

## КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПУ ПАРЕТО ТА МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОБҐРУНТОВАНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ РАНЖУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

**Анотація.** Наведено загальний опис методу аналізу ієрархій та проведено аналіз впливу Парето-неефективних альтернатив на результати ранжування. Показано, що наслідком наявності у вихідній множині альтернатив, неефективних за Парето, може бути хибне ранжування альтернатив, а відсутність у межах методу аналізу ієрархій механізму, який надає змогу підтвердити або спростувати наявність таких альтернатив, призводить до зниження обґрунтованості отримуваних результатів. Запропоновано підхід до комплексного використання принципу Парето та методу аналізу ієрархій. Показано можливість його практичного використання на конкретному прикладі розрахунків. Зазначено, що застосування цього підходу надасть змогу підвищити обґрунтованість результатів ранжування альтернатив за рахунок вилучення Парето-неефективних альтернатив з розгляду або підтвердження їхньої відсутності.

**Ключові слова:** метод аналізу ієрархій, експертне опитування, ефект реверсу рангів, принцип Парето, Парето-ефективність, Парето-неефективність.

### ВСТУП

Відомо, що метод аналізу ієрархій (МАІ) [1] — це багатокритерійний метод прийняття компромісних рішень за результатами аналізу факторів, вплив яких не можна описати за допомогою аналітичних залежностей [2]. Наукометричні дослідження ступеня вживаності прикладних багатокритерійних методів прийняття рішення, застосованих у різних галузях практичної діяльності [3, 4], показують, що МАІ є одним з найбільш широкоживаних методів. З огляду на це, актуальним науковим завданням є проведення досліджень щодо підвищення обґрунтованості рішень, прийнятих з його використанням.

### ЗАГАЛЬНИЙ ОПИС МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ТА АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ВПЛИВУ ПАРЕТО-НЕЕФЕКТИВНИХ АЛЬТЕРНАТИВ НА РЕЗУЛЬТАТИ РАНЖУВАННЯ

Оскільки МАІ досить докладно описаний у спеціальній літературі, наведемо лише його загальний опис [1, 2]. На першому етапі визначають мету завдання, яке розв'язується. На другому етапі, виходячи з визначеної мети, будують відповідну ієрархію. На третьому етапі для кожного рівня ієрархії формують матриці парних порівнянь, які потрібно заповнити за результатами експертного опитування. При цьому кількість матриць на кожному рівні відповідає кількості вузлів вищого рівня, з якими пов'язані вузли поточного рівня, а розмір кожної з них визначається кількістю факторів, що підлягають парному порівнянню. На четвертому етапі заповнюють матриці парних порівнянь, які в МАІ є обернено симетричними. Під час заповнення наддіагональних елементів матриці експерт користується шкалою оціночних суджень, запропонованою Т. Сааті [1], та здійснює послідовне парне порівняння факторів. При цьому він повинен оцінити рівень важливості кожного з факторів порівняно з іншими з погляду його впливу на фактор вищого рівня ієрархії, для якого заповнюється матриця. На п'ятому етапі для кожної матриці парних порівнянь здійснюють оцінювання елементів вектора локальних пріоритетів, для чого розраховують компоненти власного вектора, який відповідає максимальному

власному значенню матриці, та проводять їх нормування до одиниці. На шостому етапі для кожної матриці парних порівнянь здійснюють оцінювання її узгодженості, а на сьомому — перевірку узгодженості всієї ієрархії. На останньому, восьмому, етапі розраховують вектор глобальних пріоритетів альтернатив, на основі якого здійснюють ранжування альтернатив у пріоритетний ряд за перевагою.

