

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Попов М.В. — Researcher of Ukrainian Institute for Scientific Technical Expertise and Information, 180, Antonovycha Str., Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-07; popov@ukrintei.ua

Bohatel N.V. — Head of the Department of UkrI STEI, 180, Antonovycha Str., Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-07; bogatel@ukrintei.ua

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Попов Н.В. — н.с., Украинский институт научно-технической экспертизы и информации, ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; +38 (044) 521-00-07; popov@ukrintei.ua

Богатель Н.В. — завсектором, УкрИНТЕИ, ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; +38 (044) 521-00-07; bogatel@ukrintei.ua



УДК 303.732.4

О. М. РЕВА, д-р техн. наук, професор

В. В. КАМИШИН, д-р пед. наук

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ІНТЕГРАТИВНОГО ПОКАЗНИКА КОМПЕТЕНТНОСТІ ЕКСПЕРТА

Резюме. Визначено особливу універсальну роль експертних процедур у прийнятті рішень і забезпеченні функціонування гуманістичних систем. З використанням методів нечіткої математики розроблено і запропоновано якісну шкалу оцінювання компетентності експертів, яка уявляється як терм-множина лінгвістичної змінної “Рівень компетентності експертів”, що охоплює п’ять термів: “дуже високий”, “високий”, “середній (звичайний, як у більшості)”, “низький”, “дуже низький”. За допомогою математичного методу розстановки пріоритетів, відомого також як “задача про лідера”, здійснено дефазифікацію лінгвістичних оцінок рівнів компетентності експертів шляхом надання їм відповідних “зважених” коефіцієнтів бажаності, які нелінійно змінюються. Проведено порівняльний аналіз загальної методології агрегації частинних показників рівнів компетентності у інтегративну (цілісну) оцінку, якій і лише якій притаманна системна властивість емерджентності. Обґрунтовано вибір мультиплікативного підходу до агрегації окремих оцінок компетентності, який на відміну від адитивного, припускає лише часткову компенсацію невеликих значень одних показників рівнів компетентності великими значеннями інших. Наведено приклад ефективності мультиплікативного підходу. Доведено, що реалізація запропонованих процедур дозволяє запобігти статистичним помилкам I–II роду, коли оцінка реальної компетенції або занижується (помилка I роду), або завищується (помилка II роду).

Ключові слова: експертні процедури, компетентність експертів, якісна шкала вимірювань, лінгвістична змінна, дефазифікація, коефіцієнти бажаності, мультиплікативна агрегація.

ВСТУП

Наразі функціонування будь-яких гуманістичних систем (у розумінні Л. Заде [1]) забезпечується послідовним розробленням, прийняттям і реалізацією низки управлінських рішень, методологію яких ілюструє **рис. 1** [2]. Як можна з нього побачити, більш універсальними, незалежно від класифікаційних ознак задач прийняття рішень (ПР), є методи експертних процедур (ЕП). Тому їх удосконалення, як з позицій покращення безпосередньо технологій вибору, так і з позицій відбору більш кваліфікованих і компетентних експертів, є перманентно актуальною науковою задачею.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Активне поширення ЕП почалося на теренах ще колишнього СРСР у 60-х рр. ХХ ст. після того, як відомий український учений, академік В. Глушков, усвідомивши їх значущість та перспективність, активно сприяв розповсюдженню відповідної методології.

Оскільки застосовувати ЕП мають компетентні фахівці, то визначимося, що компетентність — це ступінь наявності у фахівця, залученого до експертизи, відповідного теоретичного і методологічного потенціалу, реалізація якого вказує на його здатність (суб’єктивну можливість) вирішувати поставлені завдання експертизи.

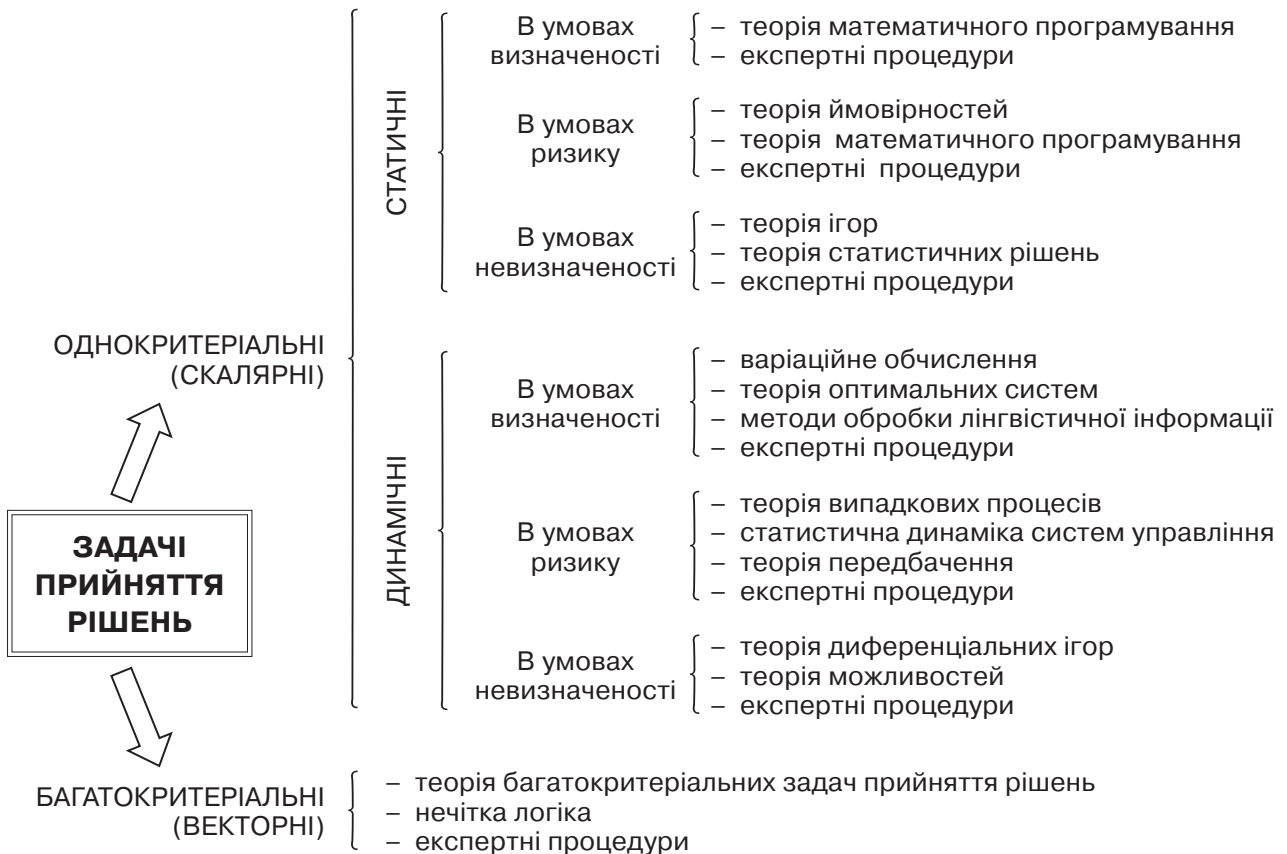


Рис. 1. Методи вирішення різноманітних задач прийняття рішень

Зазначена “суб’єктивна можливість” й означає загалом компетентність експерта, проблеми якої розглядалися у широкому спектрі досліджень [3–14 та ін.]. Основні способи їх вирішення замикаються на проведенні спеціальних організаційних заходів: тестування (застосовується рідко, оскільки украй непопулярне серед експертів); самооцінка і взаємне оцінювання компетентності експертів (отримані результати можуть виявитися вельми суб’єктивними, тому відповідна процедура має бути спеціально організованою і включати непрямі завдання оцінювання компетентності); документаційний метод (ґрунтується на об’єктивних документально підтверджуваних характеристиках експерта як фахівця, процедура “згортання” яких у показник компетентності може реалізовуватися украй суб’єктивно) [14].

