дозволяє представляти опис всіх своїх компонент певною формальною мовою, яка може інтерпретуватися деякою процедурою (алгоритмом).

Однією із системних компонент онтологічної системи виду (1) і (2) є таксономія [13], що відображає певну ієрархію взаємодії концептів. При цьому власне ієрархія задається за допомогою бінарних відношень, що визначають характер взаємодії між концептами онтології.

Таксономія – непуста підмножина $\breve{T}$, у якої над певною підмножиною T множини концептів X онтології O задано відношення упорядкованості $R_t, R_t \subset R | R_t \neq \emptyset$. Якщо для множини концептів X задано множинне бінарне слабке відношення упорядкованості – $\tilde{\rho}$ [1, 12, 14-17], то формально таксономію можна визначити наступним чином:

$$\breve{T} = \{t \in X | \forall t \exists y (y \in X) : x\tilde{\rho}y \vee y\tilde{\rho}x\} \tag{3}$$

де $\tilde{\rho}$ ($\tilde{\rho} \in R_t \subseteq R$) – бінарне відношення, що визначає частковий порядок для множини $\breve{T}$.

Для формування моделі задачі ранжування на основі онтології введемо певне перетворення $\tilde{\mathcal{H}}_{MR}$.

$$\tilde{\mathcal{H}}_{MR} : \langle X, R, F, \tilde{\mathcal{A}}, D, R_s \rangle \rightarrow M_R \tag{4}$$

де M_R – модель задачі ранжування.

Задача ранжування описується набором альтернатив A, для кожної з яких задаються значення певних показників (критеріїв). Розв'язком такої задачі вважається встановлення лінійного порядку над множиною A. Такий порядок, зокрема, дозволяє визначити альтернативи(у), що мають найкращі (за сукупністю) значення критеріїв, які в загальному випадку відрізняються різною важливістю. Формально математична модель задачі ранжування складається з наступних об'єктів:

$$M_R = \langle A, K, \tilde{F}, G \rangle \tag{5}$$

де A – множина альтернатив;

K – множина критеріїв;

$\tilde{F}: A \times K \to Q$ – функція, що визначає значення альтернатив за певним критерієм, Q – множина значень критеріїв;

G – правило ранжування, яке дозволяє встановити лінійний порядок для множини альтернатив.

В залежності від ступеня сформованості моделі задачі ранжування можна виділити наступні випадки:

1. $M_R^{1A}(A \neq \emptyset, K = \emptyset, \tilde{F} = 0, \mathrm{G} = 0)$ – визначені тільки альтернативи.

2. $M_R^{1K}(A = \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} = 0, \mathrm{G} = 0)$ – визначені тільки критерії.

3. $M_R^{2}(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} = 0, \mathrm{G} = 0)$ – визначено множини альтернатив і критеріїв.

4. $M_R^{3}(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} \neq \emptyset, \mathrm{G} = \emptyset)$ – для альтернатив встановлені значення за критеріями. При такій моделі вважається, що задача ранжування сформована.

5. $M_R^{4}(A \neq \emptyset, K \neq \emptyset, \tilde{F} \neq \emptyset, \mathrm{G} \neq \emptyset)$ – задано правило ранжування для сформованої моделі ранжування.

Фактично механізм формування моделі задачі ранжування та її розв’язання на основі онтології (4) є багатоетапним процесом, кожен з яких потребує використання окремих процедур. Загальну схему виконання такого перетворення можна представити таким процесом:

$$O \to M_R^{1A} \leftrightarrows M_R^{2} \to M_R^{3} \to M_R^{4} \to O^* \qquad (6)$$

де O^* – розширення онтології O в результаті здійснення ранжування, що для концептів онтології (альтернатив) $A \subseteq X$ визначає нові відношення переваг та властивості. Крім того, слід зазначити, що нові властивості можуть бути встановлені і внаслідок пост-аналізу на основі розв’язку оберненої задачі ранжування.

Отже, перший етап формування моделі задачі ранжування полягає у виокремленні з множини концептів X елементів, які можуть розглядатись як альтернативи. Альтернативами можна вважати однорідні об’єкти, що характеризуються спільними властивостями. Такий відбір може здійснюватись на основі функції вибору

$$F_{sel}(X) = Y, Y \subseteq X \qquad (7)$$

До класично-раціональних функцій вибору відносяться ті, які мають наступні характеристичні властивості **[**14, 15**]**:

1. Умова наслідування (Н):

$$X' \subseteq X \Rightarrow F_{sel}(X') \supseteq F_{sel}(X) \cap X' \qquad (8)$$

2. Умова константності (К), строгого наслідування:

$$(X' \subseteq X) \wedge (X' \cap F_{sel}(X) \neq \emptyset) \Rightarrow F_{sel}(X') = F_{sel}(X) \cap X' \quad (9)$$

3. Умова згоди (З):

$$X' \cup X'' = X \Rightarrow F_{sel}(X) \supseteq F_{sel}(X') \cap F_{sel}(X'') \quad (10)$$

4. Умова незалежності або відкидання (В):

$$F_{sel}(X) \subseteq X' \subseteq X \Rightarrow F_{sel}(X') = F_{sel}(X) \quad (11)$$

Для побудови класу механізмів вибору, що породжують характеристичну область відкидання (В) у просторі функцій, застосовується тип структур – *гіпервідношення* виду $Y\gamma Z$, що зв'язують пари множин [15, 16].

Тоді правило вибору на такій структурі визначається виразом:

$$F_{sel}(X) = Y,\ Y \subseteq X \Leftrightarrow Y\gamma Z, \qquad Z \subseteq X \quad (12)$$

Відмітимо, що якщо гіпервідношення γ володіє властивістю гіпертранзитивності, то функція вибору також належить до характеристичної області наслідування (Н).

