УДК 519.863

І.С. Романченко, М.М. Потьомкін

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

МЕТОД ТАКСОНОМІЯ-ЯДРО ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Наведено метод таксономії та результати його аналізу. Показано, що основним недоліком цього методу є ефект компенсації, коли малі значення одного з показників можуть бути компенсовані великим значенням деякого іншого. Усунення цього недоліку в рамках самого методу є проблематичним. Однак його основна ідея щодо порівняння альтернатив відносно найкращої точки, а також ідея методу VIKOR щодо зменшення впливу компенсації можуть бути покладені в основу нового методу – таксономія-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 таксономія-ядро показана на декількох прикладах. Порівняння результатів розрахунків за відомими та новим методами свідчить, що використання методу таксономія-ядро в комбінації з іншими методами дозволяє підвищити обґрунтованість розроблюваних рекомендації або визначити перспективні альтернативи, які залишились поза увагою інших методів. Це дозволяє зробити висновок, що використання запропонованого методу таксономія-ядро може бути достатньо перспективним під час багатокритеріальної оптимізації складних об'єктів.

Ключові слова: *багатокритеріальна оптимізації, метод таксономії, метод формування ядра.*

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. На теперішній час в ході проведення досліджень у воєнній 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 воєнного 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 таксономії [1, 2], який передбачає розв'язання багатокритеріальної задачі оптимізації у такій постановці. Нехай є множина альтернативних варіантів деякої системи, кожний з яких характеризується множиною показників, за якими оцінюється її функціонування. При цьому кожного показника визначений критерії його оптимізації (на максимум або мінімум). За такими даними необхідно побудувати пріоритетний ряд наявних альтернативних варіантів відповідно до ступеня їх відносної переваги.

Відповідно до [1, 2], розрахунки за методом таксономії передбачають виконання такої послідовності дій. Вихідними даними для таксономії є сукупність альтернатив, кожна з яких характеризується визначеною множиною показників, що задаються матрицею виду

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

де N – кількість альтернатив, що підлягають порівнянню, R – кількість показників, за якими оцінюється кожна альтернатива. Окрім того, для кожного з показників вважаються заданими критерії їх оптимізації (на максимум або на мінімум). Оскільки показники, представлені в матриці, можуть мати різні одиниці вимірювання, їх значення приводять до стандартизованого вигляду за формулою:

$$Z_{ij} = \left(E_{ij} - E_{jcp}\right) / S_j\ , \qquad (2)$$

де E_{jcp} – середнє арифметичне значення j-го показника за варіантами; S_j – середнє квадратичне відхилення j-го показника

Показники, якими характеризують альтернативи, поділяють на стимулятори (їх збільшення призводить до зростання ефективності системи) і дестимулятори (їх збільшення призводить до зменшення ефективності системи) та визначають граничні значення стандартизованих показників, що відповідають найкращій (еталонній) альтернативі, – точку P_0

© І.С. Романченко, М.М. Потьомкін

в багатомірному просторі з координатами (значеннями показників):

$$Z_{01}, Z_{02}, ..., Z_{0j}, ..., Z_{0R}; \quad (3)$$

$$Z_{0j} = \max_i Z_{ij}, \text{ коли } j \in S; \; Z_{0j} = \min_i Z_{ij}, \text{ коли } j \in D,$$

де S, D – множини стимуляторів і дестимуляторів.

Відстані між точкою P_o та точками, які відповідають наявним альтернативним варіантам системи, визначають за формулою:

$$C_{i0} = \left[\sum_j (Z_{ij} - Z_{0j})^2 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

Оцінювання альтернатив здійснюють за показником β, значення якого для і–ї альтернативи розраховують за формулою:

$$\beta_i = C_{i0} / C_0, \quad C_0 = \overline{C}_0 + 2S_0; \quad i = 1, \ldots, N; \quad (5)$$

$$\overline{C}_0 = \frac{1}{N} \sum_i C_{0i}; \quad S_0 = \left[\frac{1}{N} \sum_i (C_{0i} - \overline{C}_0)^2 \right]^{1/2}.$$

Вважається, що найкращій альтернативі відповідає найменше значення β_i, тому побудова пріоритетного ряду здійснюється за зменшенням β_i.