Вкажемо на загальні сучасні проблеми методів оцінювання компетентності експертів. По-перше, це недостатня увага до особливостей кваліметричних шкал, що застосовуються для визначення рівня компетентності експерта (РКЕ). Внаслідок чого РКЕ зазвичай надаються якісні (переважно — рангові) оцінки, над якими потім здійснюються математичні перетворен-

ня, нібито вони є кількісними. Тобто, виникають вади методу Борда, що може призвести, до речі, і до парадоксу Кондорсе, якщо визначаються системи переваг експертів. По-друге, необґрунтованість підходу до згортання частинних показників компетентності у інтегративний (цілісний) показник, якому і лише якому притаманна системна властивість емерджентності [2; 15; 16 та ін.]. Як наслідок — застосовується лише адитивний підхід, який припускає можливість майже абсолютної компенсації скільки завгодно малих значень одних частинних показників РКЕ скільки завгодно великими значеннями по іншим. По-третє, не враховуються показники впливу людського чинника на ПР у процесі проведення експертиз. По-четверте, результати досліджень РКЕ не мають проактивного характеру тощо.

Виходячи з наведеного, **метою публікації** є дослідження і розроблення підходів до розв’язання двох перших із перелічених проблем.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Для оцінювання РКЕ введемо, користуючись методологією нечіткої математики [1; 2; 15; 17 та ін.], таку якісну шкалу, яка розглядається як

терм-множина (множина термінів, назв) відповідної лінгвістичної змінної (ЛЗ):

$$T^M(\text{PKE}) = \begin{matrix} \tilde{R}_{\text{ДВ}} \\ \text{дуже високий} + \\ \tilde{R}_{\text{В}} \\ \text{високий} + \\ \tilde{R}_{\text{С}} \\ \text{середній (звичайний, як у більшості)} + \\ \tilde{R}_{\text{Н}} \\ \text{низький} + \end{matrix} \begin{matrix} \tilde{R}_{\text{ДН}} \\ \text{дуже низький} \end{matrix} \quad (1)$$

де $T^M(\cdot)$ — позначка терм-множини ЛЗ “PKE”; “+” — позначка логічного поєднання окремих термів (оцінок PKE) у шкалу; \tilde{R}_i — позначка i -ї лінгвістичної оцінки (i -го терма) шкали.

Якщо, застосовуючи шкалу (1), провести групове експертне оцінювання PKE окремого фахівця, то, спираючись на особливості кваліметричних шкал [2; 15], для подальшої адекватної математичної обробки відповідних результатів необхідно, враховуючи досвід досліджень [18], здійснити дефазифікацію якісних оцінок цієї шкали шляхом:

- або побудови і аналізу функцій належності ЛЗ “PKE”;
- або надання якісним оцінкам відповідних коефіцієнтів бажаності відповідно до схеми на **рис. 2**.

Розглянемо другий із вказаних шляхів. А саме, аналіз наукових джерел [2; 3; 5–12; 19–26 та ін.] вказує, що більш поширеними методами визначення коефіцієнтів бажаності (значущості, важливості тощо) є такі:

- M_1 — безпосередньої чисельної оцінки;
- M_2 — бального оцінювання;
- M_3 — відносної частоти рангів;
- M_4 — попарного порівняння з градаціями;
- M_5 — послідовних порівнянь (переваг);
- M_6 — графоаналітичний;
- M_7 — згортки;
- M_8 — Терстоуна;
- M_9 — попарного порівняння.

При виборі конкретного методу визначення коефіцієнтів відносної ваги оцінок PKE слід враховувати такі чинники.

По-перше, обмеження за допустимим часом спілкування з експертами. Орієнтуючись на цей показник, перелічені методи можна упорядкувати так:

$$M_3 \approx M_3 \succ M_9 \succ M_2 \approx M_4 \succ M_1 \succ M_6 \succ M_5 \succ M_7. \quad (2)$$

По-друге, потрібну надійність оцінок, що отримуються. Тоді ряд переваг перелічених методів виглядає так:

$$M_7 \succ M_5 \succ M_6 \succ M_4 \succ M_9 \succ M_3 \succ M_2 \approx M_8 \succ M_1. \quad (3)$$

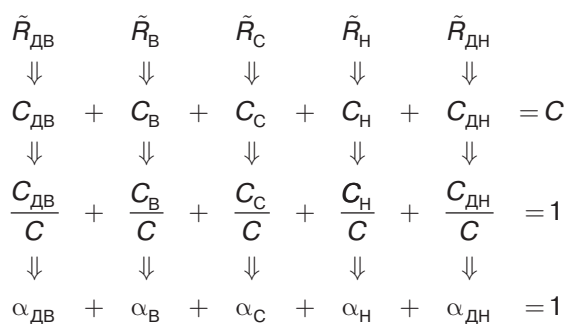


Рис. 2. Схема визначення коефіцієнтів бажаності лінгвістичних оцінок шкали “рівень компетентності експертів”

По-третє, наявність ПЕОМ і математичного забезпечення, що визначає складність обробки результатів. Тоді методи впорядковуються:

$$M_1 \approx M_2 \approx M_3 \approx M_4 \approx M_6 \approx M_8 \approx M_9 \succ M_5 \succ M_7. \quad (4)$$

Методи M_3 і M_8 застосовують тільки при груповій експертизі, тоді як інші можна застосовувати і при індивідуальному експертному опитуванні.

Отже, враховуючи, що людському мисленню притаманні саме порівняльні якісні, а не кількісні оцінки [1; 2; 15; 27; 28 та ін.], а ранжирування оцінок шкали (1) очевидне і тривіальне:

$$\begin{matrix} \text{1-й ранг} & \text{2-й ранг} & \text{3-й ранг} & \text{4-й ранг} & \text{5-й ранг} \\ \tilde{R}_{\text{ДВ}} & \succ \tilde{R}_{\text{В}} & \succ \tilde{R}_{\text{С}} & \succ \tilde{R}_{\text{Н}} & \succ \tilde{R}_{\text{ДН}} \end{matrix}, \quad (5)$$

зосередимося на методі, що базується на рангах [21], та методі розстановки пріоритетів (МРП) [6], які відповідають цій вимозі.

Отже, спираючись на ранжирування (5), “цінність” окремої лінгвістичної оцінки шкали (1) отримується так [21]:

$$C_{\tilde{R}_i} = 1 - \frac{r_{\tilde{R}_i} - 1}{n}, \quad (6)$$

де $n=5$ — кількість оцінок шкали PKE (1); $r_{\tilde{R}_i}$ — ранг i -ї оцінки відповідно до ранжирування (5).