Умова гіпертранзитивності:

$$Y\gamma x, x \in X, X\gamma z \Rightarrow ((Y \cup X)/\{x\})\gamma z \quad (13)$$

Визначимо механізми вибору альтернативних варіантів для онтології (2) з таксономічною структурою $\breve{T}$, над якою встановлене бінарне відношення слабкої упорядкованості $\tilde{\rho}$. Частковий порядок $\tilde{\rho}$ може бути розширеним до відношення транзитивного замикання ρ^+.

$$x_i^j \tilde{\rho} x_l^k \xrightarrow{\alpha} x_i^j \rho^+ x_l^k \quad (14)$$

Тоді можна визначити функцію вибору на основі гіпервідношення γ_1^+ та γ_1^- між множинами $Y \subseteq \breve{T}$ та Z$\subseteq \breve{T}$ такі що:

$$Y\gamma_1^- Z,\ Y = \{y \in \breve{T} | \exists z(z \in Z): z\rho^+ y\}.$$
$$Y\gamma_1^+ Z,\ Y = \{y \in Y^* |\ \nexists x(x \in X, x \neq y): y\tilde{\rho}x\},\ Y^*\gamma_1^- Z\ .$$
$$F_{sel}(\breve{T}) = Y,\ Y = \{y \in Y_1/Y_2\},\ Y_1\gamma_1^+ Z_1, Y_2\gamma_1^- Z_2, \qquad Z_1 \subseteq \breve{T}, Z_2 \subseteq \breve{T} \quad (15)$$

Описана функція вибору визначає кінцеві елементи таксономії, що є нащадками класів (категорій), які входять у множину Z_1 та відповідно не є нащадками класів, заданих множиною Z_2. Елементи, які належать до спільних класів (суперкласів), можна розглядати в якості альтернатив, оскільки це визначає їхню однорідність. Таким чином, описана функція для направленого графу, у вигляді якого може бути представлена таксономічна структура, визначає висячі вершини, що мають спільних предків Z_1. Якщо множини Z_1 та Z_2 не визначені, то їх слід задати наступним чином: $Z_1 = \{z \in X | \nexists x(x \neq z): z\tilde{\rho}x\}, Z_2 = \emptyset$.

Нехай деяка множина R^+ представляє множину всіх активних властивостей (атрибутів), якими характеризуються об'єкти онтології ($R^+ \subseteq R$). За допомогою гіпервідношення γ_2 можна задати множину властивостей для певного об'єкта $P_x = P \subseteq R^+, P\gamma_2 x$. Аналогічно, як і для функції вибору в попередньому випадку, можна задати відповідні гіпервідношення γ_3^- та γ_3^+, залишивши правило вибору (15):

$$Y\gamma_3^+ Z,\ Y = \{y \in \breve{T} | \forall y: (Z \subseteq P_y)\}.$$

Гіпервідношення γ_3^+ можна модифікувати до $\tilde{\gamma}_3^+$, увівши порогове значення q.

$$\begin{gathered} Y\tilde{\gamma}_3^+ Z,\ Y = \{y \in \breve{T} | (|Z \cap P_y| > q)\} \\ Y\gamma_3^- Z,\ Y = \{y \in \bar{T} | \exists z(z \in Z): z \in P_y\} \end{gathered} \qquad (16)$$

Механізм вибору, який породжується цим гіпервідношенням, свідчить про те, що об'єкти, які розглядаються, мають не обов'язково володіти всіма атрибутами із бажаного списку. Нескладно побачити, що механізми вибору (15) та (16) є еквівалентними, оскільки приналежність до певного класу можна вважати властивістю об'єкта. Також для елементів, що характеризуються певними властивостями, можна побудувати відповідну таксономію, де на нижньому рівні ієрархії будуть об'єкти, а на верхніх – ієрархічна структура атрибутів.

Описані механізми вибору можуть налаштовуватись за допомогою певних параметрів. Якщо такі параметри не будуть задані, то в якості альтернатив будуть відібрані всі елементи, що мають тип «об'єкт» для (16), та елементи, що знаходяться на нижньому рівні ієрархії для (15). Відмітимо, що для вдало структурованих таксономій відсутність параметрів не є проблемою.

Відзначимо, що головною рисою альтернатив є їхня однорідність. Розглянемо гіпердомінатний механізм вибору [16, 17] оптимальних комплектів на основі гіпервідношення γ_4 заданого за допомогою скалярної функції $\Phi(Z)$ (гіпершкала): $Y\gamma_4 Z \ \Leftrightarrow \{\Phi(Y) \geq \Phi(Z)\}$.

Тоді функція вибору буде мати наступний вигляд:

$$F_{sel}(\breve{T}) = Y, \qquad \Phi(Y) = \max_{Z \subseteq \breve{T}} \Phi(Z) \qquad (17)$$

$$\Phi(Z) = GH_1\left(|Z|, \left|\bigcap_{z \in Z} P_z\right| - \left|\bigcup_{z \in Z} P_z\right| + \hat{q}, \left|\bigcap_{z \in Z} P_z\right| - \check{q}\right), \qquad Z \subseteq \breve{T} \qquad (18)$$

де функція $GH_1(x,y,z) = x \cdot (sign(y) + sign(z))$, $\hat{q}$, $\breve{q}$ – цілочисельні параметри ($\hat{q}$, $\breve{q} \in Z$). Відмітимо, що функцію GH_1 можна визначити і в інший спосіб, який би враховував не тільки наявність спільних властивостей, а також їх кількість. Ця функція вибору орієнтована на знаходження максимальної кількості однорідних об'єктів. Якщо в онтології існує не одна група таких об'єктів, то внаслідок послідовного застосовування цього механізму вони теж можуть бути ідентифіковані.

Функція $\Phi(Z)$ може бути визначена також за допомогою безпосередньо попарних порівнянь.

$$\Phi(Z) = \left(\sum_{x \in Z} \sum_{y \in Z, x \neq y} GH_2(x,y,Z) \cdot \Pr(x,y,Z) \right), Z \subseteq \breve{T} \qquad (19)$$

де $\Pr(x,y,Z)$ – функція, яка на основі предикатів визначає, чи володіє комплект об'єктів мінімальними до них вимогами;

$GH_2(x,y,Z)$ – функція, яка визначає міру схожості об'єктів x та y ($x \in Z, y \in Z$) та яка може враховувати кількість елементів в комплекті, за замовчуванням її можна покласти $GH_2(x,y,Z)$=1.

$$\Pr(x,y,Z) = \begin{cases} 1, & \Pr_1(x,y) \wedge \Pr_2(x,Z) \wedge \Pr_2(y,Z) \\ -\infty, & \neg\Pr_1(x,y) \vee \neg\Pr_2(x,Z) \vee \neg\Pr_2(y,Z) \end{cases}$$

$$\Pr_1(x,y) = \left(|P_x \cap P_y| \geq \breve{q} \right) \wedge \left(|P_x \cup P_y| - |P_x \cap P_y| \leq \hat{q} \right)$$

$$\Pr_2(x,Z) = |P_x| - \left| \bigcup_{z \in Z} P_z \right| \geq \tilde{q}$$

де P_x, P_y – множини властивостей елеметів x та y ($x \in Z, y \in Z$), параметри $\breve{q}$, $\hat{q}$, $\tilde{q}$ – цілочисельні порогові значення.

