

*Ігор Сергійович Романченко* (доктор військових наук, професор)

*Михайло Михайлович Потьомкін* (доктор технічних наук, с.н.с.)

*Олег Петрович Кравець* (кандидат військових наук, с.н.с.)

*Григорій Андрійович Саковський* (кандидат військових наук, с.н.с.)

*Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ, Україна*

## КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД РАНЖУВАННЯ ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Наведено опис трикритеріального методу ранжування, призначеного для формування пріоритетного ряду альтернатив, та результати його аналізу. При цьому зазначено, що під час розроблення рекомендацій для особи, яка приймає рішення, необхідно не лише визначити найбільш перспективні альтернативи, а й надати обґрунтовані пояснення отриманих результатів, що потребує додаткового аналізу результатів розрахунків. Для зменшення обсягів такого аналізу запропоновано новий метод багатокритеріального порівняння, який передбачає використання декількох комбінацій критеріїв порівняння. При цьому використовуються три однокритеріальні, три двокритеріальні та одне трикритеріальне порівняння. Для цього нового методу наведені формульні залежності, а також надано поетапний опис порядку проведення розрахунків. Можливість практичного застосування запропонованого методу показана на розрахунковому прикладі, для якого у літературних джерелах представлені результати, отримані за відомими багатокритеріальними методами. Порівняння результатів розрахунків за відомими та новим методами свідчить про те, що використання запропонованого методу дає можливість підвищити обґрунтованість розроблених рекомендацій за рахунок підвищення повноти порівняння альтернатив. Це дозволяє зробити висновок, що використання розробленого комплексного методу ранжування може бути достатньо перспективним під час багатокритеріальної оптимізації складних об'єктів.

**Ключові слова:** адитивна згортка; багатокритеріальне ранжування; метод трикритеріального ранжування; метод MOORA; метод VIKOR.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Нині під час дослідження проблемних питань як у галузі будівництва збройних сил, так і воєнного мистецтва широко використовуються багатокритеріальні методи, які ґрунтуються на порівнянні альтернатив [1, 2], наприклад, під час формування програм розвитку Збройних Сил, а також визначення раціонального складу угруповань військ (сил). При цьому ці методи повинні забезпечувати обґрунтованість отримуваних результатів.

Тому розроблення методів, які дозволяють підвищити обґрунтованість порівняння альтернатив, є, на наш погляд, актуальним напрямом досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однією з достатньо поширених задач багатокритеріального порівняння альтернатив є побудова їх пріоритетного ряду, для чого зазвичай розв'язується задача оптимізації у такій постановці.

Нехай є множина альтернативних варіантів деякої системи, кожний з яких характеризується множиною показників. Значення показників задані матрицею  $[E_{ij}]$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $j = 1, 2, \dots, m$ , де  $n$  – кількість альтернатив;  $m$  – кількість показників). Окрім того, є множина коефіцієнтів важливості показників ( $w_j, j = 1, 2, \dots, m$ ), а також для кожного показника визначений критерій оптимізації (на максимум або мінімум).

За такими даними необхідно побудувати пріоритетний ряд наявних альтернатив.

У статті [3] наведено метод трикритеріального ранжування, який призначений для розв'язання такої задачі. Послідовність розрахунків за цим методом складається з таких етапів.

На першому етапі здійснюють підготовку вихідних даних, тобто визначають значення показників  $E_{ij}$ , які характеризують кожну альтернативу, а також значення коефіцієнтів важливості  $w_j$ .

На другому етапі здійснюють лінійне нормування вихідних значень показників у інтервал  $[0; 1]$  із забезпеченням перетворення показників, що потребують мінімізації у такі, що потребують максимізації.

На третьому етапі для врахування важливості показників нормалізовані дані масштабують за формулою:

$$g_{ij} = w_j e_{ij}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m. \quad (1)$$

На четвертому етапі для кожного показника за масштабованими даними визначають його найкраще  $e_j^+$  значення, яке приймається за найкращий еталон. Значення найгіршого еталону за обраного виду нормування дорівнює нулю.

На п'ятому етапі для кожної  $i$ -ї альтернативи розраховують значення показника  $S_i$ , який

характеризує її наближеність до найкращої точки, за формулою:

$$S_i = \sum_{j=1}^m |(e_j^+ - r_{ij})|, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

На шостому етапі для кожної  $i$ -ї альтернативи розраховують значення показника  $R_i$ , який характеризує її максимальну віддаленість від найкращої точки за показником з найбільшою віддаленістю, за формулою:

$$R_i = \max_j [(e_j^+ - r_{ij})], \quad i = 1, \dots, n. \quad (3)$$

На сьомому етапі для кожної альтернативи визначають значення адитивної згортки

$$A_i = \sum_{j=1}^m r_{ij}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

На восьмому етапі для кожної альтернативи розраховують узагальнений показник переваги

$$Q_i = (S_i + R_i) / A_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (5)$$

Виходячи з того, що найкраща альтернатива повинна бути максимально наближена до найкращої точки та максимально віддалена від найгіршої, тобто мати найменші значення  $S_i$  і  $R_i$  та найбільше значення  $A_i$ , на заключному (дев'ятому) етапі впорядковують альтернативи за збільшенням  $Q_i$ . При цьому найкращою буде перша альтернатива в отриманому пріоритетному ряду.

