

О. А. Мураховська, Н. А. Українець

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК НА ЕТАПІ ПОПЕРЕДНЬОГО ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

Анотація. Актуальність. На сьогоднішній день актуальною є розробка програмного комплексу САКОПР 2.0 з розширеними функціональними можливостями та покращеним інтерфейсом. **Методи дослідження.** Математичний апарат теорії нечітких множин, багатокритеріального аналізу варіантів, розпізнавання образів та експертних систем. **Мета статті:** проаналізувати існуючі методи та підходи до знаходження вагових коефіцієнтів експертів та побудови узагальненого ранжування альтернатив в умовах неспівпадаючих оцінок експертів. Також необхідно розробити методику, що дозволяє надалі розширити та доповнити функціональні можливості програмного комплексу САКОПР. **Отримані результати.** Проаналізовано основні властивості статистичних оцінок, що відображають узгодженість експертних оцінок, а також показники, що дозволяють оцінювати множинну узгодженість думок щодо одного чи більше об'єктів експертизи. Описано застосування методів статистичної обробки експертних оцінок при груповому узгодженні у разі різноспрямованих показників, що включає аналіз узгодженості оцінок експертів, побудова узагальненого ранжування та обчислення вагових коефіцієнтів експертів. Розроблено методику та показано можливість використання цієї методики на етапі попереднього проектування складних технічних систем з різним принципом дії ступенів. **Висновок.** Розроблений у роботі підхід може бути використаний на етапі концептуального проектування складних технічних систем з різним принципом дії ступенів.

Ключові слова: експертні оцінки, ранжування, неспівпадаючі оцінки експертів, групове узгодження, узагальнені ранжування, вагові коефіцієнти.

Вступ

Проектування сучасного літального апарату (ЛА) або його систем прийнято розбивати на низку етапів. Зовнішнє (концептуальне) проектування є першим етапом всього життєвого циклу майбутнього технічного виробу, у якому формується його основна ідея. Методи концептуального проектування ЛА, як правило, відносяться до класу евристичних, відповідно вони найважче піддаються алгоритмізації. Проте вирішення проблем концептуального проектування можливе лише за умови його автоматизації, тобто раціонального розподілу функцій між людиною (генератором ідей) та комп'ютером, що різко підвищує ефективність та швидкість аналізу згенерованих альтернативних варіантів [1].

Система автоматизованого концептуального проектування САКОПР [2], розроблена зусиллями викладачів кафедр 103, 105 та 405 НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» – простий та зручний програмний продукт, розроблений для концептуального проектування багатоступінчастих авіаційних систем із різним принципом дії ступенів. Спочатку він створювався для розв'язання прикладної задачі концептуального проектування двоступінчастої швидкодіючої системи аварійної стабілізації динамічно подібної моделі (СДПМ), що втратила стійкість і керованість по тангажу, і показав свою ефективність і доцільність у використанні на етапі попереднього проектування також і інших складних систем.

На сьогоднішній день актуальною є розробка програмного комплексу САКОПР 2.0 з розширеними функціональними можливостями та покращеним інтерфейсом для концептуального проектування складних багатоступеневих технічних систем із різним принципом дії ступенів. Для цього використовується мате-

матичний апарат теорії нечітких множин, багатокритеріального (у тому числі і нечіткого) аналізу варіантів [3], розпізнавання образів та експертних систем.

Послідовність робіт із створення програмного комплексу САКОПР 2.0 аналогічна етапам проектування першої версії програмного продукту [2, 4]. Перший етап робіт - це розчленування створюваної системи на підсистеми, аналіз їх функціонального взаємозв'язку та пошук відносно незалежних підсистем, варіантне проектування яких не корелюється з рештою сукупності підсистем. Виняток такої підсистеми з процесу комбінування дозволяє значно скоротити кількість альтернативних варіантів, що генеруються і підлягають селекції.

Наступний етап робіт - формування напрямів проектно-конструкторського пошуку. Зупинимось на цьому етапі докладніше.