Функції, що описані (15)–(16), володіють всіма характеристичними властивостями, що описані в (8)–(11), за умови, що властивості об'єктів є незмінними. Функція вибору, що описана в (17)–(20), володіє тільки властивістю відкидання (В). Але слід врахувати, що цей механізм вибору орієнтований на знаходження саме оптимального комплекту на відміну від звичайної ситуації, де об'єкти можуть розглядатися незалежно. Тобто відкидання певних елементів із комплекту об'єктів суттєво змінює його якісні характеристики, тому самі комплекти мають бути цілісними. Якщо накласти цю вимогу, то описану функцію можна розглядати як раціональну.

Наступний етап, який слідує після визначення множини альтернатив, полягає у встановленні множини атрибутів, що можуть розглядатись як критерії K. Це може бути здійснено наступним чином:

$$K = \bigcup_{z \in A} P_z, \qquad F_{sel}(\breve{T}) = A, A \subseteq \breve{T} \qquad (20)$$

Таким чином, формується множина K, яка може бути використана для визначення множини альтернатив. Тобто вона може слугувати для визначення множин Z_1 та Z_2, які застосовуються для вибору альтернатив. Отже, ці етапи формування альтернатив та критеріїв взаємопов'язані $M_R^{1A} \leftrightarrows M_R^2$, оскільки властивості об'єктів дозволяють встановити множину альтернатив, які в свою чергу характеризуються спільними атрибутами.

Наступний крок при формуванні моделі задачі ранжування полягає у встановленні критеріальних значень для альтернатив. Для цього з онтологічної моделі виокремлюються значення атрибутів із відношення ("об'єкт", "атрибут", "значення").

$$\tilde{F}(x, y) = v,\ (x, y, v) \in R_v \subseteq R \tag{21}$$

де $x \in A$, $y \in K$, $v \in Q$ та R_v – тринарне відношення, що задане для множини X.

Після того, як визначено множину критеріїв і альтернатив та їх критеріальні значення, будемо вважати, що модель задачі ранжування фактично поставлена. Подальше її уточнення та розв'язання залежить від безпосередньої участі ОПР.

2. Онтологія вибору

Виходячи з даного нами формального визначення онтології (1) і (2) та категорії вибору, яка представлена виразами (7)–(19), представимо онтологію задачі вибору О*TPCh* [1, 18] у вигляді наступного виразу:

$$O_{TPCh} = \langle \breve{T}, (\tilde{\rho} \vee R^+), F_{sel}(\breve{T}) \rangle \tag{22}$$

де $\breve{T}$ – таксономія, $\tilde{\rho}$ – відношення часткового порядку, R^+ – активні властивості концептів, F_{sel} – функція вибору.

Отже, об'єктні компоненти, що визначають онтологію задачі вибору, дозволяють інтерпретувати їх як різні інформаційні ресурси, концепти яких пов'язані певними бінарними відношеннями часткового порядку і можуть мати унарні властивості, що характеризують їх у певному якісному вигляді.

Тепер безпосередньо уточнимо математичну модель задачі ранжування (5), яка може бути формально описана так. Кожна альтернатива $x \in A = \{A_1, A_2, \ldots, A_n\}$ (A – множина альтернатив) характеризується значеннями деякої сукупності показників $f_1(x), f_2(x), \ldots, f_m(x)$. Кожна функція $f_j(x), j \in J = \{1 \ldots m\}$ задає значення j-го критерію [19-21, 23, 24], яке належить або до наперед визначеної множини, або обраховується у відповідності з певними математичними правилами [20, 21]. У першому випадку можливі варіанти: множина значень задається бальною чи лінгвістичною шкалою [21, 24] або – у вигляді числового інтервалу $[f_j^{min}, f_j^{max}]$, який утворюється з усіх можливих значень функції (з мінімального до максимального) з урахуванням точності її обчислення. Прикладом другого випадку є синтез локальних пріоритетів у методі аналізу ієрархій [22]. Отже, можна вважати, що значення j-го критерію завжди є зліченною множиною, позначимо її як Q_j :

$$Q_j = \{f_j^{(1)}, f_j^{(2)}, f_j^{(3)}, \dots, f_j^{(n_j-1)}, f_j^{(n_j)}\},$$

Де $f_j^{(1)} = f_j^{min}$, $f_j^{(n_j)} = f_j^{max}$, $f_j^{(1)} < f_j^{(2)} < \dots < f_j^{(n_j)}$, $n_j = |Q_j|$ – кількість елементів множини Q_j.

Отже, задача ранжування альтернатив за сукупністю показників полягає у встановленні певного порядку

$$A_{i_1} \succcurlyeq A_{i_2} \succcurlyeq \dots \succcurlyeq A_{i_n}, \quad i_1, i_2, \dots, i_n \in \{1 \dots n\} \tag{23}$$

на основі обчислення значень деякого узагальненого показника $G(x)$ для кожного елемента множини A:

$$\begin{gathered} G(x) = G(f(x), W) = G((f_1(x), \dots, f_m(x)), (\omega_1, \dots, \omega_m)), \\ x \in A = \{A_1, \dots, A_n\}, \\ W = (\omega_1, \dots, \omega_m), \sum_{j=1}^{m} \omega_j = 1, \omega_j > 0, \end{gathered} \tag{24}$$

де значення $G(x)$ обчислюються за певним правилом (алгоритмом), що визначається математичним методом, який використовується в кожному конкретному випадку, причому

$$G(A_{i_1}) \geq G(A_{i_2}) \geq \dots \geq G(A_{i_n}), \tag{25}$$

а W – є нормованим вектором вагових коефіцієнтів критеріїв [20, 21, 24].

Найкращою вважається альтернатива A_{i_1}, яка у порядку (23) займає перше місце, відповідно, найгіршою – альтернатива A_{i_n}. Далі будемо говорити, що альтернатива A_{i_k} в порядку (23) знаходиться на k-му місці, а k будемо називати її рейтингом.

