

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ ПІД ЧАС БАГАТОКРИТЕРІЙНОГО ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ ПОКАЗНИКІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ СКЛАДНУ СИСТЕМУ

Анотація. Наведено загальний опис типових методів, використовуваних під час прийняття рішення для отримання значень коефіцієнтів важливості показників, що характеризують складну систему: аналізу ієрархій, критичної відстані, парних порівнянь, рангів, Фішберна, CRITIC, ентропійного. Визначено особливості цих методів, виконано розрахунки, які ілюструють відмінності значень коефіцієнтів важливості, отримуваних за ними, а також наведено рекомендації щодо їхнього практичного використання.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій, метод критичної відстані, метод парних порівнянь, метод рангів, метод Фішберна, метод CRITIC, коефіцієнт важливості показників, ентропійний метод.

ВСТУП

Загальновідомо, що під час дослідження складних систем широко використовуються багатокритерійні методи прийняття рішення. Результати аналізу низки цих методів, зокрема, TOPSIS [1], ELECTRE II [2], таксономії [3], ARAS [4], WS [5], SAW [6], WASPAS [7], PROMETHEE [8], TODIM [9], VIKOR [10], MOORA [11], COPRAS [12], OCRA [13] тощо свідчать про те, що однією зі складових вихідних даних для них є значення коефіцієнтів важливості показників, які характеризують розглядувану складну систему. Саме з використанням цих значень здійснюється порівняння її альтернативних варіантів.

Для отримання значень коефіцієнтів важливості показників нині існує низка методів, які суттєво різняться один від одного принциповими ідеями, покладеними в їхню основу. Тому, на нашу думку, порівняння методів, що використовуються під час багатокритерійного прийняття рішення для отримання значень таких коефіцієнтів, є актуальним науковим завданням.

ОГЛЯД ТИПОВИХ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ ПОКАЗНИКІВ

Як відомо, типова постановка задачі прийняття рішення, для розв'язання якої використовуються зазначені методи, є такою.

Нехай є n альтернативних варіантів деякої системи, кожний з яких характеризується значеннями m показників, за якими оцінюють її функціонування. Ці значення задають матрицю з елементами E_{ij} ($i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$). До того ж, є m коефіцієнтів важливості, значення яких характеризують важливість кожного з показників з огляду на мету функціонування розглядуваної системи. При цьому для кожного показника визначено критерій його оптимізації (максимізації або мінімізації). За цими вихідними даними потрібно побудувати пріоритетний ряд наявних альтернативних варіантів системи.

Слід зазначити, що проблема вибору методу отримання значень коефіцієнтів важливості показників не є новою. Ще у 1997 р. у статті [14] було наведено опис близько 20 методів, якими можна для цього скористатися. Далеко не всі вони витримали перевірку часом. У роботах [15–17] наведено опис основних методів, які нині застосовуються на практиці. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що залеж-

но від використовуваного підходу до отримання значень коефіцієнтів важливості показників наявні методи можна поділити на дві групи: експертні (із залученням експертів) та чисельні (без їх залучення). Експертні методи також можна поділити на дві підгрупи залежно від обсягів консультацій з експертами.

Особливістю експертних методів є те, що вони не потребують безпосереднього використання значень E_{ij} для порівнюваних альтернативних варіантів розглядуваної системи. Натомість чисельні методи орієнтовані на здійснення розрахунків з використанням значень цих показників. Залежно від обсягів консультацій з експертами експертні методи поділяють на ті, що ґрунтуються на парному порівнянні показників, та на ті, в яких передбачено безпосереднє ранжування показників за важливістю. Цілком очевидно, що перша підгрупа експертних методів характеризується більш глибоким рівнем експертного порівняння, що позитивно позначається на якості його результатів. Натомість, для другої підгрупи методів передбачено експертне ранжування показників за важливістю та застосування залежності певного виду до змінювання значень відповідних коефіцієнтів, яку також можна погоджувати з експертами. Така спрощена процедура експертного опитування характеризується значно меншими трудовитратами внаслідок виключення парного порівняння, однак може зумовити зниження точності отримуваних результатів. Зрозуміло, що наведена класифікація є доволі умовною, однак є достатньою для порівняння типових методів визначення значень коефіцієнтів важливості.