Напрями проектно-конструкторського пошуку у окремому випадку можуть збігатися з функціональним членуванням системи на підсистеми, але у загальному випадку можуть і не збігатися з ним. Розроблений метод [2, 4–7] і програмне забезпечення, що його реалізує, дозволяють розглядати кожен з напрямків евристичного пошуку як гілку з різним рівнем членування. Упорядковане розташування проектно-конструкторських рішень відповідно до принципів, методів і способів не тільки сприяє систематизованому розгляду всіх можливих підходів до вирішення цієї проблеми, але має своє функціональне значення на етапі селекції альтернативних варіантів.

Ефективність розглянутого рішення щодо кожного з показників [8] оцінюється зручним для користувача способом, наприклад, за п'ятибальною шкалою. Узагальненою характеристикою ефективності того чи іншого проектно-конструкторського рішення є ваговий коефіцієнт (який рекомендується признач-

ати у певному діапазоні, наприклад, від 0,1 до 2). Діапазон варіювання вагового коефіцієнта так само, як і решта робочих параметрів, може бути довільно обраний користувачем.

На цьому етапі [2, 4–7] передбачалося, що експерт чи група експертів, які призначають вагові коефіцієнти, мають однакові цілі та пріоритети, і при цьому не виникає конфлікту інтересів. Тобто у разі групової експертної оцінки ваговий коефіцієнт визначався внаслідок відкритого обговорення із наступним голосуванням [9]. Розглянемо ситуацію, коли рішення приймає група експертів – фахівців із різних галузей. Наприклад, у [10] передбачалося, що у групу експертів раціонально включати фахівців різного профілю: теоретиків (1), експериментаторів (2), проектувальників (3), експлуатантів (4), фахівців із розслідування льотних подій (5). Очевидно, що в цьому випадку оцінки експертів можуть мати дуже великий розкид. Тому необхідно застосувати методи побудови узагальненого ранжування альтернатив з урахуванням вагових коефіцієнтів експертів із подальшим аналізом та корекцією отриманих результатів [11, 12].

Мета статті: проаналізувати існуючі методи та підходи до знаходження вагових коефіцієнтів експертів та побудови узагальненого ранжування альтернатив в умовах неспівпадаючих оцінок експертів; розробити методіку, що дозволяє надалі розширити та доповнити функціональні можливості програмного комплексу САКОПР для концептуального проектування складних багатоступеневих технічних систем з різним принципом дії ступенів.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо задачу формалізації групового оцінювання альтернатив. Нехай m експертів оцінили n альтернатив за l показниками. В результаті отримано величини x_{ij}^h ($i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, m}$; $h = \overline{1, l}$). Тут можливі два випадки:

1) x_{ij}^h отримані методами безпосередньої оцінки або методом послідовного порівняння, тобто величини x_{ij}^h є числами або балами;

2) оцінка альтернатив здійснена методом ранжування, і величини x_{ij}^h є рангами.

У цій статті розглянемо випадок 1. Виконаємо розрахунок вагових коефіцієнтів експертів методом, описаним у [9, 13]. Передбачається, що компетентність експертів має оцінюватись за ступенем узгодженості їх оцінок із груповою оцінкою альтернатив.

Алгоритм обчислення групових оцінок має вигляд рекурентної процедури:

1) початкові умови при $t = 0$

$$x_i^0 = 1/m \quad (j = \overline{1, m});$$

2) рекурентні співвідношення для x :

а) $x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij}^t k_j^{t-1}$ ($i = \overline{1, n}$) – групова оцінка для

i -го об'єкта на t -му кроці на основі індивідуальних оцінок x_{ij} ;

б) $\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}^t x_{ij}$ ($t = 1, 2, \dots$) – нормувальний

коефіцієнт;

в) $k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t$ ($j = \overline{1, m-1}$) – коефіцієнти

компетентності j -го експерта на t -му кроці;