Слід зазначити, що МАІ неодноразово ставав об'єктом різних удосконалень та модифікацій, докладний опис яких наведено в [5]. Однак, ці дослідження здебільшого стосувались обчислювальних процедур МАІ, вплив особливостей яких на отримувані результати розглянуто в [6]. Водночас у спеціальній літературі, зокрема у роботах [7–9], наведено дані про специфічні особливості МАІ, пов'язані з проблемою реверсу рангів — можливою зміною порядку ранжування альтернатив у разі зміни переліку критеріїв (альтернатив), що розглядаються, навіть у випадку, коли змін зазнають найменш значущі критерії (альтернативи). Інакше кажучи, додавання альтернатив до переліку порівнюваних або вилучення альтернатив з нього може призвести до того, що за результатами порівняння різної кількості альтернатив ті альтернативи, які постійно перебували в переліку порівнюваних, можуть змінити своє розташування в пріоритетних рядах одна відносно іншої.

Однак, насамперед потрібно з'ясувати, чому для визначеного переліку альтернатив, порівнюваних за МАІ, потрібно враховувати можливий вплив ефекту реверсу рангів на результати їхнього ранжування. Зауважимо, що в тому випадку, коли альтернативи характеризуються чисельними значеннями показників, тобто їх можна проранжувати за допомогою відомих багатокритерійних методів (наприклад, TOSIS [10], VIKOR [11], GRA [12] тощо) без залучення експертів, пошук раціональних рішень доцільно шукати серед множини Парето-ефективних альтернатив [2, 13]. Нагадаємо, що множину Парето-ефективних альтернатив формують на основі принципу Парето [2, 13]. У тому разі, коли всі  $m$  показників, що характеризують альтернативи, потребують максимізації, його формулювання є досить простим: альтернатива  $A$  домінує над альтернативою  $B$  (тобто є Парето-ефективною), якщо для всіх показників виконується умова

$$x_{Aj} \geq x_{Bj}, \quad j=1, \dots, m, \quad (1)$$

де  $x_{Aj}$ ,  $x_{Bj}$  — значення  $j$ -го показника для альтернатив  $A$  та  $B$  відповідно, та хоча б для одного показника справджується нерівність

$$x_{Aj} > x_{Bj}. \quad (2)$$

Принцип Парето передбачає попарне порівняння альтернатив на відповідність умовам (1) та (2). Ті альтернативи, які їх не задовольняють, є Парето-неефективними. Їх виключають з подальшого розгляду через те, що кожна з цих альтернатив гарантовано поступається деякій альтернативі з тих, що увійшли до множини Парето-ефективних. Тоді особливості впливу реверсу рангів на результати ранжування альтернатив за МАІ є такими.

Нехай є множина альтернатив і відомо, що серед них є ефективні та неефективні за принципом Парето. За допомогою МАІ можна отримати два пріоритетні ряди: з неефективними альтернативами та без них. Внаслідок ефекту реверсу рангів відносно розташування альтернатив у цих рядах може бути різним.

Зрозуміло, що неефективні альтернативи розглядати як конкурентноспроможні взагалі недоцільно. Через це за основу формування рекомендацій для особи, яка приймає рішення (ОПР), доцільно брати пріоритетний ряд, отриманий без них. Проте на практиці дослідник не знає наперед, чи містить вихідна мно-

жина такі неефективні альтернативи, а у методі МАІ не передбачені механізми врахування їхньої наявності. Тому за результатами, отриманими за МАІ, ніколи не можна оцінити, чи відображає отриманий пріоритетний ряд фактичні відношення переваги між тими альтернативами, з-поміж яких доцільно шукати раціональні, чи то отримані результати зазнали впливу ефекту реверсу рангів внаслідок наявності Парето-неефективних альтернатив. Це зумовлює зниження рівня довіри до результатів, отримуваних за МАІ, та, відповідно, рівень їхньої обґрунтованості. Додатковим ефектом від наявності Парето-неефективних альтернатив є те, що сума елементів вектора пріоритетів завжди дорівнює одиниці, тобто на ці альтернативи припадає деяка частка цієї суми. Через це зменшується частка, що припадає на інші альтернативи (Парето-ефективні). Наслідком цього є спотворення співвідношень між елементами векторів локальних пріоритетів та вплив на значення елементів вектора глобальних пріоритетів.

Отже, можна дійти висновку, що наявність Парето-неефективних альтернатив у вихідній множині може призвести до хибного ранжування альтернатив, а відсутність у межах МАІ механізму, який надає змогу підтвердити або спростувати наявність таких альтернатив, зумовлює зниження рівня обґрунтованості отримуваних результатів. Тому доцільно розробити підхід до комплексного використання принципу Парето та МАІ задля усунення зазначених недоліків.