Слід зауважити, що яким би методом не розв'язувалась задача (1)-(3), достовірність отриманого результату суттєво залежить від способу перетворення значень Q_j, $j \in J$ в єдину шкалу для всіх критеріїв. Так, на практиці достатньо часто застосовують формулу [21, 24-26]

$$f_j'(x) = q_{min} + (q_{max} - q_{min})\left(\frac{f_j(x) - \inf Q_j}{\sup Q_j - \inf Q_j}\right), x \in X = \{A_1, \dots, A_n\}, \quad (26)$$

проте вона може не зовсім коректно відображувати «суттєвість» переваги однієї альтернативи над іншою після переведення початкових значень $f_j(x)$ у шкалу $[q_{min}; q_{max}]$. У результаті при використанні отриманих значень $f_j'(x)$ в узагальненому показнику (3) розв'язок задачі (1)–(3) може бути хибним. Тому виникає необхідність у розробленні інших підходів до нормалізації критеріїв, які більш адекватно враховують реальне співвідношення вагомості альтернатив по кожному критерію.

3. Алгоритм конкурентної нормалізації критеріїв

Для нормалізації критеріїв, які відображають активні відношення онтології в операційному середовищі СППР, розглянемо довільний j-й критерій, за яким необхідно встановити реальний ступінь переваги однієї альтернативи над іншою. Критерій максимізується, причому $f_j(A_1) \leq f_j(A_2) \leq \dots \leq f_j(A_n)$. Нехай кожна альтернатива A_i за цим показником має значення b_i ($f_j(A_i) = b_i$, $i = \overline{1, n}$), а b_{ideal} – максимальне потенційно можливе значення за j-м критерієм. b_{ideal} визначається ОПР і може або співпадати з максимумом шкали значень цього критерію, або обчислюватись в певний спосіб в залежності від «потенційної» здатності альтернативи набути це значення. Обчислимо значення $b_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} b_i}{n}$.

Отже, розробимо відповідне перетворення

$$\Psi: [b_{min}, b_{max}] \to [0; 1], \quad (27)$$

за яким кожне значення $b_i, i = \overline{1, n}$ отримає свій еквівалент у шкалі рейтингових балів $[0; 1]$. Слід зауважити, що у випадку застосування (26) $q_{min} = 0$, $q_{max} = 1$.

У геометричній інтерпретації будемо вважати, що рейтинговий бал кожної альтернативи залежить від довжини ламаної, яка починається з центру координат і проходить через точки, абсциси яких є значеннями j-го критерію.

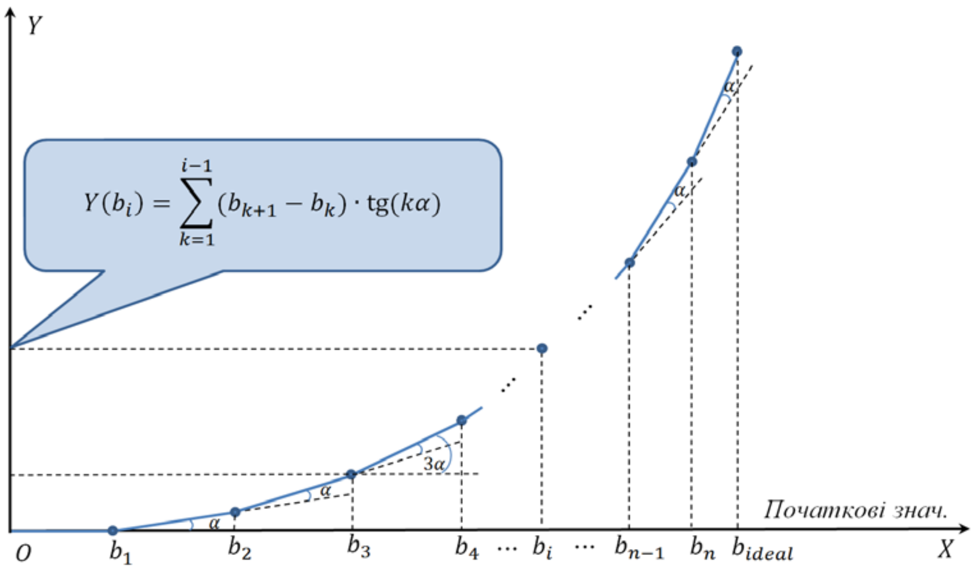

Рисунок 1 – Геометрична інтерпретація перетворення Ψ

Величина кута відхилення α кожної наступної ланки від попередньої вважається незмінною (рис. 1) і обраховується з таких міркувань. Введемо позначення:

- $B_i,\ i = \overline{1,n}$ – величина бала i-ї альтернативи у шкалі $[0;1]$,
- $P_i,\ i = \overline{1,n}$ – довжина ламаної від центру координат до точки з абсцисою b_i.

Отже, маємо:

$$P_1 = b_1,$$
$$P_2 = P_1 + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos(\alpha)},$$
$$P_3 = P_2 + \frac{(b_3 - b_2)}{\cos(2\alpha)},$$
$$\dots$$
$$P_i = P_{i-1} + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)},$$
$$\dots$$
$$P_{n+1} = P_n + \frac{(b_{ideal} - b_n)}{\cos(n\alpha)}.$$

Величина P_{n+1} є довжиною всієї ламаної (до точки з абсцисою b_{ideal}) і у шкалі $[0;1]$ відповідає значенню 1. Тоді $B_i = \frac{P_i}{P_{n+1}},\ i = \overline{1,n+1}$. Цілком логічним є твердження, що середнє значення величин $B_i, i = \overline{1,n}$ повинно знаходитись на середині інтервалу [0;1]: $\frac{\sum_{i=1}^{n} B_i}{n} = 0.5$, адже це дозволить коректно зводити початкові критеріальні значення до рейтингових для альтернатив за різнорідними показниками. У цьому випадку середньому критеріальному значенню, яке відрізняється у кожного окремого показника, буде приблизно відповідати один і той самий бал 0.5 у шкалі [0;1].