Далі тривіально знаходиться сумарна “цінність” оцінок шкали (1):

$$C = \sum_{i=1}^{n=5} C_{\tilde{R}_i} = \sum_{i=1}^{n=5} \left(1 - \frac{r_{\tilde{R}_i} - 1}{n} \right) \quad (7)$$

і відповідні “зважені” коефіцієнти їх бажаності:

$$\alpha_{\tilde{R}_i} = \frac{C_{\tilde{R}_i}}{C} = \frac{1 - \frac{r_{\tilde{R}_i} - 1}{n}}{\sum_{i=1}^{n=5} \left(1 - \frac{r_{\tilde{R}_i} - 1}{n} \right)}; \quad \sum_{i=1}^{n=5} \alpha_{\tilde{R}_i} = 1. \quad (8)$$

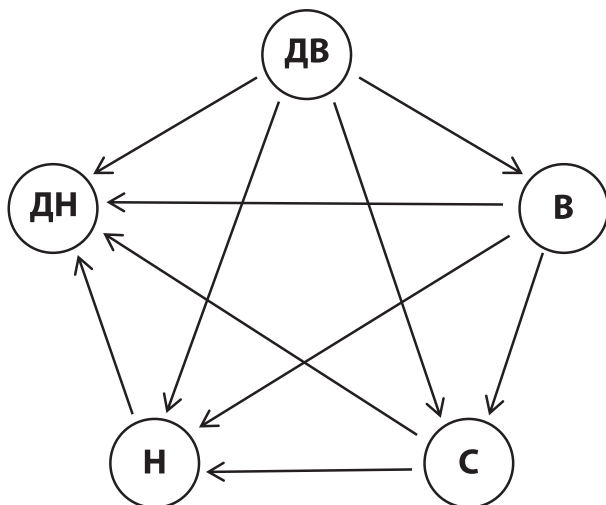


Рис. 3. Граф розстановки пріоритетів на континуумі оцінок шкали “рівень компетентності експертів”

Але з виразу (7) і, як результат, з виразу (8) витікає лінійна залежність і “цінностей” оцінок РКЕ $C_{\tilde{R}_i}$ від їх рангу, і, відповідно, коефіцієнтів бажаності цих оцінок $\alpha_{\tilde{R}_i}$, що не відповідає, як зазначалося вище, особливостям людського мислення. Тому більш прийнятним слід вважати застосування МРП, який усуває недоліки попереднього методу, що застосовує ранги, шляхом математичного формулювання “задачі про лідера” [6; 29].

У процесі застосування МРП кожна оцінка \tilde{R}_i досліджуваної шкали (1) уявляється для наочності вершиною деякого графа (рис. 3). Зв’язок між вершинами у нашому випадку, враховуючи особливості шкали (1) та ранжирування (5), відповідає правилу суворого впорядкування оцінок.

Якщо оцінка \tilde{R}_i має перевагу над іншою \tilde{R}_j ($\tilde{R}_i > \tilde{R}_j$), то на графі існує дуга ($i \rightarrow j$), і навпаки, якщо ($\tilde{R}_j > \tilde{R}_i$), то на графі існує дуга ($j \rightarrow i$).

Розглянемо спосіб розв’язання задачі.

Спочатку будується матриця C “цінностей” оцінок:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2j} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{j1} & c_{j2} & \dots & c_{jj} & \dots & c_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}, \quad (9)$$

елементи якої c_{ij} визначаються згідно з правилом, що є реалізацією такого способу виявлення переваг під час попарного порівняння альтернатив, як “частина сумарної інтенсивності” [2]:

$$c_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{якщо } \tilde{R}_i > \tilde{R}_j \\ 0, & \text{якщо } \tilde{R}_i < \tilde{R}_j \end{cases}. \quad (10)$$

Розглянемо, спираючись на [6; 18; 29; 30 та ін.], конкретні процедури застосування МРП. Для цього спочатку вводиться поняття ітераційної “цінності” порядку k оцінки \tilde{R}_i , що відображає її досліджувану “цінність”. Ітераційна цінність 1-го порядку оцінки \tilde{R}_i позначається як $C_i(1)$ і обчислюється як сума балів, властивих цій оцінці:

$$C_i(1) = \sum_{j=1}^n c_{ij}. \quad (11)$$

Як бачимо, при цьому не враховується “цінність” інших оцінок:

Розподіл балів серед n оцінок задається вектором:

$$C(1) = [C_1(1), C_2(1), \dots, C_n(1)]. \quad (12)$$

На 2-й ітерації за “цінність” оцінки шкали (1) приймається ітераційна “цінність” 1-го порядку. Обчислення здійснюються уже із врахуванням “цінностей” інших оцінок:

$$C_i(2) = \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot C_j(1). \quad (13)$$

Вона записується таким вектором:

$$C(2) = [C_1(2), C_2(2), \dots, C_n(2)]. \quad (14)$$

Подальші ітерації здійснюються аналогічно:

$$C_k = A \cdot C(k-1). \quad (15)$$

При цьому:

$$C(0) = (0, 0, \dots, 0). \quad (16)$$

Процес обчислення полягає в послідовному застосуванні перетворення, що задається матрицею A , до початкового вектора $C(0)$.

Позначимо через $\alpha_i(k)$ нормовану ітераційну “вагу” k -го порядку i -ї оцінки, що має сенс коефіцієнта “ваги”:

$$\alpha_i(k) = \frac{C_i(k)}{\sum_{i=1}^n C_i(k)}; \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i(k) = 1. \quad (17)$$

Процес обчислення нормованої ітераційної “ваги” оцінки шкали (1) можна остаточно уявити у вигляді такої формули:

$$\alpha(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \cdot C \cdot \alpha(k-1), \quad (18)$$

де $\lambda(k) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} \cdot \alpha_i(k-1)$ — сума компонентів вектора $C \cdot C(k-1)$; $k=1, 2, \dots$.

Якщо матриця C не розкладається, то розглянута процедура, згідно з теоремою Перрона-Фробеніуса [6; 22; 31], призводить до межового значення максимального числа $\lambda = \lim_{k \rightarrow \infty} C(k)$ матриці C з відповідним вектором:

$$C = \lim_{k \rightarrow \infty} C(k). \quad (19)$$

Отже, процес обчислення нормованої ітераційної “ваги” оцінки \tilde{R}_i є таким, що сходиться.

Зауважимо, що застосування процесу обчислення за формулою (18) відрізняється від простого підсумовування балів тим, що дозволяє врахувати побічні (непрямі, сховані) переваги однієї оцінки перед іншою.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведення дефазифікації якісних оцінок шкали РКЕ. Застосовуючи МРП, розіб’ємо ранжирування (5) на такі парні порівняння:

$$\begin{cases} \tilde{R}_{дв} > \tilde{R}_в & \tilde{R}_{дв} > \tilde{R}_з & \tilde{R}_{дв} > \tilde{R}_н & \tilde{R}_{дв} > \tilde{R}_{дн} \\ \tilde{R}_в > \tilde{R}_з & \tilde{R}_в > \tilde{R}_н & \tilde{R}_в > \tilde{R}_{дн} \\ \tilde{R}_з > \tilde{R}_н & \tilde{R}_з > \tilde{R}_{дн} \\ \tilde{R}_н > \tilde{R}_{дн} \end{cases} \quad (20)$$

За допомогою виразу (10) побудуємо відповідну квадратну матрицю суміжності пріоритетів цих оцінок (графи 1–6 **табл. 1**). Обчислення показників $C_{\tilde{R}_i}(1)$ і $\alpha_{\tilde{R}_i}(1)$ на 1-й ітерації тривіальне і подано в графах 7, 8 **табл. 1**. Як бачимо, результатом 1-ї ітерації є лінійні “цінності” і, відповідно, лінійні коефіцієнти бажаності якісних оцінок шкали РКЕ (1), що є неприйнятним і вимагає реалізації наступної ітерації МРП.

Обчислення $C_{\tilde{R}_i}(2)$ на 2-й ітерації застосування МРП таке:

$$C_{\tilde{R}_{дв}}(2) = 1 \cdot 9 + 2 \cdot (7 + 5 + 3 + 1) = 41;$$

$$C_{\tilde{R}_в}(2) = 1 \cdot 5 + 2 \cdot (3 + 1) = 13;$$

$$C_{\tilde{R}_з}(2) = 1 \cdot 7 + 2 \cdot (5 + 3 + 1) = 25;$$

$$C_{\tilde{R}_н}(2) = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 5;$$

$$C_{\tilde{R}_{дн}}(2) = 1 \cdot 1 = 1.$$

Отримані результати заносяться у графу 9 **табл. 1**.