#### ПІДХІД ДО КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ПАРЕТО ТА МАІ

Суть пропонованого підходу покажемо на прикладі з [14], який ілюструє вибір планшетного комп'ютера для молодшого школяра за МАІ за наведених нижче умов.

Для порівняння вибрано чотири моделі комп'ютерів, приблизно однакових за розмірами екрану: Samsung Galaxy Tab 2 7.0 P3110 8Gb; ViewSonic ViewPad 10e; Lenovo IdeaTab A1000 16Gb; ASUS Google Nexus 7 (2013) 32Gb. Їх порівнюють за п'ятьма характеристиками: ємність акумулятора (Є); частота процесора (Ч); розмір оперативної пам'яті (П); вбудована пам'ять (ВП); роздільна здатність екрану (Р). Для порівняння цих моделей за МАІ у [14] було сформовано трирівневу ієрархію. Її перший рівень відповідає меті (вибір планшетного комп'ютера для молодшого школяра), на другому здійснюється відносне порівняння важливості характеристик, за якими будуть порівнюватись комп'ютери, а на третьому — порівняння вибраних моделей комп'ютерів за визначеними характеристиками. Згідно з цією ієрархією експерти мають заповнити одну матрицю парних порівнянь  $5 \times 5$  для другого рівня ієрархії та п'ять матриць  $4 \times 4$  для третього. Елементи цих матриць відповідно до [14] наведено в табл. 1–6, при цьому в табл. 2–6 моделі комп'ютерів ідентифіковано за назвою виробників.

На першому етапі проведемо аналіз даних, наведених у табл. 2–6, з використанням принципу Парето. За його результатами видно, що модель Lenovo поступається моделі ASUS за всіма характеристиками, тобто є Парето-неефективною і тому надалі її можна не розглядати. На другому етапі проведемо аналіз даних, наведених у табл. 2–6, виходячи з таких міркувань. За результатами використання принципу Парето на першому етапі видно, що модель Samsung переважає модель ASUS лише за ємністю акумулятора, а ступінь переваги у мат-

**Таблиця 1.** Матриця парних порівнянь другого рівня ієрархії для розглядуваного прикладу [14]

Позначення показника	Є	Ч	П	ВП	Р
Є	1	1	5	5	9
Ч	1	1	7	5	7
П	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	1	1	3
ВП	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{5}$	1	1	3
Р	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	1

**Таблиця 2.** Матриця парних порівнянь третього рівня ієрархії за ємністю акумулятора для розглядуваного прикладу [14]

Модель комп'ютера	Samsung	ViewSonic	Lenovo	ASUS
Samsung	1	$\frac{1}{3}$	5	3
ViewSonic	3	1	7	5
Lenovo	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{7}$	1	$\frac{1}{3}$
ASUS	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{5}$	3	1

**Таблиця 3.** Матриця парних порівнянь третього рівня ієрархії за частотою процесора для розглядуваного прикладу [14]

Модель комп'ютера	Samsung	ViewSonic	Lenovo	ASUS
Samsung	1	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$
ViewSonic	1	1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{7}$
Lenovo	3	3	1	$\frac{1}{5}$
ASUS	7	7	5	1

**Таблиця 4.** Матриця парних порівнянь третього рівня ієрархії за розміром оперативної пам'яті для розглядуваного прикладу [14]

Модель комп'ютера	Samsung	ViewSonic	Lenovo	ASUS
Samsung	1	1	5	$\frac{1}{5}$
ViewSonic	1	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{9}$
Lenovo	$\frac{1}{5}$	5	1	$\frac{1}{5}$
ASUS	5	9	5	1

**Таблиця 5.** Матриця парних порівнянь третього рівня ієрархії за вбудованою пам'яттю для розглядуваного прикладу [14]

Модель комп'ютера	Samsung	ViewSonic	Lenovo	ASUS
Samsung	1	5	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$
ViewSonic	$\frac{1}{5}$	1	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{9}$
Lenovo	7	5	1	$\frac{1}{5}$
ASUS	7	9	5	1