г) $k_m^t = 1 - \sum_{j=1}^{m-1} k_j^t$ – коефіцієнти компетентності

m -го експерта з умови нормування;

3) ознака закінчення ітераційного процесу

$$\max \left(\left| x_i^t - x_i^{t-1} \right| \right) < E.$$

У [9] досліджено питання збіжності аналізованої рекурентної процедури і показано, що з невід'ємності і нерозкладності матриць B і C умови збіжності завжди виконуються в практичних задачах. Тут

$$B = A \cdot A^T, \quad C = A^T \cdot A, \quad A = \|x_{ij}\|.$$

При оцінці та ранжируванні альтернатив експерти часто розходяться у своїх оцінках. Тому важливою є кількісна оцінка ступеня згоди експертів. Якщо кількість альтернатив $n \leq 7$, то як таку оцінку використовують дисперсійний коефіцієнт конкордації, що визначається як відношення оцінки дисперсії до максимального значення цієї оцінки

$$W = D/D_{\max}.$$

Якщо кількість альтернатив $n > 7$, то оцінка значущості коефіцієнта конкордації може бути здійснена за критерієм χ^2 :

$$\chi^2 = 12S / \left(mn(n+1) - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m T_j \right).$$

Тут $S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2$, де $\|r_{ij}\|$ – матриця ранжу-

вання альтернатив; $T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k)$, де T_j – показник пов'язаних рангів у j -му ранжуванні; h_k – число рівних рангів у k -й групі пов'язаних рангів при ранжируванні j -м експертом.

Якщо співпадаючих рангів немає, то $H_j = 0$, $h_k = 0$ і, отже, $T_j = 0$. Діапазон значень коефіцієнта конкордації $W \in [0, 1]$.

У випадку, коли всі експерти дають однакові оцінки, $W = 1$. За повної відсутності узгодженості оцінок маємо $W = 0$. Зауважимо, що для цієї задачі

коректніше використовувати підхід, запропонований у роботі [14] у разі нестроного ранжирування за наявності зв'язаних рангів:

$$W = 12 S(\Delta^2) / \left(m^2(n^3 - n) - (2m - p) \sum_{j=1}^m T_j \right), \quad (1)$$

де p – кількість експертів, у ранжируваннях яких є рівні ранги.

Для оцінки рівня узгодженості думок усіх експертів щодо рангу однієї альтернативи обчислюють коефіцієнт варіації. Оскільки в розглянутій задачі необхідно враховувати інформацію про відстань між рангами, було обрано коефіцієнт варіації Беккера:

$$V_i^B = \sum_{j=1}^n \sum_{k>j} (x_{ij} x_{ik} (k - j)) / C_m^2, \quad V^B \in [0, n/2], \quad (2)$$

де C_m^2 – число сполучень з n по 2.

Збільшення значення коефіцієнта означає розкид оцінок експерта щодо відповідної альтернативи.

При аналізі результатів може бути корисним коефіцієнт варіації, розрахований за елементами узагальненого вектор значущості [15]:

$$V = \sqrt{n \sum_{i=1}^n (\lambda_i^* - 1/n)^2}, \quad (3)$$

де λ_i^* – узагальнена значущість i -го об'єкта. Він дозволяє оцінити відмінність альтернатив по відношенню один до одного. Чим ближче значення коефіцієнта V до одиниці, тим більше відчутна різниця між значущістю провідних альтернатив та значущістю альтернатив-аутсайдерів.

Розрахунок коефіцієнтів компетентності експертів та узагальненої оцінки альтернатив також можна здійснити за формулами:

$$B \bar{x} = \lambda_B \bar{x}, \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad |B - \lambda_B E| = 0, \quad (4)$$

$$C \bar{k} = \lambda_C \bar{k}, \quad \sum_{j=1}^m k_j = 1, \quad |C - \lambda_C E| = 0,$$

де \bar{x} , \bar{k} – власні вектори матриць B і C , що відповідають максимальним власним числам λ_B і λ_C цих матриць.