У підгрупі експертних методів, для яких передбачено парне порівняння показників, найбільш відомим є метод аналізу ієрархій, який докладно описано у спеціальній літературі (наприклад, у [18]). Для цього методу передбачено побудову відповідної ієрархії, заповнення експертами матриць парних порівнянь (з використанням дев'ятирівневої шкали порівняння) та розрахунок на їхній основі значень коефіцієнтів важливості показників. Метод містить механізми, які забезпечують оцінювання узгодженості експертних суджень як для кожної матриці парних порівнянь, так і для ієрархії загалом.

Цій підгрупі також належить метод парного порівняння, наведений у [15]. Для нього передбачено парне порівняння показників за трирівневою шкалою без побудови ієрархії. За результатами оброблення експертних оцінок отримують значення коефіцієнтів важливості для розглядуваних показників. Однак цей метод не містить процедур, які б надали змогу оцінити узгодженість експертних оцінок за результатами парного порівняння, що може негативно позначитися на точності отримуваних результатів.

На нашу думку, типовими прикладами підгрупи експертних методів, для яких передбачено експертне ранжування показників, є метод рангів [3] та метод Фішберна [15, 17]. У разі застосування методу рангів [3] експерти формують пріоритетний ряд показників, у якому найкращому з них присвоюють ранг, що дорівнює одиниці, а найгіршому — m . При цьому вважають, що між рангом показника та його важливістю існує лінійна залежність.

Тоді ненормоване значення коефіцієнта важливості j -го показника обчислюють як

$$C_j = 1 - (R_j - 1) / m,$$

де R_j — ранг j -го показника відповідно до сформованого експертами пріоритетного ряду.

Нормування значень коефіцієнтів важливості здійснюють за формулою

$$k_j = C_j / \sum_{j=1}^m C_j,$$

де k_j — нормоване значення коефіцієнта важливості j -го показника.

Згідно з методом Фішберна [15, 17] експерти формують пріоритетний ряд показників та визначають залежність, що характеризує змінювання значень коефіцієнтів їхньої важливості у вигляді арифметичної або геометричної прогресії. При цьому сума коефіцієнтів важливості всіх показників має дорівнювати одиниці.

Для арифметичної прогресії значення коефіцієнтів важливості показників у пріоритетному ряду розраховують за формулою [15, 17]

$$k_j = \frac{2(m-j+1)}{m(m+1)}. \quad (1)$$

При цьому вважають, що отримані значення k_j відповідають максимуму ентропії інформаційної невизначеності щодо порівнюваних об'єктів.

Для геометричної прогресії значення коефіцієнтів важливості показників у пріоритетному ряду розраховують за формулою [17]

$$k_j = \frac{2^{m-j}}{2^m - 1} \quad (2)$$

або за формулою [15]

$$k_j = \frac{\omega^{j+1}}{1 - \omega^m}, \quad (3)$$

де $\omega = 0,618$ — число, яке відповідає «золотому перерізу».

Принциповою відмінністю між результатами розрахунків за формулами (2) та (3) є те, що в разі використання формули (2) для всіх значень коефіцієнтів важливості виконується умова $k_j > \sum_{g=j+1}^m k_g$, $j = 1, \dots, m-1$.

Отже, розглянуті експертні методи тією чи іншою мірою відображають у чисельному вигляді думку експертів щодо відносної важливості показників.

До типових чисельних методів, для яких не передбачено залучення експертів, належать ентропійний метод [19–21], метод критичної відстані [3] та метод CRITIC [22].

Суть ентропійного методу [19–21] є такою.

На першому етапі здійснюють нормалізацію вихідних значень показників за однією з формул:

- відповідно до [19]

$$x_{ij} = E_{ij} / \sum_{i=1}^n E_{ij}^2, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m; \quad (4)$$

- відповідно до [20, 21]

$$x_{ij} = E_{ij} / \sum_{i=1}^n E_{ij}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (5)$$

На другому етапі розраховують значення ентропії

$$E_j = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{i=1}^n x_{ij} \ln(x_{ij}), \quad j = 1, \dots, m.$$

На третьому етапі оцінюють відхилення ентропії від одиниці

$$d_j = |1 - E_j|, \quad j = 1, \dots, m.$$

На четвертому етапі розраховують нормовані значення коефіцієнтів важливості

$$\beta_j = d_j / \sum_{j=1}^m d_j, \quad j = 1, \dots, m.$$

Як видно з наведених формул (4) та (5), ентропійний метод має два варіанти залежно від використовуваного способу нормалізації вихідних значень показників, що може зумовити отримання різних значень коефіцієнтів важливості.

