

В. В. Горборуков,  
В. В. Приходнюк,  
О. В. Франчук

## АЛГОРИТМ КОНКУРЕНТНОЇ НОРМАЛІЗАЦІЇ В СИСТЕМІ РЕЙТИНГОВОГО ОЦІНЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ

**Анотація.** Під час дослідження й аналізу більшості процесів, що відбуваються у будь-якій сфері людської діяльності, виникають прикладні задачі, які фактично належать до теорії прийняття рішень. Найбільш типовою серед таких задач є побудова рейтингового списку певних об'єктів (суб'єктів), з-поміж яких треба обрати найкращі (найгірші) за сукупним значенням певних атрибутів, що характеризують ці об'єкти. Складність таких задач полягає в тому, що, як правило, не буває випадків, коли один або декілька об'єктів мають суттєві переваги порівняно з іншими за всіма показниками, що беруться до уваги. Саме тому виникає необхідність застосування наявних методів теорії прийняття рішень, а також розроблення алгоритмів, які дають змогу математично враховувати специфіку конкретних практичних задач. У статті розглядається задача оцінювання досягнень учнів закладів загальної освіти в інтелектуальних змаганнях, що проводяться Малою академією наук України й Міністерством освіти і науки, а також наводиться опис розробленого алгоритму конкурентної нормалізації критеріїв для отримання рейтингових оцінок учасників конкурсів. Ця задача була формалізована з допомогою онтологічної методології, що уможливило імплементацію алгоритму її розв'язання в математичне забезпечення ТМІАС (Трансдисциплінарна мережецентрична інформаційно-аналітична система). Розроблений алгоритм ґрунтується на конкурентному характері процесу визначення ступеня домінування одних альтернатив над іншими залежно від аналізу числових характеристик, за якими відбувалося спостереження протягом певного інтервалу часу. У загальному випадку використання алгоритму є найбільш вдалим у задачах, коли обрахунок рейтингових показників альтернатив залежить не від абсолютних чисельних значень деяких критеріїв, а від наявної кількості альтернатив, що мають близькі значення показників і не досягають або перевищують певні порогові величини, визначені в результаті аналізу предметної області.

**Ключові слова:** ранжування альтернатив, рейтингове оцінювання, багатокритеріальна оптимізація, онтологія предметної області, таксономія, інформаційна технологія.

**Постановка проблеми.** Коректне розв'язання задачі ранжування альтернатив є доволі складним процесом, який можна умовно розділити на три етапи:

1. Формалізація предметної галузі, в межах якої відбувається ранжування, що передбачає побудову моделі ранжування, виокремлення власне альтернатив та їх критеріїв.

2. Нормалізація значень критеріїв, приведення їх до однієї шкали.

3. Власне порівняння альтернатив, визначення переваг одних альтернатив над іншими відповідно до визначеної експертом важливості критеріїв.

Якість виконання кожного з етапів визначає валідність отриманого кінцевого результату. При цьому на кожному з етапів можуть виникати ті чи інші проблеми, що суттєво знижуватимуть

цю валідність. Однією з ключових проблем є суб'єктивність експертів.

У межах задачі рейтингування учнів за їх навчальними досягненнями (зокрема, на конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів — членів МАН) це стосується суб'єктивності журі, що виставляє оцінки. Через суб'єктивність журі діапазони оцінок у різних напрямках та секціях конкурсів-захистів можуть суттєво різнитися, що не дає напряму порівнювати ці результати і формувати загальний рейтинг. Для розв'язання цієї проблеми пропонується метод конкурентної нормалізації, який дає змогу більш адекватно враховувати реальний ступінь переваги одних альтернатив над іншими за кожним критерієм і в такий спосіб мінімізувати вплив суб'єктивних факторів на рівень отриманих учнем досягнень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш поширеним підходом до вирішення задачі ранжування та вибору є визначення за певними правилами певного інтегрованого показника для кожної з альтернатив, що і задаватиме перевагу цієї альтернативи над іншими. Серед методів, що використовують цей підхід, доцільно виокремити [1–6]:

1. WSM (Weighted Sum Model) — метод адитивної маси, тобто зважена сума значень критеріїв. Він полягає у визначенні тим чи іншим способом коефіцієнтів у лінійній згортці для критеріїв та подальшій її оптимізації на множині допустимих варіантів для знаходження найкращого рішення. Це найпростіший метод, що широко використовується в задачах ранжування та рейтингування [7; 8]. Зокрема, цей метод передбачений правилами проведення конкурсу-захисту МАН.

2. WPM (Weighted Product Model) — метод, що ґрунтується на принципі справедливої компенсації відносних змін критеріїв. У цьому методі низька оцінка хоча б за одним критерієм тягне за собою суттєве пониження значення загального інтегрованого показника (функції корисності). Це означає, що при використанні цього методу неможливо компенсувати низькі значення одних критеріїв за допомогою більш високих значень інших [9].