Далі перейдемо до побудови та розрахунку узагальненого ранжування альтернатив, елементи якого задамо за правилами:

$$y_{ik}^j = \begin{cases} 1, & x_{ij} \leq x_{kj}, \\ 0, & x_{ij} > x_{kj}, \end{cases} \quad (5)$$

де x_{ij} , x_{kj} – ранги, присвоєні j -м експертом i -й і k -й альтернативам.

Узагальнене ранжування побудуємо як матрицю парних порівнянь, яка найкращим чином узгоджується з матрицями парних порівнянь кожного експерта з урахуванням вагових коефіцієнтів експертів за допомогою метрики:

$$\|y_{ik}^*\| = \arg \min_{\|y_{ik}\|} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n k_j |y_{ik}^j - y_{ik}|. \quad (6)$$

Тоді узагальнене ранжування знаходимо як:

$$y_{ik}^* = \begin{cases} 1, & \text{якщо } b_{ik} \geq 1/2, \\ 0, & \text{якщо } b_{ik} < 1/2, \end{cases} \quad (7)$$

де $b_{ik} = \sum_{j=1}^m k_j y_{ik}^j$ – ймовірність того, що i -я альтернатива краще за k -ту.

Для побудови та розв'язання модельної задачі візьмемо дані з критеріальної бази [10]. Вона була розроблена для аналізу застосування методу експериментальних досліджень на вільнолітаючих динамічно подібних моделях літаків при дослідженні катастрофи Airbus A300/600R під Нью-Йорком 12.11.2001 р.

Вихідні дані задачі представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Критеріальна база для ранжування можливих методів

Експерт	1	2	3	4	5
1. Можливість урахування факторів:					
— короткоперіодичного руху по тангажу	9	8	10	8	10
— довгоперіодичного руху по тангажу	9	8	10	8	10
— руху по крену	10	9	10	9	10
— тривимірного руху	9	8	10	7	10
— зривного обтікання	8	7	9	7	8
— звалювання та штопору	8	8	8	7	9
— відділення елементів конструкції та скидання підвісних вантажів	10	9	9	8	10
— статичних аеропружних процесів	9	7	7	8	8
— коливальних аеропружних процесів, флаттера	7	6	6	7	8
— явищ автоаеропружності	5	5,5	6	5	8
— особливостей роботи САУ	8	8	9	7	8
— відмов у роботі САУ	7	7,5	8	7	8
— особливостей дій екіпажу	8	8	9	7	9
— помилок екіпажу	7	5	9	7	8
2. Можливість застосування в умовах неповної інформації	3	8	7	3	7
3. Витрати часу на отримання результату	5	7	7	5	7
4. Матеріальні витрати на отримання результату	3	2	5	3	5

Складемо матрицю оцінок альтернатив експертами:

$$A = \|a_{ij}\|_{7 \times 5} = \begin{pmatrix} 9 & 8 & 10 & 8 & 10 \\ 8 & 7 & 9 & 7 & 8 \\ 7 & 6 & 6 & 7 & 8 \\ 8 & 8 & 9 & 7 & 9 \\ 3 & 8 & 7 & 3 & 7 \\ 5 & 7 & 7 & 5 & 7 \\ 3 & 2 & 5 & 3 & 5 \end{pmatrix}.$$

Обчислимо вагові коефіцієнти експертів та групу оцінку альтернатив за допомогою описаної вище рекурентної процедури. Результати розрахунків першого, другого та третього наближень наведено у табл. 2, де позначено: Σ^* – суми рангів за альтернативами

Результати обчислення дисперсійного коефіцієнта конкордації експертів за формулою (1) наведено у табл. 3. У нашому випадку $W = 0,75$, що свідчить про досить високу узгодженість оцінок експертів. Діапазон можливих значень коефіцієнта варіації Беккера в умовах даної задачі – $V^B \in [0; 3,5]$.