Метод критичної відстані згідно з [3] виконують у декілька етапів.

На першому етапі здійснюють нормалізацію вихідних значень показників за формулами

$$Z_{ij} = (E_{ij} - E_{jcp}) / S_j, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m,$$

$$E_{jcp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_{ij}, \quad S_j = \left[\sum_{i=1}^n (E_{ij} - E_{jcp})^2 / n \right]^{1/2}, \quad j=1, \dots, m.$$

На другому етапі розраховують елементи матриці відстаней між показниками

$$C_{rs} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{ri} - Z_{si}|, \quad r, s=1, \dots, m.$$

На третьому етапі обчислюють критичну відстань з використанням залежності

$$C_k = \max_r \min_s C_{rs}, \quad r, s=1, \dots, m, \quad r \neq s.$$

На четвертому етапі для кожного показника знаходять усі відстані, які не перевищують критичну:

$$\rho_{js} = \{C_{js} \leq C_k\}, \quad j=r=1, \dots, m, \quad s=1, \dots, m.$$

На п'ятому етапі знайдені відстані для кожного показника підсумовують:

$$Q_j = \sum_{s=1}^m \rho_{js}, \quad s=1, \dots, m.$$

Вважається, що важливість показника тим більша, чим більша сума його відстаней від сусідніх показників. Тому на шостому етапі з-поміж усіх отриманих значень Q_j визначають найбільше

$$Q_m = \max_j Q_j, \quad j=1, \dots, m.$$

На сьомому етапі обчислюють ненормовані значення коефіцієнтів важливості показників за формулою

$$\lambda_j = Q_j / Q_m, \quad j=1, \dots, m.$$

На останньому етапі отримані значення λ_j нормують:

$$\lambda_j^H = \lambda_j / \sum_{j=1}^m \lambda_j, \quad j=1, \dots, m.$$

Суть методу CRITIC відповідно до [22] є такою.

На першому етапі здійснюють нормалізацію вихідних значень показників за формулою

$$r_{ij} = \frac{E_{ij} - \min_{i=1, \dots, n} (E_{ij})}{\max_{i=1, \dots, n} (E_{ij}) - \min_{i=1, \dots, n} (E_{ij})}, \quad i=1, \dots, n.$$

На другому етапі для кожного показника розраховують його середнє квадратичне відхилення S_j , а на третьому оцінюють важливість показників за формулою

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

На останньому етапі для забезпечення умови $\sum_{j=1}^m C_j = 1$ отримані значення нормують:

$$w_j = C_j / \sum_{j=1}^m C_j, \quad j=1, \dots, m.$$

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКІВ ЗА РОЗГЛЯНУТИМИ МЕТОДАМИ ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ

Оцінимо на кількох прикладах вплив вибору методу отримання значень коефіцієнтів важливості на результати розрахунків. На нашу думку, найбільш інформативним є порівняння результатів, одержаних за допомогою експертних методів, що ґрунтуються на ранжуванні показників, та чисельних методів.

Зіставлення експертних методів, які ґрунтуються на парному порівнянні, зокрема, методу аналізу ієрархій та методу парних порівнянь, є досить проблематичним через те, що структура вихідних даних для них є різною. Однак вони досить докладно описані у спеціальній літературі. Результати їхнього порівняння свідчать про те, що завдяки наявності багаторівневої ієрархії, яка відображає зв'язок між метою створення системи, факторами, що впливають на її функціонування, та показниками, які характеризують розглядувані фактори та систему, найбільшу перевагу має метод аналізу ієрархій, незважаючи на його відносну складність та суттєву трудомісткість.

Для здійснення розрахунків за методами рангів та Фішберна, для яких передбачено експертне ранжування показників, використано приклад з [3], відповідно до якого за результатами експертного опитування отримано пріоритетний ряд для семи показників (табл. 1).