Таким чином, отримуємо рівняння для знаходження кута α:

$$\frac{\sum_{i=1}^{n} B_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{P_i}{P_{n+1}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{nP_{n+1}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{k=1}^{i} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)}\right)}{n\left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)}\right)} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{(b_1 - b_0)}{\cos(0\cdot\alpha)} + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos(1\cdot\alpha)} + \frac{(b_3 - b_2)}{\cos(2\cdot\alpha)} + \cdots + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)}\right)}{n\left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)}\right)} =$$

$$= \frac{nb_1 + (n-1)\frac{(b_2 - b_1)}{\cos\alpha} + (n-2)\frac{(b_3 - b_2)}{\cos 2\alpha} + \cdots + (1)\frac{(b_n - b_{n-1})}{\cos n\alpha}}{n(b_1 + \frac{(b_2 - b_1)}{\cos\alpha} + \cdots + \frac{(b_n - b_{n-1})}{\cos n\alpha} + \frac{(b_{n+1} - b_n)}{\cos(n+1)\alpha})} = 0.5,$$

або

$$\frac{\sum_{k=1}^{n}\left((n-k+1)\frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)}\right)}{n\left(\sum_{k=1}^{n+1} \frac{(b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)}\right)} = 0.5$$

Отримане рівняння будемо розв'язувати чисельно. Проведемо дослідження його лівої частини як функції $Z(\alpha), \alpha \in [0; \frac{\pi}{2(n+1)})$:

$$Z(\alpha) = \frac{\sum_{k=1}^{n}(F_k(\alpha))}{n(F_{n+1}(\alpha))} = \frac{F_1(\alpha) + F_2(\alpha) + \cdots + F_n(\alpha)}{n(F_{n+1}(\alpha))},$$

де $F_k(\alpha) = \sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha) = \sum_{i=1}^{k} \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)}, k = \overline{1, n+1}$.

Нехай φ – деякий кут $(\varphi > 0, \alpha + \varphi < \frac{\pi}{2(n+1)})$. Покажемо, що виконується нерівність

$$\frac{F_k(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_k(\alpha + \varphi)}{F_{k+1}(\alpha + \varphi)}.$$

$$\frac{\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha)}{\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha) + g_{k+1}(\alpha)} > \frac{\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha + \varphi)}{\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha + \varphi) + g_{k+1}(\alpha + \varphi)}$$

$$g_{k+1}(\alpha+\varphi)\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha) > g_{k+1}(\alpha)\sum_{i=1}^{k} g_i(\alpha+\varphi)$$

$$\sum_{i=1}^{k}\frac{(b_i-b_{i-1})}{\cos(k(\alpha+\varphi))\cos\big((i-1)\alpha\big)} > \sum_{i=1}^{k}\frac{(b_i-b_{i-1})}{\cos(k(\alpha))\cos\big((i-1)(\alpha+\varphi)\big)}$$
$$\cos(k(\alpha))\cos\big((i-1)(\alpha+\varphi)\big) > \cos(k(\alpha+\varphi))\cos\big((i-1)\alpha\big)$$
$$\frac{\cos\big((i-1)(\alpha+\varphi)\big)}{\cos(k(\alpha+\varphi))} > \frac{\cos\big((i-1)(\alpha)\big)}{\cos\big(k(\alpha)\big)},\ \ 0 \le (i-1) < k.$$

Дослідимо функцію $\qquad z(x) = \dfrac{\cos\big((i-1)x\big)}{\cos(kx)},\ 0 \le (i-1)x < kx < \dfrac{\pi}{2}$

$$z'(x) = \left(\frac{\cos\big((i-1)x\big)}{\cos(kx)}\right)' =$$
$$= \frac{-(i-1)\cdot sin\big((i-1)x\big)\cos(kx) + \mathrm{k}\cdot sin(kx)\cos\big((i-1)x\big)}{(sin(kx))^2} > 0$$
$$k\cdot sin(kx)\cos\big((i-1)x\big) > (i-1)\cdot sin\big((i-1)x\big)\cos(kx) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow tg(kx) > tg\big((i-1)x\big), (k > i-1).$$

Оскільки $tg(x)$ – монотонно зростаюча функція на інтервалі $[0;\frac{\pi}{2})$ і $kx > (i-1)x$, то виконується отримана нерівність. Отже, для $\forall k = \overline{1,n}$ маємо

$$\frac{F_k(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_k(\alpha+\varphi)}{F_{k+1}(\alpha+\varphi)} \ \Rightarrow\ \frac{F_{k+1}(\alpha+\varphi)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha+\varphi)}$$
$$\frac{F_{n+1}(\alpha+\varphi)}{F_{n+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha+\varphi)}{F_{k+1}(\alpha)} > \frac{F_{k+1}(\alpha)}{F_{k+1}(\alpha+\varphi)} \Rightarrow \frac{F_k(\alpha)}{F_{n+1}(\alpha)} > \frac{F_k(\alpha+\varphi)}{F_{n+1}(\alpha+\varphi)} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \frac{\sum_{k=1}^{n}\big(F_k(\alpha)\big)}{n\big(F_{n+1}(\alpha)\big)} > \frac{\sum_{k=1}^{n}\big(F_k(\alpha+\varphi)\big)}{n\big(F_{n+1}(\alpha+\varphi)\big)} \Rightarrow Z(\alpha) > Z(\alpha+\varphi).$$

Таким чином, $Z(\alpha)$ є монотонно спадною функцією на інтервалі $(0;\frac{\pi}{2(n+1)})$, і задача полягає у пошуку кореня рівняння $Z(\alpha) - 0.5 = 0$.

На інтервалі $[0;\frac{\pi}{2(n+1)})$ розглянемо функцію $U(\alpha) = Z(\alpha) - 0.5$, яка також буде монотонно спадною за властивостями монотонних функцій.

Визначимо знак функції $Z(\alpha)$ в кінці інтервалу $\left[0;\frac{\pi}{2(n+1)}\right)$.

$$\lim_{\alpha\to\frac{\pi}{2(n+1)}} Z(\alpha) =$$

$$= \frac{nb_1 + (n-1)\frac{(b_2-b_1)}{\cos\frac{\pi}{2(n+1)}} + \cdots + \frac{(b_n-b_{n-1})}{\cos\frac{n\pi}{2(n+1)}}}{n(b_1 + \frac{(b_2-b_1)}{\cos\frac{\pi}{2(n+1)}} + \cdots + \frac{(b_n-b_{n-1})}{\cos\frac{n\pi}{2(n+1)}} + \lim\limits_{\alpha \to \frac{\pi}{2(n+1)}} \frac{(b_{n+1}-b_n)}{\cos(n+1)\alpha})} =$$

$$= \frac{const}{const + \lim\limits_{\alpha \to \frac{\pi}{2(n+1)}} \frac{(b_{n+1}-b_n)}{\cos(n+1)\alpha})} = \frac{const}{const + (+\infty)} = 0.$$

Таким чином,

$$\lim_{\alpha \to \frac{\pi}{2(n+1)}} U(\alpha) = \lim_{\alpha \to \frac{\pi}{2(n+1)}} Z(\alpha) - 0.5 = -0.5 < 0.$$