**Таблиця 6.** Матриця парних порівнянь третього рівня ієрархії за роздільною здатністю екрану для розглядуваного прикладу [14]

Модель комп'ютера	Samsung	ViewSonic	Lenovo	ASUS
Samsung	1	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$
ViewSonic	3	1	3	$\frac{1}{5}$
Lenovo	1	$\frac{1}{3}$	1	$\frac{1}{5}$
ASUS	5	5	5	1

риці парних порівнянь (табл. 2) має значення 3, яке за шкалою Сааті [1] відповідає «помірній перевазі одного над іншим». Тут постає таке питання: чи дійсно ця перевага заслуговує на врахування під час порівняння цих моделей комп'ютерів за ємністю акумулятора. У роботі [14], з якої запозичено розглядуваний приклад, наведено такі паспортні значення ємності акумуляторів: для моделі Samsung — 4000 мАгод, а для моделі ASUS — 3950 мАгод (тобто різниця

між ними становить лише 1.26 %). Зрозуміло, що школяр під час експлуатації комп'ютера її практично не відчує. Тому можна вважати, що в цьому випадку модель Samsung за цією характеристикою не відрізняється від моделі ASUS, а за сукупністю всіх характеристик модель Samsung є Парето-неефективною, отже, як і модель Lenovo, її можна виключити з подальшого розгляду. За результатами двох етапів кількість альтернативних моделей комп'ютерів, між якими потрібно зробити вибір, було зменшено з чотирьох до двох, тобто далі слід порівнювати лише моделі ViewSonic та ASUS.

На третьому етапі проведемо аналіз даних, наведених у табл. 2–6, виходячи з таких міркувань. З результатів застосування принципу Парето на першому етапі видно, що модель ViewSonic переважає модель ASUS лише за ємністю акумулятора, а ступінь переваги у матриці парних порівнянь (табл. 2) має значення 5, яке за шкалою Сааті [1] відповідає «суттєвій або сильній перевазі». Такою перевагою вже не можна нехтувати. Однак, потрібно з'ясувати, чи дійсно вона є настільки суттєвою, щоб з урахуванням важливості всіх інших характеристик величина ємності акумулятора зумовила перевагу моделі ViewSonic над моделлю ASUS. Для цього спробуємо знайти таке значення важливості характеристики «ємність акумулятора», за якого з урахуванням важливості всіх характеристик, за якими здійснюється порівняння комп'ютерів, привабливість моделі ViewSonic буде такою самою, як і моделі ASUS. Формально це означає, що слід визначити такі значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парних порівнянь другого рівня ієрархії ( $w_{\epsilon}$  для характеристики «ємність акумулятора»,  $w_{\zeta}$  для характеристики «частота процесора»,  $w_{\Pi}$  для характеристики «розмір оперативної пам'яті»,  $w_{\text{ВП}}$  для характеристики «вбудована пам'ять»,  $w_{\rho}$  для характеристики «роздільна здатність екрану»), за яких буде справджуватись умова

$$\begin{aligned} w_{\epsilon}a_V + w_{\zeta}b_V + w_{\Pi}c_V + w_{\text{ВП}}d_V + w_{\rho}e_V &\approx \\ &\approx w_{\epsilon}a_A + w_{\zeta}b_A + w_{\Pi}c_A + w_{\text{ВП}}d_A + w_{\rho}e_A \end{aligned} \quad (3)$$

