

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 519.863

І.С. Романченко, М.М. Потьомкін

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

МЕТОД MOORA-ЯДРО ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Наведено метод MOORA та результати його аналізу. Показано, що цьому методу притаманні недоліки, усунення яких пов'язане з необхідністю його суттєвого його переопрацювання. Однак основна ідея щодо порівняння альтернатив за двома критеріями може бути покладена в основу нового методу – MOORA-ядро, призначеного для формування ядра, яке буде містити або одну найкращу альтернативу, або декілька непорівнянних альтернатив, найбільш перспективних для подальшого аналізу. Для нового методу наведені розрахункові залежності, а також правила порівняння альтернатив, які забезпечують формування ядра. Можливість практичного використання методу MOORA-ядро показана на декількох прикладах. Порівняння результатів розрахунків за відомими та новим методами свідчить, що використання методу MOORA-ядро в комбінації з іншими методами дозволяє підвищити обґрунтованість розроблених рекомендацій або визначити перспективні альтернативи, які залишились поза увагою інших методів. Це дозволяє зробити висновок, що використання запропонованого методу MOORA-ядро може бути достатньо перспективним під час багатокритеріальної оптимізації складних об'єктів.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація; метод MOORA; метод формування ядра.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді.

На теперішній час в ході проведення досліджень у військовій справі широко використовуються методи багатокритеріальної оптимізації, які ґрунтуються на порівнянні альтернатив. Такі методи застосовуються при дослідженні проблемних питань як в галузі будівництва Збройних Сил, так і військового мистецтва [1; 2].

Одним з підходів до багатокритеріального порівняння альтернатив є формування ядра, яке містить альтернативи, найбільш перспективні для подальшого аналізу [3]. Найбільш поширеним методом такого класу є парето-оптимізація, яка дозволяє виключити з вихідної множини ті альтернативи, які однозначно поступаються іншим. Однак метод Парето має обмежені спроможності аналізу внаслідок того, що під час порівняння альтернатив він оперує лише значеннями показників, якими характеризуються альтернативи, зокрема, без урахування їхньої важливості.

В результаті, в загальному випадку, залишається достатньо велика кількість альтернатив, які потребують подальшого аналізу.

Тому розвиток методичного апарату, зокрема, розроблення методів, які дозволяють отримати ядро з меншою кількістю альтернатив, є, на наш погляд, актуальним напрямком досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним з методів, який досить широко використовується для багатокритеріального аналізу альтернатив, є метод MOORA [4, 5], який передбачає аналіз альтернатив у два етапи: на першому етапі – за адитивною згорткою, а на другому – за відстанню до еталонної точки.

Відповідно до [4, 5], метод MOORA передбачає розв'язання задачі оптимізації у такій постановці.

Нехай є множина варіантів деякої системи, кожний з яких характеризується множиною кількісних показників. Окрім того, є множина вагових коефіцієнтів, елементи якої характеризують важливість кожного з показників, а також для кожного з них визначений критерій оптимізації (на максимум або мінімум).

За такими даними необхідно побудувати пріоритетний ряд наявних альтернативних варіантів відповідно до ступеня їх відносної переваги.

Вихідні дані для методу MOORA задаються матрицею

$$[E_{ij}], i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, R, \quad (1)$$

де N – кількість альтернатив, що підлягають порівнянню, R – кількість показників, за якими оцінюється кожна альтернатива,

а також вектором вагових коефіцієнтів показників $[w_j]$ ($j = 1, \dots, R$), при цьому повинна виконуватись умова

$$\sum_{j=1}^R w_j = 1. \quad (2)$$

На першому етапі методу MOORA здійснюють нормалізацію значень показників E_{ij} за такою формулою:

$$r_{ij} = E_{ij} / \sqrt{\sum_j E_{ij}^2}, \quad i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, R. \quad (3)$$

На другому етапі, використовуючи адитивну згортку, розраховують перший частковий показник переваги для кожної альтернативи за формулою:

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j r_{ij} - \sum_{j=g+1}^R w_j r_{ij}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (4)$$

g – кількість показників, які підлягають максимізації.

На третьому етапі будують пріоритетний ряд альтернатив за зменшенням y_i , при цьому більшому значенню y_i відповідає краща альтернатива.