Аналіз результатів розрахунків, наведених у табл. 1, показав, що результати, отримані за методом рангів та за методом Фішберна (з використанням формули (1)), фактично збіглися. Іншими словами, для тих випадків, коли серед показників відсутні такі, що є однаковими за важливістю, метод рангів є аналогом методу Фішберна за припущення, що коефіцієнти важливості утворюють арифметичну про-

Таблиця 1. Вихідні дані з [3] та результати розрахунків за методами рангів та Фішберна

№ показника j	Ранг показника	Значення коефіцієнтів важливості, отримані за методом			
		рангів	Фішберна за формулою (1)	Фішберна за формулою (2)	Фішберна за формулою (3)
1	7	0,036	0,036	0,008	0,022
2	4	0,147	0,143	0,063	0,093
3	5	0,106	0,107	0,031	0,058
4	2	0,215	0,214	0,252	0,244
5	1	0,250	0,250	0,504	0,396
6	3	0,179	0,179	0,126	0,151
7	6	0,071	0,071	0,016	0,036
Діапазон змінювання значень коефіцієнтів		0,036–0,250	0,036–0,250	0,008–0,504	0,022–0,396
Співвідношення між сусідніми значеннями коефіцієнтів у пріоритетному ряду		1,16–2	1,16–2	2	0,62

Таблиця 2. Вихідні дані для прикладу 1 [3]

№ альтернативи i	Значення показників					
	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}	E_{i5}	E_{i6}
1	0,852	0,903	0,724	0,085	0,216	0,102
2	0,741	0,935	0,827	0,064	0,177	0,245
3	0,815	0,839	0,896	0,106	0,118	0,143
4	0,778	0,806	0,689	0,128	0,255	0,163
5	0,926	0,742	0,862	0,043	0,098	0,082
6	0,741	0,871	0,827	0,085	0,137	0,225
7	0,667	0,903	0,793	0,064	0,235	0,123
8	0,852	0,839	1,000	0,128	0,275	0,143
9	0,667	0,806	0,896	0,106	0,294	0,266
10	0,778	0,903	0,965	0,177	0,059	0,184

Таблиця 3. Результати розрахунків значень коефіцієнтів важливості показників за вихідними даними з табл. 2

№ показника	Результати розрахунків за методом							
	критичної відстані		ентропійним				CRITIC	
	λ_j^H	ранг	нормування за формулою (4)	ранг	нормування за формулою (5)	ранг	w_j	ранг
1	0,108	3	0,183	2	0,021	5	0,184	2
2	0,093	5	0,185	1	0,009	6	0,132	6
3	0,088	6	0,183	2	0,026	4	0,159	5
4	0,407	1	0,151	4	0,298	2	0,177	3
5	0,104	4	0,142	5	0,388	1	0,163	4
6	0,200	2	0,156	3	0,258	3	0,185	1

гресію. У тому разі, коли серед показників є однакові за важливістю, застосування методу рангів є можливим, а використання методу Фішберна — проблематичним, оскільки прогресія не може містити декілька однакових членів.

До того ж, з табл. 1 видно, що для всіх варіантів методу Фішберна значення коефіцієнтів важливості зменшуються відповідно до зниження їхнього рангу. Однак при цьому є суттєві відмінності у діапазонах змінювання значень цих коефіцієнтів та співвідношеннях між їхніми сусідніми значеннями у пріоритетному ряду.

Для розрахунків за чисельними методами, для яких не потрібно залучення експертів, скористаємося двома прикладами. Першим розглянемо приклад з роботи [3], вихідні дані для якого наведено в табл. 2. Як видно з цієї таблиці, задано десять варіантів деякої системи, що характеризується шістьма показниками. Результати розрахунків їхніх коефіцієнтів важливості за розглянутими чисельними методами наведено в табл. 3.

Аналіз даних, наведених у табл. 3, свідчить про те, що ранги показників за важливістю, отримані з використанням різних методів, є дуже суперечливими. Ця суперечливість проявляється навіть для одного методу у разі використання в його межах різних способів нормалізації вихідних значень показників. Так, для ентропійного методу з нормалізацією виду (4) важливість показника 2 є найбільшою, а з нормалізацією виду (5) — найменшою (або близькою до неї у разі застосування методу критичної відстані).