де  $w_{\epsilon}, w_{\zeta}, w_{\Pi}, w_{\text{ВП}}, w_{\rho}$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння другого рівня ієрархії;  $a_V, a_A$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння третього рівня ієрархії у разі порівняння моделей комп'ютерів ViewSonic та ASUS за характеристикою «ємність акумулятора» відповідно;  $b_V, b_A$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння третього рівня ієрархії у разі порівняння моделей комп'ютерів ViewSonic та ASUS за характеристикою «частота процесора» відповідно;  $c_V, c_A$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння третього рівня ієрархії у разі порівняння моделей комп'ютерів ViewSonic та ASUS за характеристикою «розмір оперативної пам'яті» відповідно;  $d_V, d_A$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння третього рівня ієрархії у разі порівняння моделей комп'ютерів ViewSonic та ASUS за характеристикою «вбудована пам'ять» відповідно;  $e_V, e_A$  — значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці парного порівняння третього рівня ієрархії у разі порівняння моделей комп'ютерів ViewSonic та ASUS за характеристикою «роздільна здатність екрану» відповідно. В умові (3) ліва частина є формулою для розрахунку глобального пріоритету моделі ViewSonic, а права — моделі ASUS.

Відповідні матриці третього рівня ієрархії отримано з матриць, значення елементів яких наведено в табл. 2–6, шляхом вилучення з них тих стовпчиків та рядків,

**Таблиця 7.** Значення елементів векторів локальних пріоритетів для матриць парних порівнянь третього рівня ієрархії

Назва характеристики, за якою здійснюється порівняння моделі комп'ютерів	Позначення елемента вектора локальних пріоритетів	Значення елементів векторів локальних пріоритетів
Ємність акумулятора	$a_V$	0.833
	$a_A$	0.167
Частота процесора	$b_V$	0.125
	$b_A$	0.875
Розмір оперативної пам'яті	$c_V$	0.1
	$c_A$	0.9
Вбудована пам'ять	$d_V$	0.1
	$d_A$	0.9
Роздільна здатність екрану	$e_V$	0.167
	$e_A$	0.833

що відповідають моделям Lenovo та Samsung. Значення елементів векторів локальних пріоритетів для цих матриць наведено в табл. 7.

Значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці другого рівня ієрархії, для яких справджуватиметься умова (3), підберемо методом послідовних наближень, виходячи з того, що для забезпечення переваги моделі ViewSonic за характеристикою «ємність акумулятора» значення  $w_C$  має бути якомога більшим, а значення  $w_C$ ,  $w_{II}$ ,  $w_{ВП}$ ,  $w_P$  — якомога меншими. Результати розрахунків для кількох варіантів

значень  $w_C$ ,  $w_{II}$ ,  $w_{ВП}$ ,  $w_P$  наведено в табл. 8.

У результаті аналізу даних, поданих у табл. 8, можна дійти висновку, що тоді, коли значення  $w_C$ , розраховане на основі результатів експертного опитування, буде становити 0.55 або більше, перевага буде надана моделі ViewSonic. Якщо воно становитиме 0.5 або буде меншим, тоді кращою є модель ASUS. Якщо це значення міститиметься в інтервалі 0.50, ... 0.55, тоді ці моделі є практично однаковими за привабливістю і для прийняття остаточного рішення потрібно порівняти їх за додатковим показником, наприклад, вартістю.

Результати, отримані на третьому етапі, свідчать про те, що метою експертного опитування на другому рівні ієрархії має бути не порівняння всіх характеристик за ступенем їхньої відносної переваги, а визначення ступеня переваги характеристики «ємність акумулятора» відносно всіх інших. Інакше кажучи,

**Таблиця 8.** Результати оцінювання значень елементів вектора локальних пріоритетів матриці другого рівня ієрархії методом послідовних наближень

Елементи вектора локальних пріоритетів матриці другого рівня ієрархії	Значення елементів вектора локальних пріоритетів матриці другого рівня ієрархії для послідовних наближень			
	Наближення 1	Наближення 2	Наближення 3	Наближення 4
$w_C$	0.6	0.55	0.5	0.48
$w_C$	0.1	0.1125	0.125	0.13
$w_{II}$	0.1	0.1125	0.125	0.13
$w_{ВП}$	0.1	0.1125	0.125	0.13
$w_P$	0.1	0.1125	0.125	0.13
Глобальний пріоритет моделі ViewSonic	0.55	0.51	0.48	0.46
Глобальний пріоритет моделі моделі ASUS	0.45	0.49	0.52	0.54