Необхідно зазначити, що нині таксономія досить широко використовується під час проведення досліджень у військовій галузі, зокрема, для обґрунтування раціонального складу систем військового призначення [1, 2, 4].

Однією з недосконалостей методу таксономії у викладеному варіанті є відсутність урахування в ньому відносної важливості показників.

Окрім того, методу таксономії, як і будь-якому іншому методу, побудованому на деякій згортці [2], притаманний недолік, пов'язаний з ефектом компенсації, коли малий внесок у узагальнений показник переваги одного з факторів може бути компенсований великим внеском деякого іншого.

Усунення цього недоліку в межах методу таксономії є досить проблематичним, однак доцільно звернути увагу на те, що для обмеження впливу ефекту компенсації на результати порівняння альтернатив у деяких методах (наприклад, у методі VIKOR [5]) вводять до розгляду додатковий фактор, який характеризує програш альтернативи за тим показником, який найнегативніше впливає на значення її узагальненого показника переваги.

Виходячи з зазначеного, вбачається за доцільне не вдосконалювати метод таксономії, а, використовуючи його основну ідею щодо порівняння альтернатив відносно еталонної точки та вводячи до розгляду додатковий показник, який буде характеризувати віддаленість альтернативи від еталонної точки за "найгіршим" показником, розробити новий метод, який буде спрямований не на ранжування альтернатив, а на зменшення їх вихідної кількості, тобто на формування ядра, яке буде містити альтернативи, які є найбільш наближеними до еталону не тільки за загальною віддаленістю, але за кожним показником. При цьому можуть бути використані підходи до двокритеріального порівняння альтернатив, викладені в [6].

Мета статті. На основі викладеного було поставлене таке завдання досліджень: розробити новий метод таксономія-ядро, призначений для формування ядра – множини альтернатив, перспективних для аналізу, 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. Окрім того, є множина вагових коефіцієнтів, елементи якої характеризують важливість кожного з показників, а також для кожного показника визначений критерії його оптимізації (на максимум або мінімум). За такими даними необхідно сформувати ядро альтернатив, перспективних для подальшого розгляду, причому альтернативи, які увійшли до ядра, порівняно з іншими повинні бути максимально наближеними до найкращої точки не тільки за загальною відстанню, а й за значеннями кожного з показників.

У основу розроблюваного методу покладемо основні ідеї методу таксономії, підходи методу TOPSIS до врахування важливості показників [7], парне порівняння альтернатив, а також підходи до такого порівняння з [6]. Вихідні дані для методу таксономії-ядро задаються матрицею виду (1), а також вектором вагових коефіцієнтів показників $[w_j]$ (j = 1,.., R), при цьому повинна виконуватись умова

$$\sum_{j=1}^{R} w_j = 1. \quad (6)$$

На першому етапі методу таксономії-ядро за формулою (2) здійснюють стандартизацію значень показників E_{ij}.

На другому етапі здійснюється врахування важливості показників w_j шляхом масштабування стандартизованих даних за формулою

$$v_{ij} = w_j r_{ij}, \quad i = 1, \ldots, N; \; j = 1, ..., R. \quad (7)$$

На третьому етапі серед масштабованих даних для кожного j-го показника визначають найкращу V_j^+ точку.