Обчислимо значення $U(\alpha)$ на початку інтервалу при $\alpha = 0$:

$$U(0) = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left((n-k+1)\frac{(B_k - B_{k-1})}{\cos\left((k-1)\cdot 0\right)}\right)}{n\left(\sum_{k=1}^{n+1}\frac{(B_k - B_{k-1})}{\cos\left((k-1)\cdot 0\right)}\right)} - 0.5 =$$

$$= \frac{\sum_{k=1}^{n}\left((n-k+1)(B_k - B_{k-1})\right)}{n(\sum_{k=1}^{n+1}(B_k - B_{k-1}))} - 0.5 = \frac{\sum_{k=1}^{n} B_k}{nB_{n+1}} - 0.5 = \frac{B_{avg}}{B_{n+1}} - 0.5.$$

Отже, функція $U(\alpha)$ є монотонно спадною на інтервалі $\left[0; \frac{\pi}{2(n+1)}\right)$. Якщо виконується умова $\frac{B_{avg}}{B_{n+1}} \geq 0.5$, то функція на кінцях інтервалу приймає різні знаки. Це дозволяє розв'язувати рівняння $U(\alpha) = 0$ методом дихотомії. Наведемо відповідний алгоритм пошуку кута α.

0. Ініціалізація. Кут між останньою ланкою, що з'єднує точки $\left(B_n; Y(B_n)\right)$ та $\left(B_{ideal}; Y(B_{ideal})\right)$, і додатнім напрямом вісі OX не перевищує $\frac{\pi}{2}$. Тому цілком очевидними є початкові значення: $\alpha_{min} = 0$, $\alpha_{max} = \frac{\pi}{2(n+1)}$. Також задається точність, наприклад, $\varepsilon = 10^{-6}$, і номер ітерації $j = 1$.

1. Встановлюємо $\alpha_j = \frac{\alpha_{min} + \alpha_{max}}{2}$.

Для даного α обраховуємо довжини $P_i = P_{i-1} + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos\left((i-1)\alpha_j\right)}$, $i = \overline{1, n+1}$.

2. Обраховуємо віднормовані бали $B_i = \frac{P_i}{P_{n+1}}$, $i = \overline{1, n+1}$.

3. Обчислюємо середнє значення $B_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} B_i}{n}$.

4. Якщо $\left|B_{avg} - 0.5\right| < \varepsilon$, переходимо на крок 6.

5. Якщо $B_{avg} > 0.5$, то $\alpha_{min} = \alpha_j$, інакше $\alpha_{max} = \alpha_j$; $j = j + 1$, переходимо на крок 1.

6. α_j – є розв’язком рівняння (28).

Далі ОПР має визначити функцію цінності для інтерпретації отриманих балів, наприклад, за допомогою порогових значень. Подальші дії ОПР залежать від сфери діяльності, для якої розв’язується конкретна задача. У деяких випадках допустимо використання, наприклад, статистичних спостережень, що характеризують властивості об’єктів ранжування.

Відповідно до алгоритму конкурентної нормалізації ОПР повинен визначити віддаленість середнього бала від 0, щоб забезпечити ступінь переваги $\boldsymbol{L}$ очікувано-максимального бала B_* над середнім балом B_{avg}. Слід зауважити, що B_* є параметром, а його значення можна отримати через статистичні спостереження або в інший спосіб, визначений ОПР внаслідок аналізу предметної області і специфіки задачі.

Отже, проводимо стискання в x раз середнього бала 0.5 до такої величини $\frac{0.5}{x}$, яка була б у $\boldsymbol{L}$ разів менша від бала $\frac{0.5}{x} + \Delta$, де $\Delta = B_* - 0.5$. Таким чином можна досягти кардинальної (чисельної) узгодженості між усіма значеннями $B_k,\ k = \overline{1,n}$.

$$L \cdot \frac{0.5}{x} = \frac{0.5}{x} + \Delta \Rightarrow \ \frac{0.5}{x}(L-1) = \Delta \ \Rightarrow \ x = \frac{L-1}{2 \cdot \Delta} = \mu.$$

Тепер для всіх B_i , $i = \overline{1,n}$ отримаємо нові значення $\tilde{B}_i$:

$$\tilde{B}_i = \begin{cases} \dfrac{B_i}{\mu}, & B_i \le 0.5; \\ \dfrac{0.5}{\mu} + (B_i - 0.5), & B_i > 0.5 \end{cases}$$

Обчислимо значення максимального бала у новій шкалі: $\tilde{B}_{max} = \frac{0.5}{\mu} + (1 - 0.5)$.

Тепер, з огляду на (26), можна отримати рейтингові значення об’єктів ранжування для шкали $[q_{min}; q_{max}]$:

$$R_i = q_{min} + (q_{max} - q_{min}) \cdot \frac{\tilde{B}_i}{\tilde{B}_{max}}, \qquad i = \overline{1,n},$$

де R_i – остаточні рейтингові бали.

Для прикладу розглянемо обчислення рейтингового бала деяких 23 об’єктів для шкали [0;1000], тобто $q_{min} = 0, q_{max} = 1000$. У табл. 1 наведені початкові значення $b_i, i = \overline{1,23}$ певного показника. Нехай ОПР визначив $b_{ideal} = 98$ і значення параметрів $L = 3$ та $B_* = 0.75$.

Методом дихотомії знаходимо кут α такий, як зображено на рис. 1. В нашому випадку це значення є $\alpha = 0{,}06153$ радіан. Далі обчислюємо бали $P_i, B_i, \tilde{\tilde{B}}_i, R_i, i = \overline{1{,}23}$ (табл. 1).