Результати розрахунків коефіцієнта варіації Беккера за формулою (2) наведено у табл. 4. На рис. 1 представлені значення коефіцієнтів варіації Беккера альтернатив 1-7. Найбільш спірною для експертів виявилася альтернатива 5, найменші розбіжності викликали альтернативи 4, а також 2, 3 та 7.

Діапазон можливих значень коефіцієнта варіації Беккера в умовах даної задачі – $V^B \in [0; 3,5]$. Результати розрахунків коефіцієнта варіації Беккера за формулою (2) наведено у табл. 4.

На рис. 1 представлені значення коефіцієнтів варіації Беккера альтернатив 1-7.

Найбільш спірною для експертів виявилася альтернатива 5, найменші розбіжності викликали альтернативи 4, а також 2, 3 та 7.

Таблиця 2 – Розрахунок узагальненого ранжування альтернатив та вагових коефіцієнтів експертів

Номер ітерації t	1	2	3
Групова оцінка для i -ї альтернативи	$\begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,17 \\ 0,14 \\ 0,17 \\ 0,08 \\ 0,13 \\ 0,12 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,24 \\ 0,2 \\ 0,13 \\ 0,19 \\ 0,04 \\ 0,11 \\ 0,09 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,29 \\ 0,21 \\ 0,12 \\ 0,19 \\ 0,02 \\ 0,11 \\ 0,06 \end{pmatrix}$
Нормувальний коефіцієнт λ^t	1690,4	1335,86	1461,25
Коефіцієнти компетентності j -го експерта	$\begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,19 \\ 0,22 \\ 0,17 \\ 0,23 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,192 \\ 0,221 \\ 0,173 \\ 0,224 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,19 \\ 0,22 \\ 0,18 \\ 0,22 \end{pmatrix}$

Таблиця 3 – Розрахунок дисперсійного коефіцієнта конкордації експертів

a_i	Ранжування експертів					Σ^*	Δ_i^2
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5		
1	9	8	10	8	10	45	127,37
2	8	8	9	7	9	41	53,08
3	7	6	6	7	8	34	0,08
4	8	7	9	7	8	39	27,94
5	3	2	5	3	5	18	246,94
6	5	7	7	5	7	31	7,37
7	3	8	7	3	7	28	32,65
H_j	2	2	2	2	2	$W = 0,75$	
h_k	2	2	2	2	2		
	2	3	2	3	2		
T_j	12	30	12	30	12		

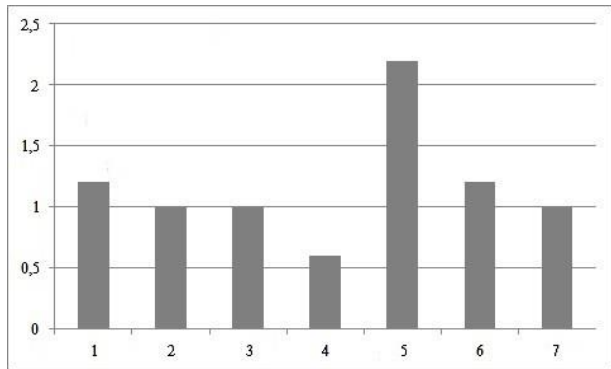


Рис. 1. Значення коефіцієнтів варіації Беккера

Таблиця 4 – Розрахунок коефіцієнтів варіації Беккера

Альтернативи	Ранги								V_i^B
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	2	1	2	-	-	-	-	-	1,2
2	-	1	2	2	-	-	-	-	1
3	-	-	1	2	2	-	-	-	1
4	-	1	2	1	-	-	-	-	0,6
5	-	-	1	2	-	-	2	-	2,2
6	-	-	-	3	-	2	-	-	1,2
7	-	-	-	-	-	2	2	1	1