На четвертому етапі для кожної і-ї альтернативи розраховують відстань до найкращої точки (S_i) за формулою

$$S_i = \sqrt{\sum_i (v_{ij} - V_i^+)^2}, \quad i = 1, \ldots, N. \quad (8)$$

На п'ятому етапі для кожної і-ї альтернативи розраховують значення показника R_i, який характеризує її максимальну віддаленість від найкращої точки за показником з найбільшою віддаленістю, за формулою

$$R_i = \max_j \left| v_{ij} - V_i^+ \right|, \qquad i = 1, \ldots, N. \qquad (9)$$

На шостому етапі здійснюють парне порівняння альтернатив, використовуючи правила, наведені в табл. 1. При цьому альтернативи, які визнані гіршими, одразу виключаються з подальшого розгляду, тобто участі в подальшому порівнянні не беруть.

Таблиця 1

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

Умови	Результати парного порівняння	Належність до ядра
$S_A > S_B$, $R_A > R_B$.	А гірша А гірша	В
$S_A > S_B$, $R_A = R_B$.	А гірша Однакові	В
$S_A > S_B$, $R_A < R_B$.	А гірша В гірша	А, В
$S_A = S_B$, $R_A > R_B$.	Однакові А гірша	В
$S_A = S_B$, $R_A = R_B$.	Однакові Однакові	А, В
$S_A = S_B$, $R_A < R_B$.	Однакові В гірша	А
$S_A < S_B$, $R_A > R_B$.	В гірша А гірша	А, В
$S_A < S_B$, $R_A = R_B$.	В гірша Однакові	А
$S_A < S_B$, $R_A < R_B$.	В гірша В гірша	А

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

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

Першим розглянемо приклад з [2], який передбачає вибір раціонального складу механізованої бригади за шістьма показниками (E_1–E_6), при цьому показники E_1–E_3 потребують максимізації, а решта – мінімізації за однакової їх важливості.

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

Стандартизовані значення показників наведені в табл. 2, а розраховані для них значення показників S_i та R_i наведені в табл. 3, з якої видно, що до ядра увійде лише альтернатива № 3. Дійсно, альтернатива № 3 є кращою за альтернативу № 5 як за відстанню до найкращої точки, так і за відстанню окремого з показників, що власне в пояснює результати з [2] щодо визнання цієї альтернативи кращою і за методом таксономії.

Для більш детального порівняння альтернатив № 3 та № 5 необхідно залучати додаткові методи, які б більш рельєфно висвітлили відмінності між ними.

Таблиця 2

Стандартизовані вихідні дані

№ i	Стандартизовані вихідні дані					
	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
1	0,97	0,86	-1,33	-0,37	0,39	-1,12
2	-0,52	1,43	-0,23	-0,93	-0,12	1,33
3	0,42	-0,28	0,52	0,20	-0,89	-0,42
4	-0,05	-0,87	-1,71	0,79	0,90	-0,08
5	1,84	-2,00	0,15	-1,49	-1,15	-1,47
6	-0,52	0,29	-0,23	-0,37	-0,65	0,98
7	-1,46	0,86	-0,59	-0,93	0,63	-0,76
8	0,90	-0,28	1,64	0,79	1,16	-0,42
9	-1,46	-0,87	0,52	0,20	1,41	1,69
10	-0,05	0,86	1,26	2,11	-1,66	0,28

Таблиця 3

Результати розрахунків показників S_i та R_i

№ i	S_i	R_i
1	0,659	0,246
2	0,737	0,217
3	**0,546**	**0,081**
4	0,968	0,312
5	**0,629**	**0,327**
6	0,720	0,167
7	0,787	0,303
8	0,709	0,221
9	1,049	0,303
10	0,746	0,360

Збіжність отриманих результатів за розробленим методом з результатами, отриманими за методом таксономії, свідчить на користь запропонованого методу таксономія-ядро.

Другим розглянемо приклад з [8], який стосується вибору варіанта аеродрому, який 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 [8] показано, що найкращим варіантом за методом ELECTRE I є альтернатива № 2.