Таблиця 1 – Початкові значення для 23 об'єктів

№ п/п	Об'єкти	b
1	Альтернатива 1	91,46
2	Альтернатива 2	89,8
3	Альтернатива 3	86,87
4	Альтернатива 4	84,77
5	Альтернатива 5	84,51
6	Альтернатива 6	80,8
7	Альтернатива 7	80,7
8	Альтернатива 8	79,07
9	Альтернатива 9	78,18
10	Альтернатива 10	75,18
11	Альтернатива 11	71,9
12	Альтернатива 12	67,32
13	Альтернатива 13	67,07
14	Альтернатива 14	66,1
15	Альтернатива 15	65,42
16	Альтернатива 16	62,57
17	Альтернатива 17	62,47
18	Альтернатива 18	60,88
19	Альтернатива 19	58,57
20	Альтернатива 20	18
21	Альтернатива 21	16
22	Альтернатива 22	16
23	Альтернатива 23	16

Довжина ламаної (рис. 1) від центру координат до точки з абсцисою b_{ideal} в нашому випадку є сумою довжин відрізків:

$$P_1 = 16,$$

$$P_2 = 16 + \frac{(16 - 16)}{\cos(0{,}06153)} = 16,$$

$$P_3 = 16 + \frac{(16 - 16)}{\cos(0{,}12306)} = 16,$$

$$P_4 = 16 + \frac{(18-16)}{\cos(0{,}18459)} = 18.03,$$

$$P_5 = 18.03 + \frac{(58{,}57-18)}{\cos(0{,}24612)} = 59.87,$$

...

$$P_{23} = 115{,}69 + \frac{(91{,}46-89{,}8)}{\cos(1{,}35367)} = 123.38,$$

$$P_{24} = 123.38 + \frac{(98-91{,}46)}{\cos(1{,}415199)} = 165.60.$$

Таблиця 2 – Результати роботи алгоритму обчислення рейтингового бала

Індекс	Об'єкти	b	P	B	$\tilde{B}$	$\boldsymbol{R}$
23	Альтернатива 1	91,46	123,38	0,75	0,375	**600**
22	Альтернатива 2	89,80	115,69	0,70	0,325	**520**
21	Альтернатива 3	86,87	105,02	0,63	0,255	**408**
20	Альтернатива 4	84,77	98,74	0,60	0,225	**360**
19	Альтернатива 5	84,51	98,07	0,59	0,215	**344**
18	Альтернатива 6	80,80	89,77	0,54	0,165	**264**
17	Альтернатива 7	80,70	89,58	0,54	0,165	**264**
16	Альтернатива 8	79,07	86,63	0,52	0,145	**232**
15	Альтернатива 9	78,18	85,15	0,51	0,135	**216**
14	Альтернатива 10	75,18	80,55	0,49	0,1225	**196**
13	Альтернатива 11	71,90	75,84	0,46	0,115	**184**
12	Альтернатива 12	67,32	69,64	0,42	0,105	**168**
11	Альтернатива 13	67,07	69,32	0,42	0,105	**168**
10	Альтернатива 14	66,10	68,14	0,41	0,1025	**164**
9	Альтернатива 15	65,42	67,34	0,41	0,1025	**164**
8	Альтернатива 16	62,57	64,10	0,39	0,0975	**156**
7	Альтернатива 17	62,47	64,00	0,39	0,0975	**156**
6	Альтернатива 18	60,88	62,29	0,38	0,095	**152**
5	Альтернатива 19	58,57	59,87	0,36	0,09	**144**
4	Альтернатива 20	18,00	18,03	0,11	0,0275	**44**
3	Альтернатива 21	16,00	16,00	0,10	0,025	**40**
2	Альтернатива 22	16,00	16,00	0,10	0,025	**40**
1	Альтернатива 23	16,00	16,00	0,10	0,025	**40**

Тоді величина бала i-го учасника у шкалі $[0;1]$ є $B_i = \frac{P_i}{165.60}$, $i = \overline{1,23}$.

Знаходимо такий індекс r, при якому справджується подвійна нерівність

$$B_r < 0.5 \leq B_{r+1} \ (r = 14).$$

Відповідно до алгоритму $\mu = \frac{L-1}{2(B_*-0.5)} = \frac{3-1}{2(0.75-0.5)} = 4$

$\tilde{B}_1 = \dfrac{B_1}{4} = \dfrac{0.1}{4} = 0.025$

$\tilde{B}_2 = \dfrac{B_2}{4} = \dfrac{0.1}{4} = 0.025$

$\tilde{B}_3 = \dfrac{B_3}{4} = \dfrac{0.1}{4} = 0.025$

$\tilde{B}_4 = \dfrac{B_4}{4} = \dfrac{0.11}{4} = 0.0275$

...

$\tilde{B}_{14} = \dfrac{B_{14}}{4} = \dfrac{0,49}{4} = 0.1225$

$\tilde{B}_{15} = \dfrac{0,5}{4} + (B_{15} - 0.5) = \dfrac{0,5}{4} + (0.51 - 0.5) = 0.135$

$\tilde{B}_{16} = \dfrac{0,5}{4} + (B_{16} - 0.5) = \dfrac{0,5}{4} + (0.52 - 0.5) = 0.145$

...

$\tilde{B}_{23} = \dfrac{0,5}{4} + (B_{23} - 0.5) = \dfrac{0,5}{4} + (0.75 - 0.5) = 0.375$

Обчислимо $\tilde{B}_{max} = \frac{0.5}{\mu} + (1 - 0.5) = \frac{0.5}{4} + 0.5 = 0.625$.

Тепер, з огляду на (26), можна отримати рейтингові значення об’єктів ранжування для шкали $[q_{min}; q_{max}]$:

$$R_i = 0 + (1000 - 0) \cdot \frac{\tilde{B}_i}{0.625} = 1600 \cdot \tilde{B}_i, \qquad i = \overline{1, n}$$

Остаточно маємо:

$$R_1 = \tilde{B}_1 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$
$$R_2 = \tilde{B}_2 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$
$$R_3 = \tilde{B}_3 \cdot 1600 = 0.0242 \cdot 1600 = 40$$
$$R_4 = \tilde{B}_4 \cdot 1600 = 0.0273 \cdot 1600 = 44$$
$$\dots$$
$$R_{23} = \tilde{B}_{23} \cdot 1600 = 0.375 \cdot 1600 = 600$$