Необхідно зазначити, що розглянутий метод забезпечує ранжування альтернатив за узагальненим показником переваги, який, базуючись на часткових показниках, характеризує деякий компроміс щодо віддаленості альтернатив від найкращого та найгіршого еталонів.

Однак, як відомо, остаточне прийняття рішення щодо визначення раціональної альтернативи залишається за особою, яка приймає рішення (ОПР), а результати ранжування є лише деякими рекомендаціями для неї.

При цьому рекомендації, які подаються на розгляд ОПР, повинні достатньо повно характеризувати альтернативи з урахуванням особливостей кожної з них. Тобто подати на розгляд ОПР необхідно не лише отриманий пріоритетний ряд, а й докладний опис суттєвих відмінностей між альтернативами.

Використання розглянутого методу забезпечує лише формальну констатацію факту переваги однієї альтернативи над іншою, а виявлення їх окремих особливостей потребує додаткового аналізу вихідних даних та результатів розрахунків, що може потребувати значного обсягу працевитрат.

Водночас, аналіз розглянутого методу свідчить про те, що виявити відмінності між альтернативами можна шляхом розгляду окремих часткових показників, а також їх комбінацій. Цей підхід фактично передбачає розроблення нового – комплексного – методу, який буде базуватись на розглянутому.

**Метою статті** є розробити новий комплексний метод ранжування та перевірити можливість його практичного використання на тестовому прикладі.

## Виклад основного матеріалу

### дослідження

Як було зазначено вище, особливості окремих альтернатив можуть бути виявлені шляхом їх порівняння з використанням окремих часткових показників або їх комбінацій.

Для забезпечення можливості практичної реалізації таких комбінацій формулу (5) доцільно модифікувати шляхом введення до неї додаткових параметрів, тобто привести її до такого вигляду:

$$Q_i = (S_i^{k_S} + R_i^{k_R}) / A_i^{k_A}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

При цьому кожен з додаткових параметрів ( $k_S$ ,  $k_R$  та  $k_A$ ) може мати лише одне з двох значень: 0 або 1. Комбінуючи ці значення, можна отримати сімейство методів багатокритеріального порівняльного аналізу, перелік яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Методи багатокритеріального порівняльного аналізу, які можуть бути отримані за рахунок комбінацій параметрів  $k_S$ ,  $k_R$  та  $k_A$

№	Значення параметрів			Формула для розрахунку узагальненого показника переваги	Метод-аналог
	$k_S$	$k_R$	$k_A$		
1	0	0	0	$Q_i = 2$	не використовується
2	0	0	1	$Q_i = 2 / A_i$	адитивна згортка
3	0	1	0	$Q_i = 1 + R_i$	MOORA (частково) [4]
4	0	1	1	$Q_i = (1 + R_i) / A_i$	–
5	1	0	0	$Q_i = 1 + S_i$	–
6	1	0	1	$Q_i = (1 + S_i) / A_i$	–
7	1	1	0	$Q_i = S_i + R_i$	VIKOR (частково) [5]
8	1	1	1	$Q_i = (S_i + R_i) / A_i$	базовий

Варіант, коли всі параметри дорівнюють 1, відповідає базовому методу трикритеріального ранжування.

Інші комбінації значень параметрів забезпечують отримання трьох однокритеріальних та трьох двокритеріальних методів.

Окрім того, три отримані часткові методи мають відомі аналоги, а три є новими, тобто характеризуються новою комбінацією критеріїв, за якими порівнюються альтернативи.

Таким чином, використання шістьох часткових методів додатково до базового підвищує повноту порівняння альтернатив та, відповідно, можливість виявлення їх особливостей.

При цьому послідовність розрахунків за запропонованим методом передбачає, що перші дев'ять етапів відповідають базовому, а на наступних етапах здійснюється розрахунок узагальненого показника переваги для значень

параметрів з рядків 2–7 табл. 1 та формування відповідних пріоритетних рядів.

За результатами розрахунків буде отримано сім варіантів ранжування, порядок альтернатив у яких залежить від використаного критерію порівняння.

Зрозуміло, що порівняння рангів альтернативи в отриманих рядах дає можливість виявити її переваги (або недоліки) порівняно з іншими за розглядуваними показниками та надати ОПР обґрунтовані рекомендації щодо доцільності її розгляду як раціональної.