Знайшовши сумарну “цінність” усіх п’яти якісних оцінок РКЕ на 2-й ітерації застосування МРП

$$\begin{aligned} C(2) &= \sum_{i=1}^{n=5} C_{\tilde{R}_i} = C_{\tilde{R}_{дв}}(2) + C_{\tilde{R}_в}(2) + \\ &+ C_{\tilde{R}_з}(2) + C_{\tilde{R}_н}(2) + C_{\tilde{R}_{дн}}(2) = \\ &= 41 + 25 + 13 + 5 + 1 = 85, \end{aligned}$$

та користуючись формулами (17), (18), нескладно отримати кількісні коефіцієнти бажаності якісних оцінок шкали РКЕ (графа 10 **табл. 1**):

$$\alpha_{\tilde{R}_{дв}}(2) = \frac{C_{\tilde{R}_{дв}}(2)}{C(2)} = \frac{41}{85} = 0,4824;$$

$$\alpha_{\tilde{R}_в}(2) = \frac{C_{\tilde{R}_в}(2)}{C(2)} = \frac{13}{85} = 0,1529;$$

$$\alpha_{\tilde{R}_з}(2) = \frac{C_{\tilde{R}_з}(2)}{C(2)} = \frac{25}{85} = 0,2941;$$

$$\alpha_{\tilde{R}_н}(2) = \frac{C_{\tilde{R}_н}(2)}{C(2)} = \frac{5}{85} = 0,0588;$$

$$\alpha_{\tilde{R}_{дн}}(2) = \frac{C_{\tilde{R}_{дн}}(2)}{C(2)} = \frac{1}{85} = 0,0118.$$

У **табл. 2** подано розрахунки показника $\alpha_{\tilde{R}_i}(k)$, отримані для наступних ітерацій застосування МРП. Як бачимо з цієї таблиці, на кожній

Таблиця 1

Квадратна матриця суміжності оцінок шкали рівнів компетентності експертів

\tilde{R}_i	$\tilde{R}_{дв}$	$\tilde{R}_в$	$\tilde{R}_з$	$\tilde{R}_н$	$\tilde{R}_{дн}$	I ітерація		II ітерація	
						Σ_1	$\alpha_1(1)$	Σ_2	α_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{R}_{дв}$	1	2	2	2	2	9	0,36	41	0,4824
$\tilde{R}_в$	0	1	2	2	2	7	0,28	25	0,2941
$\tilde{R}_з$	0	0	1	2	2	5	0,20	13	0,1529
$\tilde{R}_н$	0	0	0	1	2	3	0,12	5	0,0588
$\tilde{R}_{дн}$	0	0	0	0	1	1	0,04	1	0,0118
Σ						25	1	85	1

Результати послідовного застосування перших дев'яти ітерацій методу розстановки пріоритетів для встановлення коефіцієнтів бажаності якісних оцінок шкали рівнів компетентності експертів

\tilde{R}_i	Ітерації застосування методу розстановки пріоритетів								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tilde{R}_{ДВ}$	0,36	0,4824	0,5734	0,6407	0,6914	0,7303	0,7610	0,7856	0,8058
\tilde{R}_B	0,28	0,2941	0,2800	0,2575	0,2345	0,2136	0,1952	0,1793	0,1655
\tilde{R}_3	0,20	0,1529	0,1111	0,0818	0,0619	0,0482	0,0384	0,0312	0,0259
\tilde{R}_H	0,12	0,0588	0,0311	0,0180	0,0112	0,0074	0,0051	0,0037	0,0027
$\tilde{R}_{дн}$	0,04	0,0118	0,0044	0,0020	0,0010	0,0005	0,0003	0,0002	0,0001
Σ	1	1	1	1	1	1	1	1	1

наступній ітерації значення $\alpha_{\tilde{R}_i}(k)$ уточнюються, диференціюються і набувають все більшої нелінійності.

Вважаємо доцільним рекомендувати для подальшого застосування значення коефіцієнтів бажаності лінгвістичних оцінок шкали РКЕ (1), отримані на п'ятій ітерації застосування МРП. Оскільки, з одного боку, забезпечується достатня точність обчислень, а з іншого боку, нелінійність зміни коефіцієнтів бажаності. Порівняльні значення відповідних коефіцієнтів бажаності, отриманих саме на п'ятій ітерації застосування МРП, наочно ілюструє **рис. 4**.

Розроблення рекомендацій щодо агрегації значень окремих оцінок рівнів компетентності експертів у інтегративний показник.

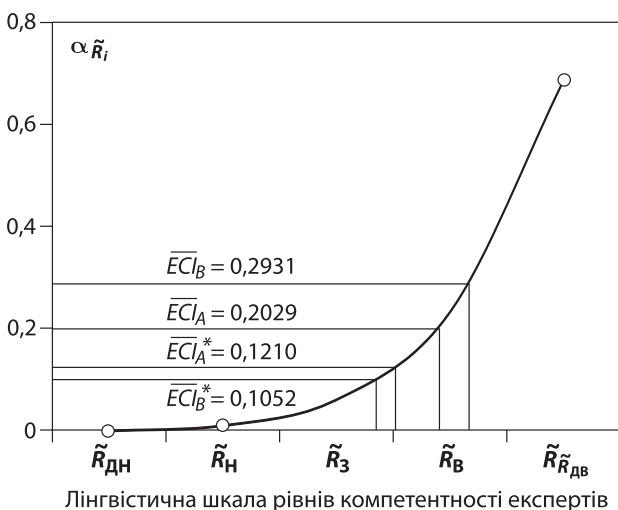


Рис. 4. Номограма, що ілюструє нелінійність коефіцієнтів бажаності оцінок рівнів компетентності експертів

Нехай у оцінюванні рівня компетентності певного фахівця бере участь m експертів. Відразу ж порушується питання щодо об'єднання їх думок у інтегративний (цілісний) показник, якому і лише якому відповідно до методології системного аналізу і теорії ПР [2; 15; 16; 32] притаманна системна властивість емерджентності. Цей показник у подальшому називатимемо *індексом компетентності експерта ECI* (Expert Competence Index).

Отримання ECI зводиться до розв'язання однокрокової задачі ПР (ЗПР) з векторним показником ефективності, в якій головний акцент робиться на обґрунтуванні та виборі відповідної функції агрегації окремих оцінок РКЕ.

Загальна функція агрегації має такий вид [2; 32]:

$$ECI_k = \left(\frac{1}{m} \sum_{j=1, i=1}^{m, n} \alpha_{kij}^p \right)^{\frac{1}{p}}, \quad (21)$$

де ECI_i — позначка індексу компетентності i -го фахівця; p — показник, що відображає допустимий ступінь компенсації невеликих значень одних показників РКЕ великими значеннями інших; α_{kij} — коефіцієнт бажаності якісної оцінки зі шкали (1), наданої j -м експертом k -му фахівцеві; m — кількість експертів, залучених до оцінювання компетентності i -го фахівця.

Спираючись на вираз (21), розглянемо і адаптуємо для потреб досліджень більш відомі частинні функції агрегації.