відповідно до рекомендацій, наведених у [1], характеристики «частота процесора», «розмір оперативної пам'яті», «вбудована пам'ять», «роздільна здатність екрану» можна об'єднати в одну комплексну. Тоді вихідну ієрархію можна спростити та на другому її рівні розглянути не п'ять характеристик, а лише дві. Як наслідок, кількість порівнянь, здійснюваних експертом, зменшиться відповідно з десяти до одного. При цьому визначити пріоритет порівнюваних моделей комп'ютерів можна за результатами оцінювання елементів вектора локальних пріоритетів спрощеної матриці парних порівнянь другого рівня ієрархії відповідно до інтервалів їхніх значень, що впливають з аналізу даних, наведених у табл. 8.

Розглянутий приклад дає можливість надати загальний опис запропонованого підходу у вигляді такої послідовності етапів. На першому етапі здійснюють традиційні для МАІ формування ієрархії та матриць парних порівнянь. На другому етапі за результатами експертного опитування заповнюють матриці останнього рівня ієрархії (рівня альтернатив). Ці матриці перевіряють на узгодженість та в разі наявності неузгоджених, здійснюють їхнє відповідне коригування. На третьому етапі за принципом Парето визначають Парето-неефективні альтернативи та виключають їх з подальшого розгляду. На четвертому етапі в матрицях парних порівнянь останнього рівня ієрархії експертні оцінки, які відповідають значенню 3 («помірна перевага одного над іншим»), замінюють на 1 («однакова важливість») та знову застосовують принцип Парето. У випадку виявлення Парето-неефективних альтернатив уточнюють у експертів можливість проведення для них заміни експертних оцінок. У разі отримання згоди на таку заміну Парето-неефективні альтернативи з подальшого розгляду виключають. На п'ятому етапі здійснюють спробу спрощення ієрархії за допомогою комплексних характеристик, отриманих шляхом об'єднання кількох окремих. Слід зазначити, що в деяких випадках цей етап можна виконати так само, як у прикладі, наведеному вище. Однак, у загальному випадку таке комплексування потребує доволі творчого підходу і його не завжди можна здійснити. На шостому етапі коригують вихідну ієрархію шляхом вилучення з матриць парних порівнянь останнього рівня ієрархії рядків та стовпчиків, які відповідають Парето-неефективним альтернативам, беручи при цьому до уваги можливу появу комплексних факторів. Надалі для уточненої ієрархії використовують традиційний МАІ.

Зрозуміло, що запропонований підхід у достатньо повному обсязі можна застосовувати лише тоді, коли серед порівнюваних альтернатив будуть наявні ті, які можна вважати Парето-неефективними. Однак, навіть у тому разі, коли буде встановлено, що вихідна множина альтернатив є Парето-ефективною і спрощення ієрархії не є можливим, корисним результатом застосування цього підходу буде обґрунтована впевненість у тому, що можливий вплив ефекту реверсу рангів буде виключено внаслідок порівняння саме тих альтернатив та факторів, які дійсно потрібно розглянути. Це зі свого боку забезпечить підвищення обґрунтованості результатів ранжування альтернатив.

## **ВИСНОВКИ**

У цій статті наведено підхід до комплексного використання принципу Парето та МАІ, який гарантує усунення прояву ефекту реверсу рангів внаслідок вилучення з розгляду альтернатив, безперспективних для аналізу. У деяких випадках застосування цього підходу надає змогу спростити розглядувану ієрархію. Це сприяє зменшенню обсягів експертного опитування та підвищенню обґрунтованості результатів ранжування альтернатив. Можливість практичної реалізації запропонованого підходу проілюстровано прикладом відповідних