Таблиця 4. Вихідні дані для прикладу 2 [21]

№ альтернативи i	Значення показників								
	E_{i1}	E_{i2}	E_{i3}	E_{i4}	E_{i5}	E_{i6}	E_{i7}	E_{i8}	E_{i9}
1	291	185	351	187	36	147	4902,74	96,89	94,43
2	413	113	211	293	62	195	5732,71	93,95	82,91
3	335	258	228	316	63	222	9085,19	97,47	94,68
4	376	111	361	368	51	124	5027,69	94,71	92,75
5	371	77	231	244	49	89	5989,66	96,50	91,35
6	427	544	216	419	54	421	11924,22	97,49	93,44
7	217	146	118	233	21	228	20958,38	95,05	93,79
8	151	48	121	186	12	123	30542,34	94,19	92,72
9	71	44	61	65	13	53	3852,83	92,10	90,56
10	141	26	74	155	14	115	43835,97	93,13	90,49
11	137	117	111	121	97	187	24796,49	94,07	92,65
12	131	124	172	75	133	279	16427,02	90,73	93,78
13	163	57	95	132	18	116	16946,48	94,98	92,65
14	166	49	152	141	14	82	23354,20	94,03	94,47
15	211	33	176	178	38	85	15698,32	90,09	92,72
16	117	72	127	118	21	69	15998,30	88,62	42,90
17	138	45	115	111	82	56	36574,57	87,34	89,54
18	152	77	141	89	31	51	3877,13	89,55	91,24
19	65	12	61	64	7	21	5614,43	87,59	92,63
20	185	119	162	96	27	62	5197,18	91	91,31
21	71	56	59	31	19	44	927,84	94,71	90,27
22	41	31	65	26	6	12	8624,92	95,52	89,43

Таблиця 5. Результати розрахунків значень коефіцієнтів важливості показників за вихідними даними з табл. 4

№ показника	Результати розрахунків за методом							
	критичної відстані		ентропійним				CRITIC	
	λ_j^H	ранг	нормування за формулою (4)	ранг	нормування за формулою (5)	ранг	w_j	ранг
1	0,099	7	0,115	4	0,096	6	0,127	4
2	0,131	4	0,071	8	0,219	1	0,124	5
3	0,142	2	0,121	3	0,078	7	0,135	1
4	0,098	8	0,109	5	0,114	5	0,124	6
5	0,105	5	0,090	7	0,168	3	0,133	2
6	0,160	1	0,096	6	0,149	4	0,120	7
7	0,027	9	0,090	7	0,171	2	0,131	3
8	0,138	3	0,154	1	0,001	9	0,092	8
9	0,100	6	0,152	2	0,005	8	0,014	9

Другим розглянемо приклад з роботи [21], вихідні дані для якого наведено в табл. 4. Як видно з цієї таблиці, задано 22 варіанти деякої системи, що характеризується дев'ятьма показниками. Результати розрахунків їхніх коефіцієнтів важливості за розглянутими чисельними методами наведено в табл. 5.

З аналізу даних, наведених у табл. 5, закономірно впливає такий самий висновок щодо суперечливості рангів показників, отриманих за різними методами, що й з аналізу результатів, представлених у табл. 3.

Підсумовуючи отримані результати, можна дійти висновку, що розглянуті чисельні методи в загальному випадку надають різні (а іноді й суттєво різні) оцінки значень коефіцієнтів важливості показників.

РЕКОМЕНДАЦІ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ОТРИМАННЯ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТІВ ВАЖЛИВОСТІ ПОКАЗНИКІВ

Надаючи загальну оцінку методам отримання значень коефіцієнтів важливості показників з урахуванням отриманих результатів розрахунків та спираючись на дані, наведені у спеціальній літературі, слід зазначити таке. Найвищу точність оцінювання значень коефіцієнтів важливості показників забезпечує метод аналізу ієрархій, оскільки надає змогу здійснити найбільш докладний аналіз зв'язків між ступенем важливості показників та метою створення розглядуваної системи. Тому насамперед доцільно застосовувати саме цей метод, якщо є можливість працювати з експертами в достатньому обсязі.

У разі використання спрощених методів експертного опитування, для яких передбачено лише ранжування показників за ступенем їхньої важливості, виникає потреба у проведенні додаткових консультацій з експертами для визначення вигляду залежності, що описує характер співвідношень між значеннями коефіцієнтів важливості. Тому ці методи доцільно застосовувати, якщо можливість спілкування з експертами є обмеженою.