Отже, якщо $p=1$, то отримуємо адитивну функцію виду:

$$\overline{ECI}_k = \frac{1}{m} \sum_{j=1, i=1}^{m, n} \alpha_{kij}. \quad (22)$$

Функція агрегації виду (22) — проста і надзвичайно популярна, наприклад, у практиці досліджень в економіці, проте її застосування для інтегративного оцінювання РКЕ викликає сумніви. Адже, по-перше, щоб показник (22) дійсно характеризував реальний рівень компетентності певного фахівця, необхідно, аби спрацював закон великих чисел Чебишева [31]. Але цього неможливо досягти, оскільки суттєве збільшення чисельного складу експертної групи можливе, зі зрозумілих обставин, лише за рахунок включення до неї недостатньо кваліфікованих осіб, що ілюструє наочно **рис. 5**.

По-друге, адитивна функція агрегації припускає можливість абсолютної компенсації скільки завгодно малих значень одних оцінок РКЕ скільки завгодно великими значеннями інших (безумовно, у межах прийнятої шкали), що у загальному випадку є неприпустимим.

Якщо потрібне забезпечення приблизно однакових рівнів окремих показників РКЕ ($p \rightarrow 0$), то отримуємо такий граничний мультиплікативний вид функції агрегації:

$$ECI_k^* = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^m \alpha_{kij}} . \quad (23)$$

Мультиплікативний підхід, що реалізується виразом (23), простий і широко поширений завдяки коефіцієнтам і шкалі бажаності Харрінгтона в практиці досліджень і “чисто” технічних, і гуманістичних систем [32–35 та ін.].

Якщо із сутності ЗПР витікає абсолютна неприпустимість компенсації одних показників іншими ($p \rightarrow -\infty$), тобто необхідно забезпечити рівномірне “підтягування” усіх показників РКЕ до їх найкращих значень (скажімо, слід відібрати не просто компетентніших, а найкомпетентніших фахівців), то з виразу (21) отримуємо функцію агрегації виду:

$$ECI_i = \min_j \alpha_{ij} , \quad (24)$$

яка характеризує так зване “планування за вузьким місцем”.

Якщо ЗПР припускає абсолютну припустимість збільшення одного з показників РКЕ ціною абсолютного зменшення значень інших (наприклад, як наслідок суперечливості думок експертів), тобто $p \rightarrow +\infty$, то:

$$ECI_k = \max_j \alpha_{kij} . \quad (25)$$

Перевіримо ефективність отриманих результатів на такому віртуальному прикладі. Нехай експертна група з чисельним складом $m=9$ осіб експлікує, користуючись шкалою (1), свої думки щодо компетентності двох фахівців, А і В. Відповідні результати у вигляді рангів оцінок,

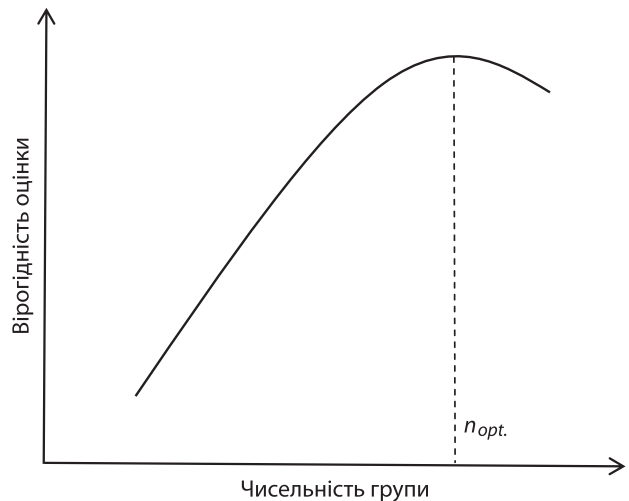


Рис. 5. Залежність вірогідності оцінки від чисельності групи

встановлених відповідно до їх ранжирування у виразі (5), подані у графах 2 і 4 **табл. 3**.

Отже, з вихідних даних витікає, що обидва фахівці мають однакову суму рангів, тому нібито мають однакову компетентність, що підтверджується через застосування функцій агрегації виду (24) (25). А саме, якщо застосувати таку функцію агрегації, як “планування за вузьким місцем” (24), то обидва фахівці мають однаково “низький РКЕ”:

$$\begin{aligned} (ECI_A = \min_j \alpha_{Aj} = 0,0112 \Rightarrow \tilde{R}_H) = \\ = (ECI_B = \min_j \alpha_{Bj} = 0,0112 \Rightarrow \tilde{R}_H) . \end{aligned}$$

З іншого боку, якщо звернутися до функції агрегації (25), то обидва фахівці мають однаково “дуже високий РКЕ”:

$$\begin{aligned} (ECI_A = \max_j \alpha_{Aj} = 0,6914 \Rightarrow \tilde{R}_{ДВ}) = \\ = (ECI_B = \max_j \alpha_{Bj} = 0,6914 \Rightarrow \tilde{R}_{ДВ}) . \end{aligned}$$

Ситуація з визначенням РКЕ для віртуальних фахівців А і В кардинально змінюється, якщо перейти до застосування коефіцієнтів бажаності оцінок. А саме, показник ECI , встановлений для фахівця А шляхом реалізації адитивного підходу до агрегації частинних оцінок експертів, в 1,44 разу перебільшує аналогічний показник фахівця В: $\overline{ECI}_B=0,2931 > \overline{ECI}_A=0,2029$. Причому і показник \overline{ECI}_A , і показник \overline{ECI}_B , як бачимо з **рис. 4**, відповідають “високому РКЕ \tilde{R}_B ”, однак віртуальний фахівець В усе-таки має перевагу перед фахівцем А. З іншого боку, якщо перейти від “ризикованого” адитивного (22) до більш “обережного” мультиплікативного (23) підходу до агрегації частинних оцінок РКЕ, то ситуація змінюється

Ілюстрація ефективності застосування коефіцієнтів бажаності рівнів компетентності експертів і мультиплікативного підходу для їх агрегації

Експерт №	Оцінювані фахівці			
	фахівець А		фахівець В	
	ранг оцінки, \tilde{R}_i	коефіцієнт бажаності, $\alpha_{\tilde{R}_i}$	ранг оцінки, \tilde{R}_i	коефіцієнт бажаності, $\alpha_{\tilde{R}_i}$
1	2	3	4	5
1	3	0,0619	5	0,6914
2	3	0,0619	5	0,6914
3	4	0,2345	2	0,0112
4	4	0,2345	2	0,0112
5	5	0,6914	2	0,0112
6	3	0,0619	5	0,6914
7	2	0,0112	3	0,0619
8	4	0,2345	4	0,2345
9	4	0,2345	4	0,2345
Σ	32	1,8263	32	2,6387
\overline{ECI}_i	—	0,2029	—	0,2931
\overline{ECI}_i^*	—	0,1210	—	0,1052

і вже фахівець А в 1,15 разу має кращі показники за фахівця В: $\overline{ECI}_A^* = 0,1210 > \overline{ECI}_B^* = 0,1052$. Причому фахівець В за оцінками експертів має “звичайний РКЕ \tilde{R}_3 ”, а показник фахівця А хай трохи, але вже перейшов до “високого РКЕ \tilde{R}_5 ”. Отже, з наведених міркувань витікає, що з двох фахівців А і В для залучення до праці у складі експертної групи має бути обраний саме фахівець А.

Так, доведено ефективність застосування функції агрегації виду (23) для отримання інтегративної оцінки РКЕ.

Запропонована методологія сприяє запобіганню так званих у статистиці помилок I–II роду, коли хороший показник РКЕ відхиляється як поганий (помилка I роду), а, навпаки, гірший може бути визначений як прийнятний (помилка II роду).

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи отримані та подані в цій публікації нові наукові результати, вкажемо на такі найбільш важливі положення.