На четвертому етапі визначають еталонну точку r_j^* , координати якої визначають як найкращі серед наявних значень кожного з показників.

На п'ятому етапі для кожної альтернативи визначають її відхилення від еталонної точки за кожним показником з використанням формули

$$\Delta_{ij} = |r_{ij} - r_j^*|, \quad i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, R. \quad (5)$$

На шостому етапі для кожної альтернативи визначають значення другого показника, за яким буде оцінюватись її перевага. Цей показник являє собою максимальне відхилення альтернативи від еталонної точки серед усіх показників за формулою

$$\Delta_i^{\max} = \max_j \Delta_{ij}, \quad i = 1, \dots, N. \quad (6)$$

На сьомому етапі будують пріоритетний ряд альтернатив за збільшенням Δ_i^{\max} , при цьому краща альтернатива відповідає меншому значенню.

Таким чином, після виконання сьомого етапу будуть побудовані два пріоритетних ряди (за y_i та за Δ_i^{\max}), тому на останньому, восьмому, етапі здійснюють порівняння пріоритетів альтернатив у обох рядах та визначають найкращі альтернативи.

Відповідно до [4, 5], використання в межах одного методу комбінації декількох підходів до багатокритеріальної оптимізації сприяє підвищенню обґрунтованості рекомендацій, які подаються на розгляд особі, яка приймає рішення (ОПР).

Водночас необхідно зазначити, що цей метод містить і деякі недоліки, які можуть бути передумовою обмеженості його практичного використання.

У першу чергу це стосується відсутності обґрунтування використовуваної нормалізації натуральних значень показників за формулою (3) та про-

BLEMність надати змістовної інтерпретації отримуваним за нею значенням. Зрозуміло, що використання інших підходів до нормалізації, зокрема, наведених у [2], може призвести і до інших результатів ранжування альтернатив у пріоритетних рядах, а значить і до інших рекомендацій, що подаються на розгляд ОПР.

Проблемним аспектом є також відсутність у межах цього методу формальних механізмів поєднання отримуваних пріоритетних рядів для визначення найкращих альтернатив, а також підходів до усунення неузгодженостей пріоритетів альтернатив у них.

Усунення цих недоліків потребує суттєвого переопрацювання методу MOORA, однак виходячи з його базової ідеї щодо використання під час порівняння альтернатив двох показників (y_i та Δ_i^{\max}) та підходів до такого порівняння з [6], можна розробити новий метод, який буде спрямований не на ранжування альтернатив, а на зменшення їх вихідної кількості, тобто на формування ядра, що містить найбільш перспективними для подальшого аналізу альтернативи.

Мета статті. На основі викладеного було поставлене таке завдання досліджень: розробити новий метод MOORA-ядро, призначений для формування ядра – множини перспективних для аналізу альтернатив, та перевірити можливість його практичного використання на тестових прикладах.

Викладення основного матеріалу

У першу чергу уточнимо постановку задачі багатокритеріального аналізу альтернатив, для розв'язання якої буде призначений розроблюваний метод.

Нехай є вихідна множина альтернатив, кожна з яких характеризується деякою множиною показників, при цьому окремі показники зведені в матрицю (1).

Окрім того, є множина вагових коефіцієнтів, елементи якої характеризують важливість кожного з показників та відповідають умові (2), а також для кожного показника визначений критерій його оптимізації (на максимум або мінімум).

За такими даними необхідно сформулювати ядро альтернатив, перспективних для подальшого розгляду, причому альтернативи, які увійдуть до ядра, порівняно з іншими, повинні мати найбільше значення адитивної згортки та найменше відхилення еталонної точки за значенням найгіршого показника.

У основу розроблюваного методу покладемо деякі розрахункові залежності методу MOORA, парне порівняння альтернатив та підходи до такого порівняння з [6].

На першому етапі методу MOORA-ядро здійснюють нормалізацію значень показників E_{ij} , виходячи з таких міркувань. Основним завданням етапу нормалізації вихідних значень показників є їх приведення до сумірності. Однак при цьому повинна розглядатись не лише сумірність за діапазоном змінування значень показників, але й сумірність за одиницями вимірювання. Формула (3), яка використовується в методі MOORA, відповідає лише першій вимозі стосовно інтервалу змінюваності. Для забезпечення обох вимог доцільно скористатись нормалізацією на основі функцій корисності [7] або функцій бажаності [8].