Далі наведено результати розрахунку узагальненого ранжування альтернатив та вагових коефіцієнтів експертів другим методом за формулами (4) – (7):

$$B = \begin{pmatrix} 409 & 372 & 307 & 354 & 167 & 281 & 255 \\ 354 & 322 & 265 & 307 & 144 & 243 & 220 \\ 307 & 279 & 234 & 265 & 124 & 210 & 188 \\ 372 & 339 & 279 & 322 & 151 & 257 & 235 \\ 255 & 235 & 188 & 220 & 104 & 184 & 180 \\ 281 & 257 & 210 & 243 & 114 & 197 & 184 \\ 167 & 151 & 124 & 144 & 72 & 114 & 104 \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} 301 & 299 & 347 & 276 & 353 \\ 299 & 330 & 366 & 276 & 371 \\ 347 & 366 & 421 & 319 & 424 \\ 276 & 276 & 319 & 254 & 326 \\ 353 & 371 & 424 & 326 & 432 \end{pmatrix};$$

$$\bar{y} = \begin{pmatrix} 2,96 \\ 2,21 \\ 2,56 \\ 2,7 \\ 1,21 \\ 1,89 \\ 2,05 \end{pmatrix}; \quad \bar{x} = \begin{pmatrix} 0,19 \\ 0,14 \\ 0,16 \\ 0,17 \\ 0,08 \\ 0,12 \\ 0,13 \end{pmatrix}; \quad \bar{y} = \begin{pmatrix} 3,14 \\ 3,26 \\ 3,73 \\ 2,89 \\ 4,15 \end{pmatrix}; \quad \bar{k} = \begin{pmatrix} 0,18 \\ 0,19 \\ 0,22 \\ 0,17 \\ 0,24 \end{pmatrix}.$$

Результати побудови та розрахунку узагальненого ранжування альтернатив наведено у табл. 5-6.

Знайдене за формулою (3) значення коефіцієнта варіації $V = 0,455$, розрахованого за елементами узагальненого вектора значущості, свідчить про відсутність відчутної різниці між найкращими та найгіршими альтернативами. На рис. 2 представлені результати узагальненого ранжування альтернатив, побудованого двома методами. В обох випадках найбільший рейтинг мають альтернативи 1, 2, 4, а найменший – альтернативи 5 та 7.

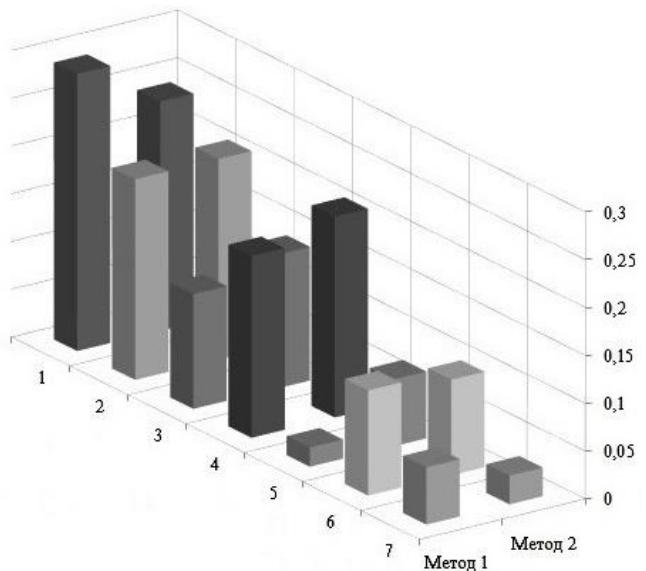


Рис. 2. Узагальнене ранжування альтернатив

Таблиця 5 – Розрахунок узагальненого ранжування альтернатив

№ 1	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0
4	1	1	0	1	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1

№ 2	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	1	1	0	0
2	1	1	0	1	1	1	0
3	1	1	1	1	1	1	0
4	1	0	0	1	1	0	0
5	1	0	0	1	1	0	0
6	1	1	0	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1

№ 3	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	0	1	0	0	0
5	1	1	0	1	1	1	0
6	1	1	0	1	1	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1