1. Визначено особливу універсальну роль ЕП у ПР і забезпеченні функціонування гуманістичних систем.

2. Методами нечіткої математики розроблено якісну шкалу оцінювання РКЕ, яка уявля-

ється як терм-множина ЛЗ “Рівень компетентності експертів”, що охоплює п’ять термів: “дуже високий”, “високий”, “середній (звичайний, як у більшості)”, “низький”, “дуже низький”.

3. За допомогою математичного МРП, відомого також як “задача про лідера”, здійснено дефазифікацію лінгвістичних оцінок РКЕ шляхом надання їм відповідних “зважених” коефіцієнтів бажаності, які нелінійно змінюються. Обґрунтовано доцільність подальшого застосування коефіцієнтів бажаності, отриманих на п’ятій ітерації застосування МРП.

4. Здійснено порівняльний аналіз загальної методології агрегації частинних показників рівнів компетентності у інтегративну (цілісну) оцінку, якій і лише якій притаманна системна властивість емерджентності. Обґрунтований вибір мультиплікативного підходу до агрегації окремих оцінок РКЕ, який, на відміну від адитивного, припускає лише часткову компенсацію невеликих значень одних показників РКЕ великими значеннями інших.

5. Доведено, що реалізація запропонованої методології дозволяє запобігти статистичним помилкам I–II роду, коли оцінка реальної компетенції або занижується (помилка I роду), або завищується (помилка II роду). Що свідчить про ефективність такої методології.

6. Подальші дослідження слід проводити в напрямках розроблення проактивної методології оцінювання РКЕ, спираючись на показники людського чинника, що проявляються у процесах ПР.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде ; под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского ; пер. с англ. Н. И. Ринго. — М. : Мир, 1976. — 165 с.
2. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. — Т. 3: Эффективность технических систем [Текст] / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. — М. : Машиностроение, 1988. — 328 с.
3. *Миркин Б. Г.* Проблема группового выбора [Текст] / Б. Г. Миркин. — М. : Наука, 1974. — 256 с.
4. *Китаев Н. Н.* Групповые экспертные оценки [Текст] / Н. Н. Китаев. — М. : Знание, 1975. — 64 с.
5. *Бешелев С. Д.* Математико-статистические методы экспертных оценок [Текст] / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. — М. : Статистика, 1980. — 263 с.
6. *Блумберг В. А.* Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов [Текст] / В. А. Блумберг, В. Ф. Глуценко. — Л. : Лениздат, 1982. — 160 с.
7. *Панкова Л. А.* Организация экспертизы и анализ экспертной информации [Текст] / Л. А. Панкова, А. М. Петровский, М. В. Шнейдерман. — М. : Наука, 1984. — 117 с.
8. Принятие решений на основе экспертного оценивания [Текст] : метод. пособ. / Е. Н. Варакин, В. А. Желудов, В. Н. Бганцов, С. С. Ибнеев. — Л. : ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1988. — 88 с.
9. *Литвак Б. Г.* Экспертные оценки и принятие решений [Текст] / Б. Г. Литвак. — М. : Патент, 1996. — 272 с.
10. *Самохвалов Ю. Я.* Экспертное оценивание: методический аспект [Текст] / Ю. Я. Самохвалов, Е. М. Науменко. — К. : ДУИКТ, 2007. — 362 с.
11. *Гнатієнко Г. М.* Експертні технології прийняття рішень [Текст] : Монографія / Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк. — К. : ТОВ "Маклаут", — 2008. — 444 с.
12. *Орлов А. И.* Организационно-экономическое моделирование. Экспертные оценки : учебник в 3-х ч. — М. : Изд-во МТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. — Ч. 2: Экспертные оценки [Текст] / А. И. Орлов. — 2011. — 486 с.
13. *Насіров Ш. Ш.* Багатокрокова процедура виявлення статистично-узгодженої системи переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок їх діяльності [Текст] / Ш. Ш. Насіров // Коштовне господарство міст: науково-технічний збірник. — Вип. 105. — Сер. Технічні науки і архітектура. — Х. : ХНАМГ, 2012. — С. 461–475.
14. *Архипов А. Е.* Оценки уровня компетентности экспертов по результатам многообъектной экспертизы [Текст] / А. Е. Архипов, С. А. Архипова // Економіка та держава. — 2015. — № 6. — С. 29–33.
15. *Перегудов Ф. И.* Введение в системный анализ [Текст] : учеб. пособ. / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. — М. : Высшая школа, 1989. — 367 с.
16. *Анфилов В. С.* Системный анализ в управлении [Текст] : учеб. пособ. / В. С. Анфилов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. — М. : Финансы и статистика, 2002. — 368 с.
17. *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман ; под ред. С. И. Травкина ; пер. с франц. В. Б. Кузьмина. — М. : Радио и связь, 1982. — 432 с.
18. Процедура фазифікації / дефазифікації балів шкал оцінювання [Текст] / В. В. Камишин, О. М. Рева, Л. М. Макаренко, О. М. Медведенко // Електроніка та системи управління : наук. журн. — К. : НАУ, 2012. — № 3. — С. 53–62.
19. *Черчмен У.* Введение в исследование операций [Текст] / У. Черчмен, Р. Акофф, Л. Арноф ; пер. с англ. — М. : Наука, 1968. — 486 с.
20. *Евланов Л. Г.* Экспертные оценки в управлении [Текст] / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. — М. : Экономика, 1978. — 133 с.
21. *Денисов А. А.* Теория больших систем управления [Текст] : учеб. пособ. / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. — Л. : Энергоиздат, 1981. — 238 с.
22. *Батищев Д. И.* Методы оптимального проектирования [Текст] : учеб. пособ. для вузов / Д. И. Батищев. — М. : Радио и связь, 1984. — 248 с.
23. *Лакин Г. Ф.* Биометрия [Текст] / Г. Ф. Лакин. — М. : Высшая школа, 1990. — 352 с.
24. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. — М. : Радио и связь, 1993. — 314 с.
25. *Герасимов Б. М.* Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности [Текст] / Б. М. Герасимов, М. М. Дивизинюк, И. Ю. Субач. — Севастополь, 2004. — 320 с.
26. *Рева О. М.* Комплексне визначення кількісних характеристик недисциплінованої поведінки студентів [Текст] / О. М. Рева, І. А. Добрянський, А. А. Чабак // Рідна школа : щомісяч. наук.-пед. журн. — К. : Деміур, 2004. — № 12. — С. 63–66.
27. *Козелецкий Ю.* Психологическая теория решений [Текст] / Ю. Козелецкий ; под ред. Б. В. Бирюкова ; пер. с польск.: Г. Е. Минца, В. Н. Поруса. — М. : Прогресс, 1979. — 504 с.
28. *Скотт П.* Психологические оценки и принятие решений [Текст] / Плаус Скотт. — М. : ИИД "Филинь", 1998. — 368 с.
29. *Берж К.* Теория графов и ее применение [Текст] / К. Берж ; пер. с франц. — М. : ИЛ, 1962. — 320 с.
30. *Камишин В. В.* Методы системного анализа у кваліметрії навчально-виховного процесу [Текст] : Монографія. — К. : ТОВ "Інформаційні системи", 2012. — 270 с.
31. *Бронштейн И. Н.* Справочник по математике (для инженеров и учащихся вузов) [Текст] / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев ; пер. с нем. ; под ред.: Г. Гроше, В. Циглера. — Лейпциг : Тойбнер ; М. : Наука, 1981. — 719 с.
32. Мультипликативный подход к интегральной оценке уровня профессиональной подготовки авиационных операторов [Текст] / А. Н. Рева, В. А. Шульгин, С. П. Борсук [и др.] // *Elmi məsələlər : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin*, — Baki, iyul — Sentyabr 2014. — Child. 16. — С. 42–53.
33. *Harrington E. C.* *Industr. Quality control* / E. C. Harrington. — 1965. Vol. 21, № 10.
34. *Адлер Ю. П.* Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Text] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. — М. : Наука, 1976. — 278 с.
35. *Камишин В. В.* Совершенствование шкалы Харрингтона для интегральной оценки академической одаренности [Текст] / В. В. Камишин,

A. H. Reva // Обдаровані діти — інтелектуальний потенціал держави: м-ли Міжнар. наук.-практ. конф., 26–30 вересня 2013 року, смт Гаспра, АР Крим. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2013 — С. 23–33.