Як приклад, розглянемо лінійну функцію корисності, в якій для ОПР корисність наявних значень деякого показника змінюється в інтервалі $[0,1, 1]$. Такий підхід вбачається достатньо обґрунтованим, адже альтернативи, для яких значення показників характеризуються нульовою корисністю, повинні бути вилучені з розгляду ще до проведення багатокритеріального аналізу. Тоді на першому етапі нормалізацію значень показників будемо здійснювати не за формулою (3), а за такими формулами:

для показників, які потребують максимізації, за формулою:

$$r_{ij} = 0,1 + 0,9 \cdot \frac{E_{ij} - \min_{i=1}^N(E_{ij})}{\max_{i=1}^N(E_{ij}) - \min_{i=1}^N(E_{ij})}, \quad (7)$$

для показників, які потребують мінімізації, за формулою:

$$r_{ij} = 0,1 + 0,9 \cdot \frac{\max_{i=1}^N(E_{ij}) - E_{ij}}{\max_{i=1}^N(E_{ij}) - \min_{i=1}^N(E_{ij})}. \quad (8)$$

Після нормалізації даних з матриці (1) за формулами (7) та (8) усі показники потребуватимуть максимізації.

Таким чином, після завершення першого етапу всі показники будуть сумірними та вимірюватись через корисність (бажаність) для ОПР їх наявних значень.

На другому етапі, використовуючи адитивну згортку, за формулою (4) розраховують рівень корисності (бажаності) кожної альтернативи для ОПР.

На третьому етапі визначають еталонну точку r_j^* , координати якої визначають як найкращі серед наявних значень кожного з показників.

На четвертому етапі для кожної альтернативи визначають її відхилення від еталонної точки за кожним показником з використанням формули (5).

На п'ятому етапі для кожної альтернативи визначають максимальне відхилення альтернативи від еталонної точки серед усіх показників за формулою (6).

Таким чином, після виконання п'ятого етапу кожна альтернатива може бути охарактеризована двома показниками: u_i та Δ_i^{\max} . При цьому зрозуміло, що найкраща альтернатива повинна мати найбільше значення адитивної згортки та найменше значення відхилення від еталонної точки за найгіршим показником.

Тому на шостому етапі здійснюють парне порівняння альтернатив, використовуючи правила, наведені в табл. 1.

При цьому альтернативи, які визнані гіршими, одразу виключаються з розгляду, тобто участі в подальшому порівнянні не беруть.

Таблиця 1

Правила, за якими приймається рішення щодо віднесення відповідної альтернативи до ядра

Умови	Результати порівняння	Належність до ядра
$U_A > U_B,$ $\Delta_A^{\max} > \Delta_B^{\max}$	А краща А гірша	А, В
$U_A > U_B,$ $\Delta_A^{\max} = \Delta_B^{\max}$	А краща А, В однакові	А
$U_A > U_B,$ $\Delta_A^{\max} < \Delta_B^{\max}$	А краща А краща	А
$U_A = U_B,$ $\Delta_A^{\max} > \Delta_B^{\max}$	А, В однакові А гірша	В
$U_A = U_B,$ $\Delta_A^{\max} = \Delta_B^{\max}$	А, В однакові А, В однакові	А, В
$U_A = U_B,$ $\Delta_A^{\max} < \Delta_B^{\max}$	А, В однакові А краща	А
$U_A < U_B,$ $\Delta_A^{\max} > \Delta_B^{\max}$	А гірша А гірша	В
$U_A < U_B,$ $\Delta_A^{\max} = \Delta_B^{\max}$	А гірша А, В однакові	В
$U_A < U_B,$ $\Delta_A^{\max} < \Delta_B^{\max}$	А гірша А краща	А, В

Після розгляду всіх пар альтернатив буде сформоване ядро, яке буде містити або одну (найкращу) альтернативу, або декілька непорівнянних альтернатив.

Для оцінювання можливості практичного використання розробленого методу MOORA-ядро розглянемо декілька прикладів.