3. Методи ідеальної точки (TOPSIS, VIKOR та ін.) — група методів, що передбачають оцінку альтернатив на основі відхилення значень їх критеріїв від умовних ідеальних значень. Методи передбачають побудову ідеального об'єкта, тобто певного варіанта рішення, що може розглядатися як найкраще можливе рішення. Міра

віддаленості до такого об'єкта дає змогу визначити узагальнений інтегрований показник, який необхідний безпосередньо для ранжування. Ключова відмінність конкретних методів із цієї групи полягає в метриках, що використовуються для обчислення відстані [10]. Варто зазначити, що ці методи дуже добре себе зарекомендували в процесі розв'язування прикладних задач.

Іншим підходом є попарне порівняння альтернатив. Серед методів, що використовують цей підхід, найбільш відомим є метод аналізу ієрархій [11–13]. Цей метод, як і попередні, формує для кожного об'єкта єдине інтегроване значення за допомогою лінійної згортки. Проте тут формування нормованих значень критеріїв (локальних пріоритетів) здійснюється експертом за допомогою спеціальної процедури попарних порівнянь об'єктів. Один з його суттєвих недоліків полягає в тому, що експерту потрібно здійснювати значну кількість таких порівнянь для альтернатив, тому цей метод фактично не застосовний для достатньо великої кількості об'єктів.

**Мета статті:** описати метод конкурентної нормалізації альтернатив на основі їх переваг над іншими альтернативами за кожним із критеріїв і його застосування в задачі рейтингування учасників конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів МАН у межах ТМІАС — системи, призначеної для формування загального рейтингу учасників республіканських етапів конкурсу-захисту.

#### **Виклад основного матеріалу.**

*Формування моделі для задачі ранжування альтернатив*

Одним із можливих варіантів формалізованого представлення певної предметної галузі (ПГ) є онтологія [14]. Така онтологія може бути представлена впорядкованою трійкою виду.

$$O \equiv \langle X, R, F \rangle \quad (1),$$

де  $X$  — множина об'єктів ПГ,  $R$  — множина відношень між об'єктами ПГ,  $F$  — функції інтерпретації об'єктів.

Термінальні об'єкти  $X$ , як правило, містять певні атрибути, що є похідними від функцій інтерпретації. Такі об'єкти можуть бути використані як альтернативи, а їх атрибути — як критерії.

Предметна галузь перетворюється експертом на онтологію, яка, своєю чергою, перетворюється на множину моделей задачі ран-

жування за допомогою спеціалізованого перетворення [15].

$$P \xrightarrow{R_p} O \xrightarrow{G} \{M_i\} \quad (2),$$

де  $P$  — предметна галузь,  $O$  — онтологія,  $R_p$  — перетворення формалізації ПГ,  $M_i$  — моделі задачі ранжування,  $G$  — перетворення, на основі якого формуються моделі задачі ранжування. Отже, на основі спеціалізованого перетворення  $G$  (2) з онтології може бути виокремлена множина альтернатив.

$$X \supseteq X_i \rightarrow A_i = \{a_{i1} \dots a_{in}\} \quad (3),$$

де  $X_i$  — підмножини термінальних об'єктів,  $A_i$  — множини альтернатив.

Критерії альтернатив визначаються шляхом інтерпретації певним чином (4) атрибутів об'єктів, що, своєю чергою, формуються шляхом застосування функцій його інтерпретації.

$$\Psi(F(x)) \xrightarrow{F_\Psi} \Omega(x) \quad (4),$$

де  $F$  — функції інтерпретації об'єктів,  $\Psi(x)$  — атрибути об'єкта  $x$ ,  $\Omega(x)$  — критерії об'єкта  $x$ ,  $F_\Psi$  — перетворення інтерпретації атрибутів. У загальному випадку в ході інтерпретації чисельні значення атрибутів зберігають свій зміст ( $\Psi_N \rightarrow \Omega_N$ ), тоді як текстові — переводяться у певну числову шкалу на основі експертного оцінювання ( $\Psi_T \xrightarrow{R_p} \Omega_T$ ).

Отже, математична модель задачі ранжування задається як сукупність альтернатив та критеріїв. Задача ранжування альтернатив на основі цієї моделі полягає у визначенні певного лінійного порядку між альтернативами  $a_{ij}$ .

$$M_i = \langle A_i, \Omega(A_i) \rangle \quad (5)$$

Як уже було сказано, найбільш поширеним підходом до ранжування є визначення переваг одної альтернативи над іншою на основі обчислення значень певного узагальненого показника. Цей показник виступає як глобальний пріоритет — найкращою вважається альтернатива з найвищим значенням цього показника.

$$xGy \Leftrightarrow G_{ra}(x) \geq G_{ra}(y), \quad x, y \in A \quad (6),$$

де  $G$  — рефлексивне, антисиметричне і транзитивне бінарне відношення, визначене для множини  $A$ ;  $G_{ra}(x)$  — узагальнений показник (глобальний пріоритет).