REFERENCE

1. Zade L. (1976) Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh resheniy [The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions]. Ed. N. N. Moiseeva, S. A. Orlovskogo. Transl. from English N. I. Ringo. Moscow (in Russ.): Mir Publ., 165 p.
2. Nadezhnost i effektivnost v tekhnike: Effektivnost tekhnicheskikh sistem [Reliability and efficiency in technology: a guidebook of 10 volumes. Vol. 3: Efficiency of technical systems] Ed. V. F. Utkina, Yu. V. Kryuchkova. Moscow (in Russ.): Mashinostroenie Publ., 1988, 328 p.
3. Mirkin B. G. (1974) Problema gruppovogo vybora [The problem of group choice]. Moscow (in Russ.): Nauka Publ., 256 p.
4. Kitaev N. N. (1975) Gruppovye ekspertnye otsenki [Group expert assessments]. Moscow (in Russ.): Znanie Publ., 64 p.
5. Beshelev S. D., Gurvich F. G. (1980) Matematiko-statisticheskie metody ekspertnykh otsenok [Mathematical and statistical methods of expert evaluation]. Moscow (in Russ.): Statistika Publ., 263 p.
6. Blyumberg V. A., Glushchenko V. F. (1982) Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioriteto [What is the best solution? Method of arrangement of priorities]. Leningrad (in Russ.): Lenizdat Publ., 160 p.
7. Pankova L. A., Petrovskiy A. M., Shneyderman M. V. (1984) Organizatsiya ekspertizy i analiz ekspertnoy informatsii [Organization of examination and analysis of expert information]. Moscow (in Russ.): Nauka Publ., 117 p.
8. Vapakin Ye. N., Zheludov V. A., Bgantsov V. N., Ibaneev S. S. Prinyatie resheniy na osnove ekspertnogo otsenivaniya [Decision-making on the basis of expert evaluation]. Toolkit. Leningrad (in Russ.): VIKI im. A. F. Mozhayskogo Publ., 1988. — 88 p.
9. Litvak B. G. (1996) Ekspertnye otsenki i prinyatie resheniy [Expert assessments and decision-making]. Moscow (in Russ.): Patent Publ., 272 p.
10. Samokhvalov Yu. Ya., Naumenko Ye. M. (2007) Ekspertnoe otsenivanie: metodicheskii aspekt [Expert evaluation: the methodological aspect]. — Kyiv (in Ukr.): DUIKT Publ., 362 p.
11. Hnatiienko H. M., Snytiuk V. Ye. (2008) Ekspertni tekhnolohii pryiniattia rishen [Expert Decision-Making Technologies]. Monograph. Kyiv (in Ukr.): TOV "Maklout" Publ., 444 p.
12. Orlov A. I. (2011) Organizatsionno-ekonomicheskoe modelirovanie. Ekspertnye otsenki [Organizational-economic modeling. Expert assessments]. A textbook in 3 volumes. Moscow (in Russ.): Izd-vo MTU im. N. E. Bauman Publ., 486 p.
13. Nasirov Sh. Sh. (2012) Bahatokrokovaya protsedura vyavleniya statystychno-uzghodzhenoii systemy perevah aviadyspetcheriv na mnozhyni kharakternykh pomylok yikh diialnosti [Multi-year procedure for the identification of the statistically harmonized system of advantages of air traffic controllers on a set of characteristic errors of their activities]. Komunalne hospodarstvo mist: naukovu-tekhnichniy zbirnyk [Municipal economy of cities: scientific and technical collection]. Iss. 105, Series of Engineering Sciences and Architecture. Khmelnytskyi (in Ukr.): KhNAMH Publ., pp. 461–475.
14. Arkhipov A. Ye., Arkhipova S. A. (2015) Otsenivanie urovnya kompetentnosti ekspertov po rezul'tatam mnogoobektnoy ekspertizy [Evaluation of the level of competence of experts based on the results of multi-subject expertise]. Yekonomika ta derzhava [Economy and state]. Vol. 6, pp. 29–33.
15. Peregodov F. I., Tarasenko F. P. (1989) Vvedenie v sistemnyy analiz [Introduction to system analysis]. Tutorial. Moscow (in Russ.): Vysshaya shkola Publ., 367 p.
16. Anfilatov V. S., Yemelyanov A. A., Kukushkin A. A. (2002) Sistemnyy analiz v upravlenii [System analysis in management]. Tutorial. Moscow (in Russ.): Finansy i statistika Publ., 368 p.
17. Kofman A. (1982) Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Ed. S. I. Travkina. Transl. from French. V. B. Kuzmina. Moscow (in Russ.): Radio i svyaz Publ., 432 p.
18. Kamyshyn V. V., Reva O. M., Makarenko L. M., Medvedenko O. M. (2012) Protседura fazyfikatsii / defazyfikatsii baliv shkal otsiniuvannia [The procedure of phasification / dephasification of scoring scoring points]. Elektronika ta systemy upravlinnia [Electronics and control systems]. Kyiv (in Ukr.): NAU Publ., Vol. 3, pp. 53–62.
19. Cherkmen U., Akoff R., Arnof L. (1968) Vvedenie v issledovanie operatsiy [Introduction to the study of operations]. Transl. from English. Moscow (in Russ.): Nauka Publ., 486 p.
20. Yevlanov L. G., Kutuzov V. A. (1978) Ekspertnye otsenki v upravlenii [Expert assessments in management]. Moscow (in Russ.): Ekonomika Publ., 133 p.
21. Denisov A. A., Kolesnikov D. N. (1981) Teoriya bol'shikh sistem upravleniya [The Theory of Large Control Systems]. Tutorial. Leningrad (in Russ.): Energoizdat Publ., 238 p.
22. Batishchev D. I. (1984) Metody optimalnogo proektirovaniya [Methods of Optimal Design]. Tutorial. Moscow (in Russ.): Radio i svyaz Publ., 248 p.
23. Lakin G. F. (1990) Biometriya [Biometrics]. Moscow (in Russ.): Vysshaya shkola Publ., 352 p.
24. Saati T. (1993) Prinyatie resheniy. Metod analiza ierarkhiy [Decision-making. The method of analyzing hierarchies]. Moscow (in Russ.): Radio i svyaz Publ., 314 p.
25. Gerasimov B. M., Divizinyuk M. M., Subach I. Yu. (2004) Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy: proektirovanie, primenenie, otsenka effektivnosti [Decision Support Systems: Projecting, Application, Evaluation of Efficiency]. Sevastopol (in Ukr.), 320 p.
26. Reva O. M., Dobrianskyi I. A., Chabak A. A. (2004) Kompleksne vyznachennia kil'kisnykh kharakterystyk nedystsyplinovanoi povedinky studentiv [Complex definition of quantitative characteristics of non-disciplined student behavior] Ridna shkola: shchomisiach. nauk.-ped. zhurn. Kyiv (in Ukr.): Demiur Publ., Vol. 12, pp. 63–66.
27. Kozel'skiy Yu. (1979) Psihologicheskaya teoriya resheniy [Psychological Theory of Solutions]. Ed. B. V. Byriukova. Transl. from Poland: H. E. Myn'tsa, V. N. Porusa. Moscow (in Russ.): Prohress Publ., 504 p.
28. Skott P. (1998) Psihologicheskoe otsenki i prinyatie resheniy [Psychological evaluation and decision-making]. Moscow (in Russ.): IID "Filin" Publ., 368 p.
29. Berzh K. (1962) Teoriya grafov i ee primenenie [The theory of graphs and its application]. Transl. from French. Moscow (in Russ.): IL Publ., 320 p.