Першим розглянемо приклад з [2], який передбачає вибір раціонального складу механізованої бригади за шістьма показниками (E_1 – E_6) за однако-

вої їх важливості, при цьому показники E_1 – E_3 потребують максимізації, а решта – мінімізації.

Необхідно зазначити, що, відповідно до [2], для цього прикладу варіант № 3 є найкращим за методом таксономії, а варіант № 5 – за адитивною згортокою.

Значення показників, нормалізовані за формулами (7) та (8), наведені в табл. 2.

Характеристики альтернатив y_i та Δ_i^{\max} , розраховані за формулами (4) та (6) відповідно, наведені в табл. 3.

Таблиця 2
Нормалізовані вихідні дані

№ i	Нормалізовані вихідні дані					
	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
1	0,74	0,85	0,20	0,72	0,40	0,90
2	0,36	1,00	0,50	0,86	0,55	0,20
3	0,61	0,55	0,70	0,58	0,78	0,70
4	0,49	0,40	0,11	0,43	0,25	0,60
5	1,00	0,10	0,60	1,00	0,85	1,00
6	0,36	0,70	0,50	0,72	0,70	0,30
7	0,10	0,85	0,40	0,86	0,33	0,80
8	0,74	0,55	1,00	0,43	0,17	0,70
9	0,10	0,40	0,70	0,58	0,10	0,10
10	0,49	0,85	0,90	0,10	1,00	0,50

Таблиця 3
Результати розрахунків показників y_i та Δ_i^{\max}

№ i	y_i	Δ_i^{\max}
1	0,636	0,133
2	0,578	0,133
3	0,653	0,075
4	0,378	0,150
5	0,759	0,150
6	0,546	0,117
7	0,556	0,150
8	0,600	0,138
9	0,329	0,150
10	0,639	0,150

Парне порівняння альтернатив показало, що ядро містить дві альтернативи: № 3 та № 5, тобто за обраними критеріями вони є непорівнянними.

Дійсно, альтернатива № 3 за максимальною відстанню до найкращої точки переважає альтернативу № 5, однак за адитивною згортокою вона є гіршою за альтернативу № 5, що, власне, і пояснює

результати з [2] щодо визнання цих альтернатив кращими за різними методами.

Відповідно, ні одну з них не можна виключити з подальшого розгляду.

Таким чином, порівнюючи результати розрахунків за розробленим методом з відомими можна зробити висновок, що вони достатньо збіглися, що свідчить на користь запропонованого методу MOORA-ядро.

Другим розглянемо приклад з [9], який стосується вибору варіанта аеродрому, що оцінюється за трьома показниками: вартістю (E_1), часом, який необхідно витратити, щоб до нього дістатись (E_2), а також кількістю людей, на життєдіяльність яких будуть впливати його будівництво та експлуатація (E_3).

Зазначимо, що важливість показників становить:

$$w_1 = 3, w_2 = 2, w_3 = 1$$

і всі вони потребують мінімізації.

У [9] показано, що найкращим варіантом за методом ELECTRE I є альтернатива № 2. Вихідні дані для цього прикладу, а також характеристики альтернатив наведені в табл. 4.

Таблиця 4
Вихідні дані та характеристики альтернатив

№ i	Вихідні дані			Характеристики	
	E_1	E_2	E_3	y_i	Δ_i^{\max}
1	180	70	10	0,250	0,450
2	170	40	15	0,650	0,300
3	160	55	20	0,600	0,150
4	150	50	25	0,750	0,150

Аналіз даних, наведених у табл. 4, свідчить, що до ядра увійшла лише одна альтернатива № 4, тобто результати, отримані за методами ELECTRE I та MOORA-ядро, є суперечливими і для прийняття остаточного рішення щодо переліку альтернатив, які необхідно подавати на розгляд ОПР, необхідно провести додаткові дослідження з використанням інших методів багатокритеріальної оптимізації.

Однак отримані дані свідчать на користь альтернативи № 4, адже вона порівняно з альтернативою № 2 є кращою як за значенням адитивної згортки, так і за відстанню до еталонної точки за найгіршим показником.

Висновки

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений метод MOORA-ядро дозволяє змен-

шити вихідну множину альтернатив шляхом формування ядра, яке містить альтернативи, найбільш перспективні для подальшого аналізу.