Масштабовані вихідні дані для цього прикладу, а також результати розрахунків наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Масштабовані вихідні дані та результати розрахунків

№ i	Масштабовані вихідні дані			S_i	R_i
	E_1	E_2	E_3		
1	180	70	10	1,629	1,800
2	**170**	**40**	**15**	**0,907**	**0,800**
3	160	55	20	0,709	0,213
4	**150**	**50**	**25**	**0,543**	**0,200**

Аналіз даних, наведених у табл. 4, свідчить, що до ядра увійшла лише одна альтернатива № 4, тобто результати, отримані за методами ELECTRE I та таксономія-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 ближча до найкращої точки за обома показниками.

Висновки

Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений метод таксономія-ядро дозволяє зменшити вихідну множину альтернатив шляхом формування ядра.

На конкретних прикладах показано, що його використання в комбінації з іншими методами багатокритеріальної оптимізації дозволяє підвищити обґрунтованість розроблюваних рекомендації 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 воєнній справі [Текст] / І.С. Романченко, О.М. Загорка // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2007. – № 3 (41). – С. 5-16.

2. Елементи дослідження складних систем військового призначення [Текст] / О.М. Загорка, С.П. Мосов, А.І. Сбитнєв, П.І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.

3. Корнеенко В.П. Методы оптимизации: учебник [Текст] / В.П. Корнеенко. – М.: Высш. шк., 2007. – 664 с.

4. Тимошенко Р.І. Основні положення методики визначення раціонального (збалансованого) складу міжвидового угруповання військ / Р.І. Тимошенко // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2014. – № 3 (69). – С. 96-109.

5. El-Santawy M.F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem [Text] / M.F. El-Santawy // International Journal Of Computing Science. – 2012. – Vol. 1. – № 2, February. – P. 9-12.

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

7. Ahmadi, H. Ranking the micro level critical factors of electronic medical records adoption using TOPSIS method [Text] / H. Ahmadi, M. S. Rad, M. Nilashi, O. Ibrahim, A. Almaee // Health Informatics – An International Journal. – 2013. – Vol. 2. – № 4, November. – P. 19-32.

8. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2000. – 296 с.

Надійшла до редколегії 20.11.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Лисенко, Інститут телекомунікаційних систем НТУ України “КПІ”, Київ.

МЕТОД ТАКСОНОМИЯ-ЯДРО И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СРАВНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ

І.С. Романченко, М.М. Потьомкін

Приведен метод таксономии и результаты его анализа. Показано, что основным недостатком этого метода является эффект компенсации, при котором малые значения одного из показателей могут быть компенсированы большим значением некоторого другого. Устранение этого недостатка в рамках самого метода является проблематичным. Однако его основная идея о сравнении альтернатив относительно лучшей точки, а также идея метода VIKOR относительно снижения эффекта компенсации могут быть положены в основу нового метода – таксономия-ядро, который будет предназначен для формирования ядра, содержащего 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 таксономия-ядро продемонстрирована на расчетных примерах. Сравнение результатов расчетов, полученных с использованием известных и нового методов, свидетельствует о том, что использование метода таксономия-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 таксономия-ядро может быть достаточно перспективным для многокритериальной оптимизации сложных объектов.

Ключевые слова: *многокритериальная оптимизация, метод таксономии, метод формирования ядра.*

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

I.S. Romanchenko, M.M. Potyemkin

Taxonomy method and the results of its analysis are given. It is shown that the shortcoming of this method is the effect of compensation at which small values of one parameter can be indemnified great value of some other. Elimination of this shortcoming within the limits of the method is problematic. However its basic idea about comparison of alternatives concerning the best point, and also idea of method VIKOR concerning decrease in effect of compensation may be used to create a new outranking method – the taxonomy-kernel method which will be intended for formation of the kernel containing or one best alternative, or some incomparable alternatives, 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 taxonomy-kernel method is demonstrated on settlement instances. Comparison of results of the calculations gained with use known and new methods, testifies that use of the taxonomy-kernel method 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 taxonomy-kernel method can be perspective enough for multiple criteria optimization of complex objects.

Keywords: *multiple criteria optimization, taxonomy method, method for kernel forming.*