Для оцінювання можливості практичного використання розробленого методу розглянемо розрахунковий приклад з [2], який передбачає вибір раціонального складу механізованої бригади. Вихідними даними для нього є 10 альтернативних варіантів складу, кожен з яких характеризується шістьма (однаковими за важливістю) показниками: втратами танків ( $E_1$ ), іншої бронетехніки ( $E_2$ ) та артилерії противника ( $E_3$ ), а також аналогічними показниками ( $E_4$ ,  $E_5$ ,  $E_6$ ) для своїх військ. Зрозуміло, що показники  $E_1$ – $E_3$  потребують максимізації, а решта – мінімізації.

Необхідно зазначити, що, відповідно до [2], варіант № 3 є найкращим за методом таксономії, а варіант № 5 – за адитивною згорткою, тобто в разі використання відомих методів було отримано суперечливі результати ранжування альтернатив.

Вихідні дані для розрахунків наведено в табл. 2, а їх результати за запропонованим методом – у табл. 3. При цьому номери варіантів значень параметрів відповідають номерам рядків табл. 1.

Таблиця 2  
Значення показників, за якими оцінюються альтернативи

№, і	Вихідні значення показників					
	$E_{i1}$	$E_{i2}$	$E_{i3}$	$E_{i4}$	$E_{i5}$	$E_{i6}$
1	0,85	0,90	0,72	0,09	0,22	0,10
2	0,74	0,94	0,83	0,06	0,18	0,25
3	0,82	0,84	0,90	0,11	0,12	0,14
4	0,78	0,81	0,69	0,13	0,26	0,16
5	0,93	0,74	0,86	0,04	0,10	0,08
6	0,74	0,87	0,83	0,09	0,14	0,23
7	0,67	0,90	0,79	0,06	0,24	0,12
8	0,85	0,84	1,00	0,13	0,28	0,14
9	0,67	0,81	0,90	0,11	0,29	0,27
10	0,78	0,90	0,97	0,18	0,06	0,18

Аналіз результатів, наведених у табл. 3, свідчить про те, що для 6 з 7 варіантів значень параметрів альтернатива № 5 є найкращою, а альтернатива № 3 перебуває на другому місці.

### Література

1. Романченко І. С., Загорка О. М. Використання таксономічних методів при проведенні досліджень у воєнній справі // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. 2007. № 3 (41). С. 5–16. 2. Загорка О. М., Мосов С. П., Сбитнев А. І., Стужук П. І. Елементи дослідження складних систем військового призначення. Київ: НАОУ, 2005. 100 с. 3. Свида І. Ю., Потьомкін М. М., Хомчак Р. Б. Метод трикритеріального ранжування та його використання для багатокритеріального порівняння альтернатив //

При цьому особливістю альтернативи № 5 є те, що вона суттєво поступається альтернативі № 3 лише в разі, коли як головний розглядається частковий показник  $R_i$  та відповідний йому критерій.

Тобто вибір найкращого варіанта визначається ставленням ОПР до важливості часткового показника  $R_i$ , необхідність акцентування уваги на якому і виявлена завдяки використанню запропонованого методу.

Таблиця 3

Ранги альтернатив за результатами розрахунків

№, і	Номери варіантів значень параметрів						
	2	3	4	5	6	7	8
1	4	4	3	4	4	3	3
2	6	3	6	6	6	6	6
3	2	1	2	2	2	2	2
4	9	6	9	9	9	9	9
5	1	8	1	1	1	1	1
6	8	2	7	8	8	7	7
7	7	7	8	7	7	8	8
8	5	5	5	5	5	5	5
9	10	9	10	10	10	10	10
10	3	10	4	3	3	4	4

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, у статті наведено комплексний метод ранжування, який забезпечує можливість аналізу особливостей альтернатив шляхом додаткового порівняння їх за окремими частковими показниками та їх доцільними комбінаціями.

Окремі з розглянутих комбінацій параметрів перетворюють цей метод у аналогії існуючих методів багатокритеріальної оптимізації. Окрім того, отримано три методи, які забезпечують порівняння альтернатив за новими сукупностями часткових показників переваги.

Загалом запропонований метод забезпечує підвищення обґрунтованості рекомендацій, які подаються на розгляд ОПР, за рахунок підвищення повноти порівняння розглядуваних альтернатив та забезпечення можливості виявлення їх особливостей.

Необхідно зазначити, що обсяги розрахунків за розробленим методом є прийнятними у разі використання сучасної обчислювальної техніки. Тому подальший розвиток проведених досліджень вбачається в програмній реалізації запропонованого методу та перевірці доцільності його застосування на достатньому обсязі тестових даних.

Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ, 2017. № 3 (30). С. 88–92. 4. Brauers W. K. M., Zavadskas E. K. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy // Control and Cybernetics. 2006. № 35 (2). P. 445–469. 5. El-Santawy M. F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem // International Journal Of Computing Science. 2012, February. Vol. 1. № 2. P. 9–12.

## КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД РАНЖИРОВАНИЯ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ

*Игорь Сергеевич Романченко* (доктор военных наук, профессор)  
*Михаил Михайлович Потемкин* (доктор технических наук, с.н.с.)  
*Олег Петрович Кравец* (кандидат военных наук, с.н.с.)  
*Григорий Андреевич Саковский* (кандидат военных наук, с.н.с.)

*Центральный научно-исследовательский институт Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

Приведено описание трехкритериального метода ранжирования, предназначенного для формирования приоритетного ряда альтернатив, и результаты его анализа. При этом указано, что во время разработки рекомендаций для лица, принимающего решение, необходимо не только определить наиболее перспективные альтернативы, но и предоставить обоснованные пояснения полученных результатов, что требует дополнительного анализа результатов расчетов. Для уменьшения объемов такого анализа предложен новый метод многокритериального сравнения, который предусматривает использование нескольких комбинаций критериев сравнения. При этом используются три однокритериальных, три двухкритериальных и одно трехкритериальное сравнения. Для этого нового метода приведены формульные зависимости, а также дано поэтапное описание порядка проведения расчетов. Возможность практического использования предложенного метода показана на расчетном примере, для которого в литературных источниках приводятся результаты, полученные с использованием известных многокритериальных методов. Сравнение результатов расчетов, полученных с использованием известных и нового методов, свидетельствует о том, что использование предложенного метода дает возможность повысить обоснованность разрабатываемых рекомендаций за счет повышения полноты сравнения альтернатив. Это позволяет сделать вывод, что применение разработанного комплексного метода ранжирования может быть достаточно перспективным для многокритериальной оптимизации сложных объектов.

**Ключевые слова:** аддитивная свертка; многокритериальное ранжирование; метод трехкритериального ранжирования; метод MOORA; метод VIKOR.

## A COMPLEX METHOD OF RANGE AND ITS USE FOR MULTICRITERIA COMPARISON OF ALTERNATIVES

*Ighor Romanchenko* (Doctor of Military Sciences, Professor)  
*Mykhajlo Potomkin* (Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow)  
*Oleg Kravets* (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)  
*Hryhorii Sakovskiy* (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow)

*Central Scientific Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

There is description of the three-criteria ranging method intended to form a priority number of alternatives and the results of its analysis. It is noted that during developing recommendations for the decision maker, it is necessary not only to identify the most promising alternatives, but also to provide reasonable explanations of the obtained results, which requires to additional analysis of the results of the calculations. It has been proposed a new multicriteria comparison method to reduce the volume of such analysis, which involves the use of several combinations of comparison criteria. There are used three single-criteria, three two-criteria and one three-criteria comparisons. Formulas dependencies are given for this new method and it is provided a step-by-step description of the calculation procedure. The possibility of practical application of the proposed method is shown in the calculated example, for which the literature sources provide the obtained results for known multi-criteria methods. Comparison of the results of the calculations for known and new methods shows that the use of the proposed method makes it possible to increase the validity of the developed recommendations by increasing the completeness of the comparison of alternatives. It leads to the conclusion that the use of the developed complex method of ranking can be quite promising during multi-criteria optimization of complex objects.

**Keywords:** additive convolution; multi-criteria ranking; three-criteria ranking method; MOORA method; the VIKOR method.

### References

1. Romanchenko I.S., Zagorka O.M. (2007). Using taxonomy methods for military research [Vykorystannja taksonomichnykh metodiv pry provedenni doslidzhenj u vojennij spravi], Col. of scient. pap. CRI of AF of Ukraine, № 3 (41), pp. 5–16.
2. Zagorka O.M., Mosov S.P., Sbitniev A.I., Stuzhuk P. I. (2005). Complex military systems research's componentry [Elementy doslidzhennja skladnykh system vijsjkovogho pryznachennja], NADU, Kyiv, 100 p.
3. Svuda I.U., Potjomkin M. M., Khomchak R. B. (2017). Method of three-criterial ranking and its use for a multi-criterial comparison of alternatives [Metod trykryterialjnogho ranzhuvannja ta jogho vykorystannja dlja baghatokryterialjnogho porivnannja aljternatyv], Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence, № 3 (30), pp. 88–92.
4. Brauers W. K. M., Zavadskas E. K. The MOORA method and its application to privatization in a transition economy // Control and Cybernetics. 2006. № 35 (2). P. 445–469.
5. El-Santawy M. F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem // International Journal Of Computing Science. 2012, February. Vol. 1. № 2. P. 9–12.