Використовувати чисельні методи, для яких не є потрібним залучення експертів, слід досить обережно, оскільки немає можливості дійти обґрунтованого висновку, якому з них віддати перевагу. Результати розрахунків свідчать про те, що пріоритетні ряди важливості показників, отримані з використанням таких методів, мають відмінності, що відповідно зумовить відмінності у результатах розв'язання задачі прийняття рішення.

Водночас використання цих методів може бути корисним для оцінювання стійкості прийняття рішення до можливого змінювання значень коефіцієнтів важливості показників, зумовленого похибками експертного оцінювання. У цьому випадку чисельні методи можна розглядати як деякі моделі експертів. Продемонструємо це на прикладі, вихідні дані для якого наведено в табл. 2. При цьому зазначимо, що в [3] він був розв'язаний з використанням методу таксономії за однакової важливості всіх показників, яка становила 0,167.

Таблиця 6. Результати ранжування альтернатив за різних значень коефіцієнтів важливості показників (відповідно до даних, наведених у табл. 2 та 3)

№ альтернативи	Усі показники однакові за важливістю		Результати ранжування альтернатив за методом таксономії, коли важливість показників оцінювалась за методом							
	β_i	ранг	критичної відстані		ентропійним з нормуванням за формулою (4)		ентропійним з нормуванням за формулою (5)		CRITIC	
			β_i	ранг	β_i	ранг	β_i	ранг	β_i	ранг
1	0,633	3	0,395	3	0,645	3	0,532	4	0,592	3
2	0,707	6	0,468	4	0,709	7	0,544	5	0,722	6
3	0,524	1	0,515	6	0,535	1	0,373	2	0,498	2
4	0,929	9	0,734	9	0,945	9	0,754	8	0,872	9
5	0,604	2	0,235	1	0,665	4	0,123	1	0,476	1
6	0,691	5	0,507	5	0,706	6	0,461	3	0,695	5
7	0,755	8	0,368	2	0,783	8	0,569	6	0,752	8
8	0,680	4	0,684	7	0,632	2	0,796	9	0,646	4
9	1,007	10	0,725	8	0,997	10	0,904	10	0,996	10
10	0,716	7	1,025	10	0,681	5	0,663	7	0,736	7

Таблиця 7. Ранги альтернатив, усереднені за всіма варіантами розрахунків

№ альтернативи	Усі показники однаково важливістю	Ранг альтернативи у випадку використання методу				Ранг		
		критичної відстані	ентропійного з нормуванням за формулою (4)	ентропійного з нормуванням за формулою (5)	CRITIC	сумарний	середній	узагальнений
1	3	3	3	4	3	16	2,7	3
2	6	4	7	5	6	28	4,7	6
3	1	6	1	2	2	12	2	2
4	9	9	9	8	9	44	7,3	9
5	2	1	4	1	1	9	1,5	1
6	5	5	6	3	5	24	4	4
7	8	2	8	6	8	32	5,3	7
8	4	7	2	9	4	26	4,3	5
9	10	8	10	10	10	48	8	10
10	7	10	5	7	7	36	6	8

У табл. 6 наведено результати ранжування розглядуваних у цьому прикладі альтернатив за однакової важливості показників, а також для значень коефіцієнтів важливості, наведених у табл. 3. При цьому ранжування альтернатив здійснено за узагальненим показником переваги β_i , який характеризує евклідову відстань i -ї альтернативи від «еталону».

Аналіз результатів розрахунків, наведених у табл. 6, показує, що в тому разі, коли сумарна важливість показників №№ 4–6 (що відповідає методам CRITIC та ентропійному з нормуванням за формулою (5)) є більшою за сумарну важливість показників № 1–3, тоді порівняно з базовим варіантом (коли важливість показників є однаковою) лідери ранжування (альтернативи № 3 та № 5) залишаються тими самими. У протилежному випадку (що відповідає ентропійному методу з нормуванням за формулою (4)), альтернатива № 3 залишається першою, однак другою стає альтернатива № 8. Якщо більшою за сумарну важливість інших показників є сумарна важливість показників № 1, № 4, № 6 (що відповідає методу критичної відстані), альтернатива № 5 стає першою, однак альтернатива № 3, яка була лідером, переміщується на шосте місце. Іншими словами, ранжування, наведене в [3], є нестійким і може змінюватися залежно від експертних оцінок.