*Метод розв'язання задачі ранжування альтернатив*

Перший етап розв'язання задачі — це визначення ваг для кожного з критеріїв, що входять до складу моделі. Для коректної роботи більшості методів ранжування ці ваги мають бути про-

нормовані ( $\sum_i \xi'_i = 1$ ) за допомогою формули.

$$\xi'_i = \frac{\xi_i}{\sum_j \xi_j} \quad (7),$$

де  $\xi'_i$  та  $\xi_i$  — нормоване і ненормоване значення важливості  $i$ -го критерію відповідно.

Другий етап розв'язання задачі полягає в нормуванні критеріальних значень, із приведенням до спільної шкали. Найпростішою і найбільш застосованою є лінійна нормалізація:

$$f_i(x) = q_{min} + (q_{max} - q_{min}) \left( \frac{\omega_i(x) - \omega_i^{min}}{\omega_i^{max} - \omega_i^{min}} \right) \quad (8),$$

де  $\omega_j^{min}, \omega_j^{max}$  — максимальне і мінімальне значення критерію  $\omega_i(x)$  на множині об'єктів  $A$  в межах моделі  $M$ ,  $q_{min}, q_{max}$  — мінімальне і максимальне значення нової шкали, єдиної для усіх показників.

Далі на основі значень критеріїв і нормалізованих ваг (6) визначається шуканий порядок. Більшість стандартних методів ранжування для кожної з альтернатив виконують обчислення певного узагальненого значення:

$$G_{ra}(x) = G_{ra}(f_1(x), \dots, f_m(x), \omega_1, \dots, \omega_m) \quad (9),$$

де  $\omega_i$  і  $\xi'_i$  — відповідно значення  $i$ -критерію та його нормалізована вагомність.

На практиці показник може бути обчислений із застосуванням будь-якого класичного методу

ранжування альтернатив або за допомогою комбінації результатів кількох методів. Для використання комбінованого способу потрібно попередньо до пулу альтернатив додати штучну ідеальну альтернативу, спосіб утворення якої визначено в методі TOPSIS [16]. Комбінацію результатів застосування різних методів пропонується робити так:

$$r'_i = \sum_j \frac{r_{ij}}{k \cdot \sum_{j=1}^k r_{ij}},$$

де  $r_{ij}$  — рейтинг  $i$ -ї альтернативи по  $j$ -му методу,  $k$  — кількість методів,  $r'_i$  — зважене нормоване рейтингове значення. Далі остаточне рейтингове значення кожної альтернативи можна встановити, визначивши відношенням до штучної ідеальної альтернативи:

$$r''_i = \frac{r'_i}{r'_{\max}},$$

де  $r''_i$  — рейтингове значення на основі комбінації різних методів,  $r'_i$  та  $r'_{\max}$  — нормований рейтинг  $i$ -ї та штучної ідеальної альтернативи.

#### Конкурентна нормалізація

Як уже було сказано вище, нормалізація значень критеріїв є важливим етапом розв'язання задачі ранжування. Коректно вибраний алгоритм нормалізації дає змогу усунути низку проблем, що можуть бути присутніми у вхідних даних, зокрема дещо зменшити вплив суб'єктивності експертів ПГ (наприклад, членів журі конкурсів МАН). Запропонований метод конкурентної нормалізації дає змогу визначити ступінь переваги певної альтернативи (наприклад, конкурсанта) відносно конкурентів.

Розглянемо критерій, що задається своїми початковими значеннями (балами)  $\{b_i\}$  для деяких об'єктів на основі їх конкурентної переваги між собою:

$$b_1 \leq b_2 \leq \dots \leq b_n \leq b_{ideal} \leq b_{\max} \quad (10),$$

де  $b_i$  — бал  $i$ -го об'єкта,  $b_{\max}$  — максимум первинної шкали,  $b_{ideal}$  — ефективне максимальне теоретично можливе значення за цим показником. Значення  $b_{ideal}$  відображає потенційну здатність альтернативи отримати оцінку за цим

критерієм. Воно визначається або напряму з допомогою експертної оцінки, або за певним заданим експертом алгоритмом на основі оцінок наявних альтернатив. Так, це значення може збігатися з максимумом шкали значень критерію, може збігатися з максимальним його значенням серед наявних об'єктів або перебувати між ними.