розрахунків. Напрямок подальших досліджень є програмна реалізація цього підходу та перевірка доцільності його практичного застосування для більшого обсягу тестових даних.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. Москва: Радио и связь, 1991. 224 с.
2. Загорка О.М., Мосов С.П., Сбитнев А.И., Стужук П.И. Элементы дослідження складних систем військового призначення. Київ: НАОУ, 2005. 100 с.
3. Aruldoss M., Lakshmi T.M., Venkatesan V.P. A survey on multi criteria decision making methods and its applications. *American Journal of Information Systems*. 2013. Vol. 1, N 1. P. 31–43.
4. Moghaddam N.B., Nasiri M., Mousavi S.M. An appropriate multiple criteria decision making method for solving electricity planning problems, addressing sustainability issue. *Int. Journal Environ. Sci. Tech.* 2011. N 8 (3). P. 605–620.
5. Миронова Н.А. Интеграция модификаций метода анализа иерархии для систем поддержки принятия групповых решений. *Радиоэлектроника, информатика, управління*. 2011. № 2. С. 47–54.
6. Латыпова В.А. О применении приближенных методов расчета в методе анализа иерархий. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017. Т. 9, № 6. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/146TVN617.pdf>.
7. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях. СПб.: Югас, 2007. 104 с.
8. Недашківська Н.І. Оцінювання реверсу рангів у методі аналізу ієрархій. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2005. № 4. С. 120–130.
9. Лотов А.В., Поспелов И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. Москва: МАКС Пресс, 2008. 197 с.
10. 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.
11. 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.
12. Şen H., Demiral M.F. Hospital location selection with Grey System Theory. *European Journal of Economics and Business Studies*. 2016. Vol. 2, N 2. P. 66–79.
13. Корнеев В.П. Методы оптимизации. Москва: Высш. шк., 2007. 664 с.
14. Кардаш А.С., Винс А.А., Баженов Р.И. Об оптимальном выборе планшетного компьютера для младшего школьника. *Современная техника и технологии*. 2014. № 10. URL: <http://technology.snauka.ru/2014/10/4712>.

Надійшла до редакції 15.06.2020



**М.М. Потемкин, А.А. Седляр, А.В. Дейнега, А.А. Зварыч**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ПАРЕТО И МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОБОСНОВАННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАНЖИРОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВ**

**Аннотация.** Приведено общее описание метода анализа иерархий и осуществлен анализ проблемы влияния Парето-неэффективных альтернатив на результаты ранжирования. Показано, что наличие в исходном множестве альтернатив, неэффективных по Парето, может приводить к ошибочному ранжированию, а отсутствие в рамках метода анализа иерархий механизма, который позволяет подтвердить или опровергнуть наличие таких альтернатив, приводит к уменьшению уровня обоснованности получаемых результатов. Предложен подход к комплексному использованию принципа Парето и метода анализа иерархий. Возможность его практического применения показана на конкретном примере расчетов. Отмечено, что применение этого подхода позволит повысить обоснованность результатов ранжирования альтернатив за счет исключения из рассмотрения альтернатив, неэффективных по Парето, или подтверждения их отсутствия.

**Ключевые слова:** метод анализа иерархий, экспертный опрос, эффект реверса рангов, принцип Парето, Парето-эффективность, Парето-неэффективность.

**M.M. Potomkin, A.A. Sedliar, O.V. Deineha, A.O. Zvarych**

**COMPREHENSIVE USE OF THE PARETO PRINCIPLE AND THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS TO INCREASE THE SUBSTANTIATION OF ALTERNATIVE RANKING RESULTS**

**Abstract.** The article provides a general description of the analytic hierarchy process and analyzes the problem of the influence of Pareto-inefficient alternatives on ranking results. It is shown that the presence of Pareto-inefficient alternatives in the original set can lead to erroneous ranking, and the lack of a mechanism within the framework of the analytic hierarchy process that confirms or disproves the existence of such alternatives decreases the level of validity of the obtained results. An approach to the integrated use of the Pareto principle and the analytic hierarchy process is proposed. The possibility of its practical application is shown on a specific example of calculations. The use of this approach will increase the validity of the ranking results of alternatives by either eliminating Pareto-ineffective ones from consideration, or confirming their absence.

**Keywords:** analytic hierarchy process, expert survey, rank reversal effect, Pareto principle, Pareto efficiency, Pareto inefficiency.

**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: saa66ua@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.

**Зварич Анатолій Олександрович,**

кандидат військ. наук, заступник начальника Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України, Київ, e-mail: zvarych\_ao@ukr.net.