Усереднені ранги альтернатив, наведені в табл. 7, свідчать про те, що лідерами є альтернативи № 5 та № 3, а найгіршими — альтернативи № 4 та № 10. Власне, вже ці результати можуть бути підґрунтям для формування пропозицій для особи, яка приймає рішення.

Окрім застосування для перевірки на стійкість чисельні методи можна рекомендувати як інструмент попереднього (оцінювального) ранжування альтернатив шляхом усереднення рангів альтернатив, підхожий у разі відсутності можливості спілкування з експертами.

ВИСНОВКИ

У статті наведено опис типових методів отримання значень коефіцієнтів важливості показників, які характеризують розглядувану складну систему.

На розрахункових прикладах показано відмінності результатів, отриманих з використанням наведених методів.

Показано, що найбільш доцільним для визначення коефіцієнтів важливості показників, що характеризують складну систему, є застосування методів, для

яких передбачено залучення експертів. Це, насамперед, метод аналізу ієрархій як такий, що забезпечує найбільш детальний аналіз зв'язків між важливістю показників та метою створення розглядуваної системи.

Використання чисельних методів, для яких не передбачено залучення експертів, є найбільш доцільним для оцінювання стійкості розв'язку задачі прийняття рішення до змінювання значень коефіцієнтів важливості показників. До того ж, ними можна скористатися для оцінювання усереднених рангів альтернатив у разі відсутності можливості спілкування з експертами.

Подальший розвиток проведених досліджень передбачає аналіз впливу різних способів нормалізації вихідних значень показників на результати розв'язання багатокритерійних задач прийняття рішення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sarraf A.Z., Mohaghar A., Bazargani H. Developing TOPSIS method using statistical normalization for selecting knowledge management strategies. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2013. Vol. 6, N 4. P. 860–875.
2. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. Москва: Логос, 2000. 296 с.
3. Загорка О.М., Мосов С.П., Сбитнев А.І., Стужук П.І. Елементи дослідження складних систем військового призначення. Київ: НАОУ, 2005. 100 с.
4. Chatterjee P., Chakraborty S. Flexible manufacturing system selection using preference ranking methods: A comparative study. *International Journal of Industrial Engineering Computations*. 2014. Vol. 5, Iss. 2. P. 315–338.
5. Hajkovicz S., Higgins A. A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*. 2008. Vol. 184. P. 255–265.
6. Deni W., Sudana O., Sasmita A. Analysis and implementation fuzzy multi-attribute decision making SAW method for selection of high achieving students in faculty level. *International Journal of Computer Science Issues*. 2013. Vol. 10, Iss. 1, N 2. P. 674–680.
7. Madić M., Gecevska V., Radovanović M., Petković D. Multi-criteria economic analysis of machining processes using the WASPAS method. *Journal of Production Engineering*. 2014. Vol. 17, N 2. P. 79–82.
8. Anand G., Kodali R. Selection of lean manufacturing systems using the PROMETHEE. *Journal of Modelling in Management*. 2008. Vol. 3, Iss. 1. P. 40–70.
9. Gomesa L.F.A.M., Rangel L.A.D., Maranhão F.J.C. Multicriteria analysis of natural gas destination in Brazil: an application of the TODIM method. *Mathematical and Computer Modelling*. 2009. Vol. 50, Iss. 1–2. P. 92–100.
10. El-Santawy M. F. A VIKOR method for solving personnel training selection problem. *International Journal Of Computing Science*. 2012. Vol. 1, N 2. P. 9–12.
11. Brauers W.K., Zavadskas E.K. Robustness of the multi-objective MOORA method with a test for the facilities sector. *Technological and Economic Development of Economy*. 2009. Vol. 15, N 2. P. 352–375.
12. Poklepović T., Babić Z. Stock selection using a hybrid MCDM approach. *Croatian Operational Research Review*. 2014. Vol. 5, N 2. P. 273–290.
13. Madić M., Petković D., Radovanović M. Selection of non-conventional machining processes using the OCRA method. *Serbian Journal of Management*. 2015. Vol. 10, Iss. 1. P. 61–73.
14. Анохин А.М., Глотов В.А., Павельев В.В., Черкашин А.М. Методы определения коэффициентов важности критериев. *Автоматика и телемеханика*. 1997. Вып. 8. С. 3–35.
15. Постников В.М., Спиридонов С.Б. Методы выбора весовых коэффициентов локальных критериев. *Наука и образование: электрон. журн.* 2015. № 6. С. 267–287.
16. Мірських Г.О., Реутська Ю.Ю. Комбіновані методи визначення вагових коефіцієнтів в задачах оптимізації та оцінювання якості об'єктів. *Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Радіотехніка. Радіоапаратобудування*. 2011. № 47. С. 199–211.
17. Макарова И.Л. Анализ методов определения весовых коэффициентов в интегральном показателе общественного здоровья. *Символ науки*. 2015. № 7. С. 87–94.
18. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. Москва: Радио и связь, 1991. 224 с.