На конкретних прикладах показано, що його використання в комбінації з іншими методами багатокритеріальної оптимізації дозволяє підвищити обґрунтованість розроблених рекомендацій або визначити перспективні альтернативи, які залишились поза увагою інших методів.

Подальший розвиток проведених досліджень вбачається в програмній реалізації запропонованого методу та перевірці ефективності його практичного використання на достатньому обсязі тестових даних.

Список літератури

1. Романченко, І.С. Використання таксономічних методів при проведенні досліджень у військовій справі / І.С. Романченко, О.М. Загорка // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – К.: ЦНДІ ЗС України, 2007. – № 3 (41). – С. 5–16.
2. Загорка, О.М. Елементи дослідження складних систем військового призначення / О.М. Загорка, С.П. Мосов, А.І. Сбитнев, П.І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.
3. Корнеевко В.П. Методы оптимизации: учебник / В.П. Корнеевко. – М.: Высш. шк., 2007. – 664 с.

4. Brauers, W.K. Robustness of the multi-objective moora method with a test for the facilities sector / W.K. Brauers, E.K. Zavadskas // *Technological and Economic Development of Economy*. – 2009. – № 15 (2). – P. 352–375.

5. Baležentis, A. Multimoora-FG: a multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection / A. Baležentis, T. Baležentis, W.K.M. Brauers // *Informatica*. – 2012. – Vol. 23. – № 2. – P. 173–190.

6. Потьомкін, М.М. Методика визначення раціонального складу складної системи військового призначення на основі модифікованого методу ELECTRE / М.М. Потьомкін // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2008. – № 3 (45). – С. 62–68.

7. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

8. Новик, Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов. – М.: Машиностроение; 1980. – 304 с.

9. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

Надійшла до редколегії 23.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОД MOORA-ЯДРО И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ

І.С. Романченко, М.М. Потьомкін

Приведен метод MOORA и результаты его анализа. Показано, что этому методу присущи недостатки, устранение которых связано с необходимостью его существенной переработки. Однако основная идея о сравнении альтернатив по двум критериям может быть положена в основу нового метода – MOORA-ядро, который будет предназначен для формирования ядра, которое будет содержать или одну наилучшую альтернативу, или несколько несравнимых альтернатив, наиболее перспективных для дальнейшего анализа. Для нового метода приведены расчетные зависимости, а также правила сравнения альтернатив, которые обеспечивают формирование ядра. Возможность практического использования предложенного метода MOORA-ядро продемонстрирована на расчетных примерах. Сравнение результатов расчетов, полученных с использованием известных и нового методов, свидетельствует о том, что использование метода MOORA-ядро в комбинации с другими методами позволяет повысить обоснованность разрабатываемых рекомендаций или найти перспективные альтернативы, которые не были выявлены другими методами. Эти результаты позволяют сделать вывод, что использование предложенного метода MOORA-ядро может быть достаточно перспективным для многокритериальной оптимизации сложных объектов.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация; метод MOORA; метод формирования ядра.

MOORA-KERNEL METHOD AND ITS USING TO MAKE A MULTIPLE CRITERIA ALTERNATIVES COMPARISON

I.S. Romanchenko, M.M. Potyemkin

MOORA method and the results of its analysis are given. It is shown that the method has some shortcomings which elimination is connected with the necessity of its essential rehash. However its basic idea about comparison of alternatives by two criteria may be used to create a new outranking method – the MOORA-kernel method which will be intended for formation of a core which will contain or one best alternative, or some incomparable alternatives, which are the most perspective for the further analysis. For a new method settlement dependences, and also rules of comparison of alternatives which provide core formation are given. Possibility of practical use of the offered MOORA-kernel method is demonstrated on settlement instances. Comparison of results of the calculations gained by using known and new methods, testifies that use of the MOORA-kernel in a combination with other methods allows to raise validity of developed recommendations or to find perspective alternatives which have not been revealed by other methods. These results allow to draw a conclusion that use of the offered MOORA-kernel method can be perspective enough for multiple criteria optimization of difficult installations.

Keywords: multiple criteria optimization; method MOORA; method for kernel forming.