Суть методу полягає в оцінці ступеня переваги відносно конкурентів за допомогою вимірювання роботи, яка була виконана для досягнення певного результату. Зрозуміло, що досягнення більш високих значень показника потребує виконання більшої кількості роботи (компетенції, зусиль та ресурсів), яка, своєю чергою, не має лінійної залежності. Початково виконана робота оцінюється і конвертується в певний результат, тому необхідно розробити обернене перетворення. Геометричну інтерпретацію перетворення, яке дає змогу відтворити ступінь докладених зусиль та складність отримання певного результату, наведено на рис. 1.

$$Y(b_i) = \begin{cases} 0, & i = 1 \\ Y(b_{i-1}) + (b_i - b_{i-1}) \cdot \operatorname{tg}(i\alpha), & i > 1 \end{cases}$$

де  $b_i$  — бал  $i$ -го об'єкта,  $Y(b_i)$  — складність отримання відповідного бала,  $\alpha$  — кут, який визначає ступінь зростання складності.

Пророблена робота для досягнення певного результату відповідає довжині ламаної від початку координат.

$$P_i = \begin{cases} b_i, & i = 1 \\ P_i = P_{i-1} + \frac{(b_i - b_{i-1})}{\cos((i-1)\alpha)}, & i = \overline{2, n+1}, i > 1 \end{cases}$$

де  $b_i$  — бал  $i$ -го об'єкта,  $P_i$  — пророблена «робота» для отримання відповідного бала,  $\alpha$  — кут складності.

Далі ступінь досягнення вимірюється як відношення роботи об'єктів до певного потенційно можливого ідеального значення:

$$B_i = \frac{P_i}{P_{n+1}},$$

де  $B_i$  — ступінь домінування (досягнення),  $P_i, P_{n+1}$  — виконана «робота»  $i$ -го та ідеально-го об'єкта.

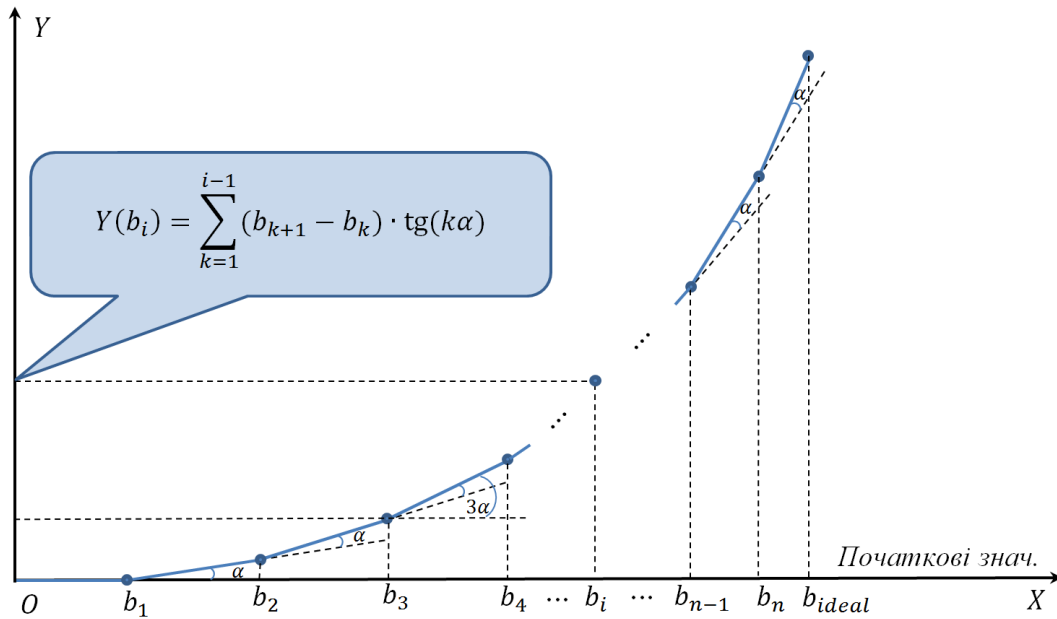


Рис. 1. Геометрична інтерпретація процедури конкурентного нормування [17]

Для коректного порівняння різних критеріїв введемо умову нормалізації, згідно з якою середнє значення  $B_i$  за цими критеріями має бути однаковим і дорівнювати середині фактичної шкали, на якій визначені значення критерію. Це дасть змогу сформулювати рівняння для знаходження кута  $\alpha$ . Розглянемо певну умовну функцію середнього значення ступеня домінування на інтервалі  $\left[0; \frac{\pi}{2(n+1)}\right)$ .

$$Z(\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{P_{n+1}}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{nP_{n+1}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{k=1}^i (b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)}{n \left( \frac{\sum_{k=1}^{n+1} (b_k - b_{k-1})}{\cos((k-1)\alpha)} \right)} \quad (11)$$

Задля простоти припустимо, що шкала нормалізована за допомогою формули на інтервал  $[0; 1]$  і середнє значення шкали дорівнює, відповідно, 0.5. Отже, ми отримаємо рівняння  $Z(\alpha) = 0.5$ .