30. Kamyshyn V. V. (2012) Metody systemnoho analizu u kvalimetrii navchalno-vykhovnoho protsesu [Methods of system analysis in the qualimetry of the educational process]. Monohrafiia. Kyiv (in Ukr.): TOV "Informatsiini systemy" Publ., 270 p.
31. Bronshteyn I. N., Semendyaev K. A. (1981) Spravochnik po matematike (dlya inzhenerov i ucha-shchikhysya vuzov) [Handbook on mathematics (for engineers and students of universities)]. Transl. from German. Ed. G. Groshe, V. Tsiglera. — Leyptsig: Toybner; Moscow (in Russ.): Nauka Publ., 719 p.
32. Reva A. N., Shulgin V. A., Borsuk S. P. et al. Borsuk Multiplikativnyy podkhod k integralnoy otsenke urovnya professionalnoy podgotovki aviatsionnykh operatorov [A multiplicative approach to the integrated assessment of the level of training of aviation operators] Elmi məcmuələr : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin, Baki, iyul — Sentyabr 2014. — Child. 16. pp. 42–53.
33. Harrington E. C. (1965) Industr. Quality control. Vol. 21, no. 10.
34. Adler Yu. P., Markova Ye. V., Granovskiy Yu. V. (1976) Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy [Planning an experiment in search of optimal conditions]. Moscow (in Russ.): Nauka Publ., 278 p.
35. Kamyshyn V. V., Reva A. N. (2013) Sovershenstvo-vanie shkaly Kharringtona dlya integralnoy otsenki akademicheskoy odarennosti [Improving the Harrington Scale for Integral Assessment of Academic Giftedness] Obdarovani dity — intelektualnyi potentsial derzhavy [Gifted Children is Intellectual Potential of the State] materials of the International Scientific and Practical Conference, September 26–30, Gaspra, Crimea, Kyiv (in Ukr.): Gifted Child Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, pp. 23–33.

O. M. Reva, Doctor of Science in Engineering, Professor

V. V. Kamyshyn, Doctor of Science in Pedagogy

DETERMINATION METHOD FOR INTEGRATIVE INDICATOR OF EXPERT COMPETENCE

Abstract. A special universal role of expert procedures in a decision-making process and functioning of humanistic systems has been obtained. By methods of fuzzy mathematics, a qualitative scale for assessing the competence of experts has been developed and proposed. The scale is a term-set of the linguistic variable "Expert competence level" and covers five terms: "very high", "high", "average (normal)", "low", "very low". Using mathematical method of prioritization, which is also called as "the task of the leader", defuzzification of linguistic assessments of expert competence levels was carried out. This happens through providing them with appropriate, non-linearly changing "weighted" coefficients of desirability. A comparative analysis of the general methodology of aggregation of particular indicators of competency levels into an integrative (integral) assessment, which alone is inherent in the system property of emergence, is carried out. The choice of the multiplicative approach to the aggregation of private competency assessments is justified, which, unlike the additive one, allows only partial compensation of small values of some indicators of competence levels by large values for others. An example of the effectiveness of the multiplicative approach is given. It is proved that the implementation of the proposed procedures makes it possible to avoid statistical errors of the I–II kind when the evaluation of real competence is either underestimated (error of the first kind) or overestimated (error of the second kind).

Keywords: expert procedures, expert competence, qualitative measurement scale, linguistic variable, defuzzification, desirability coefficients, multiplicative aggregation.

A. N. Reva, д-р техн. наук, професор

V. V. Kamiшин, д-р пед. наук

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАТИВНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ЭКСПЕРТА

Резюме. Выявлено особую универсальную роль экспертных процедур в принятии решений и обеспечении функционирования гуманистических систем. Методами нечеткой математики разработана и предложена качественная шкала оценивания компетентности экспертов, которая представляется как терм-множество лингвистической переменной "Уровень компетентности экспертов" и охватывает пять термов: "очень высокий", "высокий", "средний (обычный, как у большинства)", "низкий", "очень низкий". С помощью математического метода расстановки приоритетов, известного также как "задача о лидере", осуществлено дефаззификацию лингвистических оценок уровней компетентности экспертов путем предоставления им соответствующих, нелинейно изменяющихся "взвешенных" коэффициентов желательности. Проведен сравнительный анализ общей методологии агрегации частных показателей уровней компетентности в интегративную (целостную) оценку, которой и только которой присуще системное свойство эмерджентности. Обоснован выбор мультипликативного подхода к агрегации частных оценок компетентности, который, в отличие от аддитивного, допускает лишь частичную компенсацию небольших значений одних показателей уровней компетентности большими значениями других. Приведен пример эффективности мультипликативного подхода. Доказано, что реализация предложенных процедур позволяет избежать статистических ошибок I – II рода, когда оценка реальной компетенции или занижается (ошибка I рода), или завышается (ошибка II рода).

Ключевые слова: экспертные процедуры, компетентность экспертов, качественная шкала измерений, лингвистическая переменная, дефаззификация, коэффициенты желательности, мультипликативная агрегация.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Рева Олексій Миколайович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри “Організації авіаційних перевезень і послуг” Національного авіаційного університету, п-т Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна; ran54@meta.ua

Камышин Володимир Вікторович — д-р пед. наук, с.н.с., член-кореспондент НАПН України, в.о. директора Українського інституту науково-технічної експертизи та інформації, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-10

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Reva O.M. — Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of department, National Aviation University, 1, Kosmonavta Komarova Av., Kyiv, 03058, Ukraine; ran54@meta.ua

Kamyshyn V. V. — Doctor of Science in Pedagogy, Corresponding member of the NAES of Ukraine, director of Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information, 180, Antonovycha Str., Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-10

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Рева А.Н. — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Организации авиационных перевозок и услуг” Национального авиационного университета, п-т Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина; ran54@meta.ua

Камышин В.В. — д-р пед. наук, с.н.с., член-кореспондент НАПН Украины, в.о. директора Украинско-го института научно-технической экспертизы и информации, ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; +38 (044) 521-00-10



ДО УВАГИ НАУКОВЦІВ!

**УкрІНТЕІ ЗАПРОВАДИВ ПОСЛУГУ
ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СПОЖИВАЧІВ**

Комплексне інформаційне обслуговування — це створені в УкрІНТЕІ періодичні інформаційні матеріали з найактуальніших питань наукового, науково-технічного та інноваційного розвитку і трансферу технологій щомісячно в on-line режимі впродовж року.

Пропонуємо вам інформаційні пакети:

- “**Наука, технології, інновації**” — 6 видань щомісячно;
- “**Комплексний інформаційний пакет**” — 9 видань щомісячно.

Детальніше на сайті УкрІНТЕІ: www.uintei.kiev.ua

КОНТАКТИ:

тел. (044) 521-00-39, 521-09-48, e-mail: uintei.ua@gmail.com,
uintei.info@gmail.com, sale@uintei.kiev.ua