19. Martínez J., Narváez R.A.C. Use of multicriteria decision making (MCDM) methods for biomass selection aimed to Fischer Tropsch processes. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2016. Vol, 34. N 6. P. 266–272.
20. Čereška A., Podvezko V., Zavadskas E.K. Operating characteristics analysis of rotor systems using MCDM methods. *Studies in Informatics and Control*. 2016. Vol. 25, № 1. P. 59–68.
21. Moghimi M., Yazdi M.T. Applying multi-criteria decision-making (MCDM) methods for economic ranking of Tehran-22 districts to establish financial and commercial centers (Case: city of Tehran). *Urban Economics and Management*. 2017. Vol. 5, N 4 (20). P. 43–55.
22. Vujčić M.D., Papić M.Z., Blagojević M.D. Comparative analysis of objective techniques for criteria weighing in two MCDM methods on example of an air conditioner selection. *Tehnika — Menadžment*. 2017. Vol. 67, N 3. P. 422–429.

Надійшла до редакції 10.06.2019

М.М. Потемкин, А.А. Седляр, А.В. Дейнега, О.П. Кравец
СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОМ
ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ
ВАЖНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ, КОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИЗУЮТ СЛОЖНУЮ СИСТЕМУ

Аннотация. Приведено общее описание типовых методов, которые используются при многокритериальном принятии решения для получения значений коэффициентов важности показателей, характеризующих сложную систему: анализа иерархий, критического расстояния, парных сравнений, рангов, Фишберна, CRITIC, энтропийного. Определены особенности этих методов, выполнены расчеты, которые иллюстрируют отличия значений коэффициентов важности показателей, получаемых с их использованием, а также приведены рекомендации по их практическому применению.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, метод критического расстояния, метод парных сравнений, метод рангов, метод Фишберна, метод CRITIC, коэффициент важности показателей, энтропийный метод.

M.M. Potomkin, A.A. Sedlyar, O.V. Deineha, O.P. Kravets
COMPARISON OF THE METHODS USED IN MULTICRITERIA DECISION MAKING
TO DETERMINE THE VALUES OF THE COEFFICIENTS OF IMPORTANCE
OF INDICATORS THAT CHARACTERIZE A COMPOSITE SYSTEM

Abstract. The paper provides a general description of typical methods that are used in multi-criteria decision making to determine the values of the coefficients of importance of indicators that characterize a composite system: analytic hierarchy process, critical distance, pairwise comparisons, ranks, Fishburn, CRITIC, entropy. The features of these methods are determined and calculations are carried out that illustrate the differences in the values of the coefficients of importance of the obtained indicators with their use. The recommendations on the practical application of these methods are provided.

Keywords: hierarchy process, critical distance method, pair wise comparison method, rank method, Fishburn method, CRITIC method, coefficients of importance of indicators, entropy method.

Потьомкін Михайло Михайлович,

доктор техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: favorite_p@ukr.net.

Седляр Андрій Андрійович,

кандидат військ. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: saa6bua@ukr.net.

Дейнега Олександр Васильович,

доктор військ. наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: davdoma@gmail.com.

Кравець Олег Петрович,

кандидат військ. наук, старший науковий співробітник, начальник науково-дослідного управління Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: kop19710303@gmail.com.