Функція  $Z(\alpha)$  є монотонно спадною. Проведені дослідження засвідчили, що за умови  $\frac{b_{avg}}{b_{ideal}} \geq 0.5$  функція  $U(\alpha) = Z(\alpha) - 0.5$  приймає на кінцях інтервалу різні знаки, що дає змогу розв'язувати рівняння  $U(\alpha) = 0$  методом дихотомії. Отриманий у результаті кут  $\alpha$  може бути використаний для розрахунку значень  $B_i$  — ступеня домінування одних об'єктів над іншими.

*Врахування порогових значень при інтерпретації результатів конкурсу*

Додатково, аналізуючи методики оцінювання учнів під час конкурсів-захистів, ми виявили, що в межах інтелектуального змагання дітей можна умовно поділити на дві групи — призери і просто учасники. Призерами вважались учні, результат яких був вищим за середній рівень у межах секції.



Відповідно, для коректного відображення цієї особливості в загальних рейтингових балах було запроваджено додаткову нормалізацію показника домінації об'єктів.

Для цього було введено додатковий штрафний коефіцієнт, який значно зменшує вагомість балів, що не досягли порогового значення в межах секції.

$$v_i = \begin{cases} \rho B_i, & B_i \leq 0.5; \\ (\rho - 1) \cdot 0.5 + B_i, & B_i > 0.5 \end{cases} \quad (12),$$

де  $B_i$  — бал домінації одних об'єктів над іншими,  $\rho$  — коефіцієнт цінності низьких балів,  $v_i$  — рівень досягнення, в якому забезпечено кардинальну узгодженість стосовно середнього бала. Зазначимо, що коефіцієнт  $\rho$  перебуває в межах від 0 до 1. Максимальне значення коефіцієнта забезпечує найбільшу цінність балів у об'єктів з низькими здобутками. Своєю чергою, при мінімальному значенні оцінюються тільки ті об'єкти, що мають рівень вищий за середній.

Коефіцієнт  $\rho$  визначається експертним шляхом для кожного випадку індивідуально, зокрема він може бути визначений на основі статистичного аналізу. Основне завдання при його визначенні полягає в тому, щоб забезпечити чисельну узгодженість відношення об'єктів з найбільш високими значеннями домінації до середнього значення.

Для конкурсу-захисту МАН було прийнято рішення, що усереднене рейтингове значення переможців має переважати середній рівень у три рази. Таке співвідношення на базі статистичних досліджень дало змогу обчислити відповідне значення коефіцієнта ( $\rho = 1/3.99$ ). Оскільки в цьому конкурсі кількість призерів становить половину від учасників, то медіана розподілу потрапляє на найгіршого призера (або учня, якому трішки не вистачило до нагороди), і в загальному випадку вона близька до середнього значення. Тому можна стверджувати, що для цього конкурсу перемога в певній секції спільномірна з трьома аналогічними здобутками III місця.

Обрахунок остаточних рейтингових балів із приведенням у потрібну числову шкалу можна здійснити за допомогою (8).

Специфіка роботи алгоритму проілюстрована на прикладі обчислення рейтингових балів учасників деяких секцій конкурсу-захисту МАН 2021 р. Рейтингування відбувалося

в межах інформаційно-аналітичної системи ТМІАС (Трансдисциплінарна мережецентрична інформаційно-аналітична система).

На рис. 2 зображено графіки, побудовані на основі зібраних за допомогою ТМІАС даних. Горизонтальні шкали кожного графіка відображають підсумкові порядкові номери кожного з учасників. Кожна пара графіків представляє один і той самий набір даних — лівий графік відображає вихідний набір даних (100-бальна шкала, що використовується МАН), тоді як правий — набір даних після нормалізації з допомогою запропонованого методу (1000-бальна шкала).

Наведемо деякі роз'яснення.

Секція «Екологія». Конкурсні бали учасників розміщені достатньо щільно у вузькому інтервалі [70,58; 92,31], переможець випередив другого призера лише на 1,08 бала. У підсумку рейтинговий бал переможця — всього 440, тому що конкуренти показали достатньо близький результат за оцінками журі.

Секція «Охорона довкілля та раціональне природокористування». Конкурсні бали учасників перебувають у широкому інтервалі [45,85; 96,4], переможець значною мірою випередив другого призера — на 5,05 балів. На 5,45 другий призер випередив третього. Є значна кількість конкурсантів, які показали невисокий результат. Більша частина переможців значною мірою випередила своїх конкурентів. У підсумку рейтинговий бал переможця — 890, і навіть у третього за результатами учасника підсумковий рейтинг 465 є вищим, ніж у переможця секції «Екологія», хоча конкурсний бал у нього нижчий: 85,9 проти 92,31.