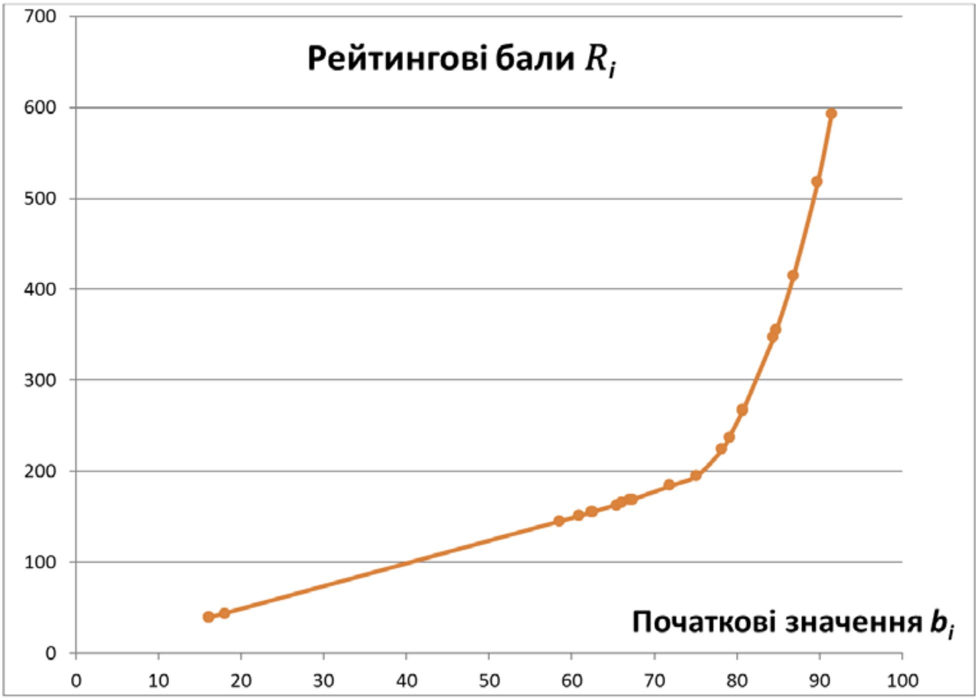

Рисунок 2 – Графічне представлення обчислених алгоритмом рейтингових балів

На рис. 2 у графічному вигляді зображені залежності рейтингових балів у шкалі [0..1000] від початкових.

Алгоритм конкурентної нормалізації був апробований для розв'язку практичних задач побудови рейтингів об'єктів, зокрема – для учасників республіканських етапів Всеукраїнського конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів – членів Малої академії наук України.

Алгоритм доцільно використовувати у випадках, коли ступінь переваги однієї альтернативи над іншою залежить не від абсолютних чисельних початкових значень показника, а від того, наскільки багато альтернатив мають близькі значення між собою і не досягають або переважають порогові значення, задані ОПР в результаті аналізу предметної області.

Висновки

Онтологічне представлення задачі ранжування дозволяє досить конструктивно враховувати усі умови її формулювання та використовувати контексти описів етапів і стадій розв'язування. Це досягається за рахунок спроможності онтологій щодо забезпечення процесу семантичного аналізу контекстів усіх описів, на основі якого визначається множина таксономій, які забезпечують структурне представлення цих умов. Таксономії стають головним конструктивним інструментом визначення множини альтернатив на етапі аналізу умов задачі ранжування. А безпосередньо онтологія, за рахунок представлення властивостей об'єктів, що входять в описи альтернатив, дозволяє визначити множини критеріїв, за якими й виконується ранжування.

Тут слід ще раз підкреслити той факт, що онтологія забезпечує інтерпретування властивостей об’єктів задачі ранжування в якості критеріїв ранжування. Це забезпечує високий рівень об’єктивності щодо визначення критеріальних умов задачі та валідності отриманих при розв’язуванні результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрижак О.Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Стрижак Олександр Євгенійович; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2014. 47 с.
2. Конноли Т. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-е изд.: Пер. с англ. / Конноли Т., Бегг К., Страчан А. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 1120 с.
3. Белоногов Г.Г., Кузнецов Б.А. Языковые средства автоматизированных информационных систем. М.: Наука, 1983.
4. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
5. Князева Е.Н. Трансдисциплинарные стратегии исследований // Вестник ТГПУ. 2011. №10.
6. Палагин А.В. К вопросу системно-онтологической интеграции знаний предметной области / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко. – Математические машины и системы, 2007. – № 3, 4. – С. 63–75.
7. Gruber T.R. A translation approach to portable ontology specifications / T.R. Gruber // Knowledge Acquisition. – 1993. – Vol. 5. – P. 199–220.
8. Guarino N., The Ontological Level. In: Casati R., Smith N. and White G. (eds.), Philosophy and the Cognitive Sciences, Vienna: Holder-Pichler-Tempsky, 1994.
9. Буч Г. Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. – М.: Конкорд, 1992. – 519 с.
10. Hermann Helbig: Knowledge Representation and the Semantics of Natural Language, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 2006.
11. Гладун В.П. Процессы формирования новых знаний [Текст] / Гладун В.П. – София : СД «Педагог 6», 1994. – 192 с.
12. Стрижак О.Є. Засоби онтологічної інтеграції і супроводу розподілених просторових та семантичних інформаційних ресурсів // Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць. / М-во освіти і науки України, Київ, Нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору; редкол.: О.С. Волошкіна, О.М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 12. – С. 166–178.
13. Андрусенко Т.Б. Методичні вказівки по використанню в учбовому процесі автоматизованого тезаурусу «Сівозміни» / Т.Б. Андрусенко, П.Н. Івончик, М.П. Косолап, О.Є. Стрижак. – Київ : Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова, Український державний аграрний університет, 1994. – 24 с.
14. Макаров И.М. Теория выбора и принятия решений / И.М. Макаров, Т.М. Виноградская, А.А. Рубчинский, В.Б. Соколов. – М.: Наука. 1982. – 328 с.
15. Айзерман М.А. Выбор вариантов: основы теории / М.А. Айзерман, Ф.Т. Алескеров. – Москва: Наука, 1990. – 240 с.
16. Айзерман М.А. Некоторые аспекты общей теории выбора лучших вариантов // Автоматика и телемеханика. / М.А. Айзерман, А.В. Малишевский. 1981. – № 2. – С. 65–83.
17. Малишевский А.В. Качественные модели в теории сложных систем / А.В. Малишевский. – М.: Наука. Физматлит. 1998. – 528 с.

18. Горборуков В.В. Використання онтологій у системах підтримки прийняття рішень / В.В. Горборуков, О.Є. Стрижак, О.В. Франчук – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць // НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.: С.О. Довгий (голов. ред.) [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 3. – С. 33–40.
19. Емельянов С.В. Многокритериальные методы принятия решений / С.В. Емельянов, О.И. Ларичев. – М.: Знание, 1985. – 32 с.
20. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М. : Радио и связь, 1981. – 560 с.
21. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М. : Логос, 2003. – 392 с.
22. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1993. – 278 с.
23. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
24. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер. – М. : Радио и связь, 1992. – 504 с.
25. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин (2-е изд., испр. и доп.). – М.: Физматлит, 2005, 176 с.
26. Opricovic S. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS / S. Opricovic, G.H. Tzeng. European Journal of Operational European Journal of Operational Research, 2004. – № 156(2). – pp. 445-455.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2018.