Секція «Математичне моделювання». Конкурсні бали учасників перебувають у вузькому інтервалі [80,4; 100], але на відміну від секції «Екологія» переможець (з огляду на щільні результати конкурентів) значно випередив другого призера — на 3,4 бала. Крім того, він набрав максимально можливі 100 балів, тобто продемонстрував «ідеальний» результат. У підсумку рейтинговий бал переможця — 1000, у другого за результатами учасника підсумковий рейтинг — 397.

Секція «Прикладна математика». Конкурсні бали учасників перебувають у вузькому інтервалі [72,45; 91,65]. Переможець ще впевненіше порівняно з лідером секції «Математичне моделювання» випередив другого призера — на 7,05 проти 3,4 балів, але отриманий результат далекий від «ідеального». Тому в підсумку

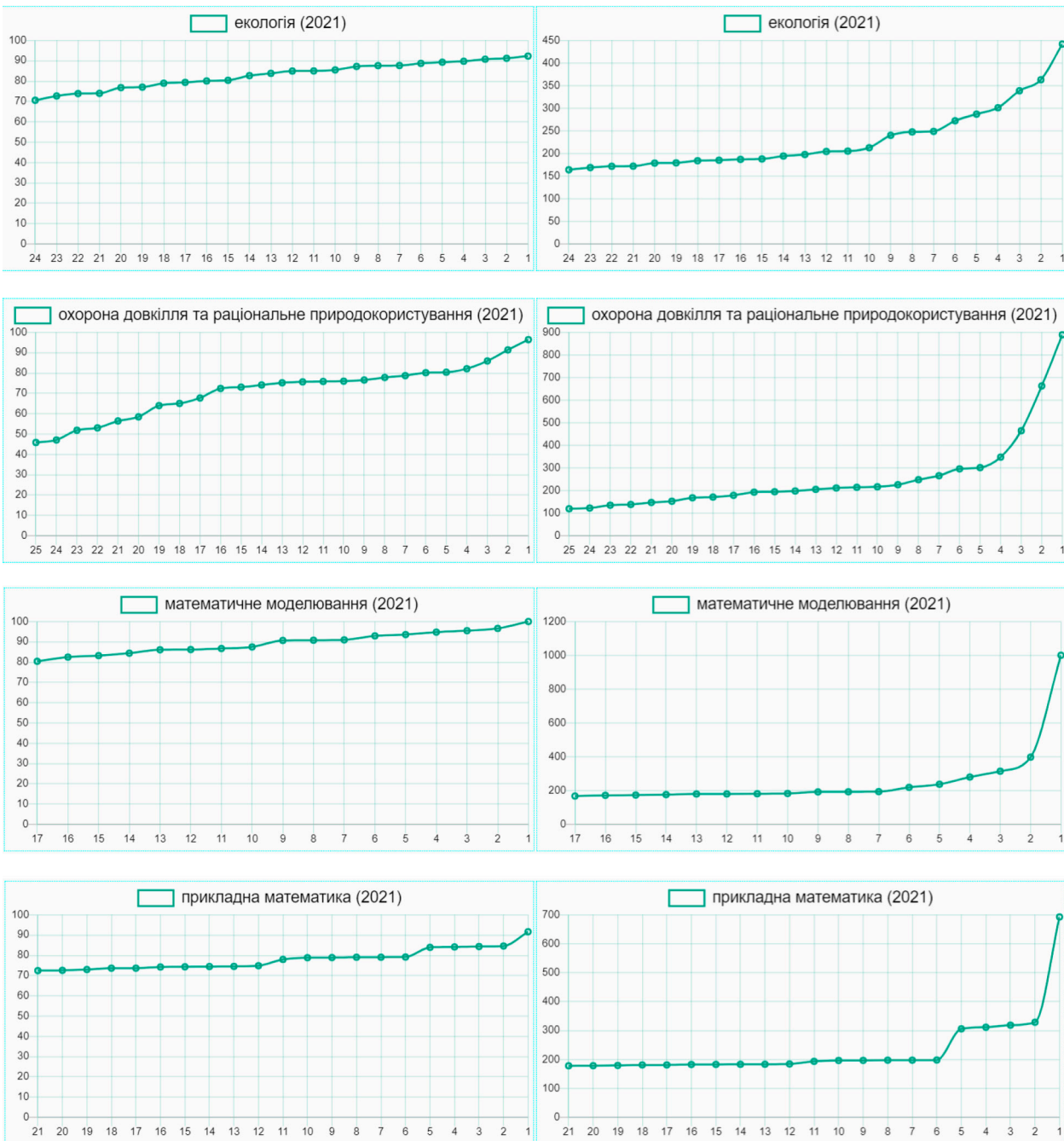


Рис. 2. Приклади роботи алгоритму конкурентної нормалізації

рейтинговий бал переможця 693 є значно вищим, ніж у конкурентів (від 178 до 329), проте не занадто високим за 1000-бальною шкалою.

**Висновки.** Розроблено алгоритм конкурентної нормалізації, який враховує не тільки власне оцінку конкретної альтернативи, а й ступінь її переваги над оцінками інших альтернатив. Алгоритм був застосований для аналізу результатів Всеукраїнського конкурсу-захисту

науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України, що дало можливість порівнювати між собою навчальні досягнення учасників різних наукових напрямів і секцій з урахуванням при цьому рівня складності змагання в межах конкретної секції. На основі алгоритму було розроблено програмний модуль, що став основною підсистемою ранжування ТМІАС.

**Список використаних джерел**

- Keeney R. L., Raiffa H. Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs. New York : Wiley, 1976. 569 p.
- Ishizaka A., Nemery P. Multi-criteria decision analysis: methods and software. Chichester : John Wiley & Sons, 2013. 312 p.
- Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Boston : Springer Science and Business Media, Inc., 2005. 1045 p.
- Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений. Москва : Логос, 2003. 392 с.
- Чернорутский И. Г. Методы принятия решений. СПб : БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
- Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения. Москва : Радио и связь, 1992. 504 с.
- Ногин В. Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2014. № 4. С. 73–82.
- Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений : учебное пособие. Москва : Издательский отдел ф-та ВМиК МГУ, МАКС Пресс, 2008. 197 с.
- Odu G. O., Charles-Owaba O. E. Review of Multi-criteria Optimization Methods — Theory and Applications. *Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 2013. № 10. Issue 3. Pp. 1–14.
- Opricovic S., Tzeng G. H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*. 2004. № 2. Issue 156. Pp. 445–455. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1.
- Baby S. AHP Modeling for Multicriteria Decision-Making and to Optimise Strategies for Protecting Coastal Landscape Resources. *International Journal of Innovation, Management and Technology*. 2013. № 2. Issue 4. Pp. 218–227.
- Yadav A., Anis M., Ali M., Tuladhar S. Analytical Hierarchy Process (AHP) for Analysis: Selection of Passenger Airlines for Gulf Country. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2015. № 3. Issue 6. Pp. 379–389.
- Project Management Software Selection Using Analytic Hierarchy Process Method. / Kutlu, B. and oth. *International Journal of Applied Science and Technology*. 2014. № 6. Issue 4. Pp. 113–119.
- Стрижак О. Є., Кучеров О. П. Формування операційного середовища інформаційно-аналітичних систем на основі онтологій. *Математичне моделювання в економіці*. 2013. Вип. 5. С. 40–47.
- Decision-making System Based on The Ontology of The Choice Problem / O. Stryzhak and oth. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. № 1. Issue 1828. Ser. 012007. DOI: 10.1088/1742-6596/1828/1/012007.
- Hwang C. L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making and Introduction. London : Sage Publication, 1995. 75 p.
- Горбурюков В. В., Стрижак О. Є., Франчук О. В., Шаповалов В. Б. Онтологічне представлення задачі ранжування альтернатив. *Математичне моделювання в економіці*. 2018. Вип. 1. № 4. С. 49–69.

**References**

- Keeney, R. L., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. New York : Wiley.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-criteria decision analysis: methods and software*. Chichester : John Wiley & Sons.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Boston : Springer Science and Business Media, Inc.
- Larichev, O. I. (2003). *Teoriya i metody prinyatiya resheniy [Theory and methods of decision making]*. Moscow : Logos [in Russian].
- Chernorutskiy, I. G. (2005). *Metody prinyatiya resheniy [Decision-making methods]*. SPb : BKhV-Peterburg [in Russian].
- Shtoyer, R. (1992). *Mnogokriterialnaya optimizatsiya. Teoriya, vychisleniya i prilozheniya [Multi-objective optimization. Theory, Computing, and applications]*. Moscow : Radio i svyaz [in Russian].
- Nogin, V. D. (2014). Lineynaya svertka kriteriyev v mnogokriterialnoy optimizatsii [Linear convolution of Criteria in Multi-Criteria Optimization]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy — Artificial intelligence and decision making*, 4, 73–82 [in Russian].
- Lotov, A. V., & Pospelova, I. I. (2008). *Mnogokriterialnyye zadachi prinyatiya resheniy [Multicriteria decision-making tasks]*. Moscow : Izdatelskiy otdel f-ta VMIK MGU, MAKS Press [in Russian].
- Odu, G. O., & Charles-Owaba, O. E. (2013). Review of Multi-criteria Optimization Methods — Theory and Applications. *Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 3 (10), 1–14.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156 (2), 445–455. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00020-1.
- Baby, S. (2013). AHP Modeling for Multicriteria Decision-Making and to Optimise Strategies for Protecting Coastal Landscape Resources. *International Journal of Innovation, Management and Technology*, 4 (2), 218–227.
- Yadav, A., Anis, M., Ali, M., & Tuladhar, S. (2015). Analytical Hierarchy Process (AHP) for Analysis: Selection of Passenger Airlines for Gulf Country. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6 (3), 379–389.
- Kutlu, B., Bozanta, A., Ates, E., Erdogan, S., & Gokay, O. K. N. (2014). Project Management Software Selection Using



- Analytic Hierarchy Process Method. *International Journal of Applied Science and Technology*, 4 (6), 113–119.
14. Stryzhak, O. Ye., & Kucherov, O. P. (2013). Formuvannya operatsiinoho seredovyscha informatsiino-analitychnykh system na osnovi ontolohii [Formation of the operational environment of information-analytical systems based on ontologies]. *Matematychni modeliuvannia v ekonomitsi — Mathematical modeling in economics*, 5, 40–47 [in Ukrainian].
15. Stryzhak, O. et al. (2021). Decision-making System Based on The Ontology of The Choice Problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1828 (1), 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1828/1/012007>
16. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1995). *Multiple Attribute Decision Making and Introduction*. London : Sage Publication.
17. Horborukov, V. V., Stryzhak, O. Ye., Franchuk, O. V., & Shapovalov, V. B. (2018). Ontolohichne predstavlennia zadachi ranzhuvannia alternatyv [Ontological representation of the problem of ranking alternatives]. *Matematychni modeliuvannia v ekonomitsi — Mathematical modeling in economics*, 1 (4), 49–69 [in Ukrainian].

V. V. Horborukov,  
V. V. Prykhodniuk,  
O. V. Franchuk

#### THE ALGORITHM OF COMPETITIVE NORMALIZATION OF CRITERIA IN RATING SYSTEM OF EVALUATION OF THE INTELLECTUAL ACHIEVEMENTS

**Abstract.** *In the study and analysis of most processes occurring in any field of human activity, there are applied problems that actually belong to the theory of decision making. The most common of these tasks is to build a ranking list of certain objects (subjects), from which you need to choose the best (worst) in terms of the total value of certain attributes that characterize these objects. The complexity of such tasks is that, as a rule, there are no cases when one or more objects have significant advantages over others in all indicators taken into account. That is why there is a need to apply existing methods of decision theory, as well as to develop algorithms that allow mathematical consideration of the specifics of specific practical problems. The article considers the problem of assessing the achievements of secondary schools in intellectual competitions conducted by the Junior Academy of Sciences of Ukraine and the Ministry of Education and Science, and describes the developed algorithm of competitive normalization of criteria for rating participants. This problem was formalized with the help of ontological methodology, which allowed to implement the algorithm for its solution in the mathematical software TNIAS (Transdisciplinary Network-Centric Information-Analytical System). The developed algorithm is based on the competitive nature of the process of establishing the degree of dominance of some alternatives over others, depending on the analysis of numerical characteristics, which were observed over a period of time. In the general case, the use of the algorithm is most successful in problems when the calculation of rating indicators of alternatives depends not on the absolute numerical values of some criteria, but on the number of alternatives that have close values and do not reach or exceed certain thresholds established by analysis subject area.*

**Keywords:** *ranking alternatives, rating, multiple-criteria decision analysis, domain ontology, taxonomy, information technology.*

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Горборуков Вячеслав Вікторович** — канд. техн. наук, науковий співробітник відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [slavon07@gmail.com](mailto:slavon07@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>

**Приходнюк Віталій Валерійович** — канд. техн. наук, завідувач відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [tangens91@gmail.com](mailto:tangens91@gmail.com); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>

**Франчук Олег Васильович** — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу створення та використання інтелектуальних мережних інструментів, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, [frnchk@i.ua](mailto:frnchk@i.ua); ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-4689>

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Horborukov V. V.** — PhD in Engineering, Researcher of the Department of Creation and Use of Intelligent Network Tools, the NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, slavon07@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>

**Prykhodniuk V. V.** — PhD in Engineering, Head of the Department of Creation and Use of Intelligent Network Tools, the NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, tangens91@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>

**Franchuk O. V.** — PhD in Engineering, Senior Researcher of the Department of Creation and Use of Intelligent Network Tools, the NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Ukraine, frnchk@i.ua; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1122-4689>

Стаття надійшла до редакції / Received 18.03.2022