№ 4	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1

№ 5	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	1	1	1	0
6	1	1	1	1	0	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця 6 – Узагальнене ранжування об'єктів з урахуванням коефіцієнтів компетентності експертів

a_i	1	2	3	4	5	6	7	λ_i^*
1	1	0	0	0	0	0	0	0,24
2	1	1	0	1	0	0	0	0,21
3	1	1	1	1	0	0	0	0,14
4	1	1	0	1	0	0	0	0,21
5	1	1	1	1	1	1	0	0,07
6	1	1	1	1	0	1	0	0,1
7	1	1	1	1	1	1	1	0,03
Суми	7	6	4	6	2	3	1	1
$V = 0,455$								

Значення вагових коефіцієнтів експертів, отриманих у результаті розрахунків двома методами, також узгоджуються. Точніші значення отримані в результаті обчислень за допомогою рекурентної процедури (метод 1).

Висновки

Проаналізовано методи групової оцінки об'єктів вибору та оцінки ступеня компетентності експерта в умовах неспівпадаючих оцінок експертів.

Розроблений у роботі підхід побудови узагальненого ранжування альтернатив та визначення вагових коефіцієнтів експертів із застосуванням методів

статистичної обробки експертних оцінок при груповому узгодженні може бути використаний на етапі концептуального проектування складних технічних систем з різним принципом дії ступенів.

Подальші дослідження доцільно проводити у напрямі синтезу узагальненої оцінки експертів алгебраїчними методами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Lievi L. Сучасні інтелектуальні методи моделювання складних технологічних об'єктів / L. Lievi, O. Zuma // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2021. – С. 49–53.
- Концепции развития современной авиационной техники основных назначений [Текст] : инновац. учеб. для неавиационных специальностей аэрокосм. ун-та / В. А. Богуслаев, А. И. Рыженко, Е. А. Мураховская, Р. Ю. Цуканов. — Запорожье : Просвіта, 2020. – 707 с.
- Шевченко С. В. Про концепцію векторної оптимізації в задачах багатокритеріального вибору / С. В. Шевченко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – 2022. – № 1 (7). – С. 46–50.
- Мураховська О. А. Технологія пошуку оптимальних концептуальних рішень багатуступінчастих авіаційних систем з різним принципом дії ступенів / О. А. Мураховська // Вісник Харківського університету. Серія: Актуальні проблеми сучасної науки в дослідженнях молодих вчених м. Харкова. – 2001. – № 506. – Ч. 2. – С. 138–140.
- Риженко О. І. Особливості вибору цільової функції при оптимальному проектуванні систем вільнолітаючих динамічно подібних моделей літаків / О. І. Риженко, О. А. Мураховська // Авиационно-космическая техника и технология. Труды НАКУ "ХАИ". – 2001. – Вып. 25. – С. 165–171.
- Мураховська О. А. Розробка критеріальної бази для технології оптимального проектування багатуступінчастих авіаційних систем / О. А. Мураховська // Вісник Харківського університету. Серія: Актуальні проблеми сучасної науки в дослідженнях молодих вчених м. Харкова. – 2002. – № 551. – Ч. 2. – С. 217–222.
- Мураховская Е. А. Автоматизация предварительного проектирования устройств аварийной стабилизации свободнолетающих моделей самолетов для исследования особых полетных ситуаций / Е. А. Мураховская // Возможности использования методов механики для розв'язання питань безпеки в умовах надзвичайних ситуацій : матеріали ІХ міжвуз. наук.-практ. конф., [Харків] / Нац. ун-т цив. зах. України. – Харків, 2010. – С. 32–33.
- Шефер О. В. Дослідження процесу прийняття рішень у складних технічних системах / О. В. Шефер, О. І. Лактіонов, О. В. Михайленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2022. – Т. 1 (67). – С. 34–37.
- Афоничкин А. И. Управление решения в экономических системах : учебн. для вузов / А. И. Афоничкин, Д. Г. Михаленко. – СПб. : Питер, 2009. – 480 с.
- Критеріальна база ранжирования альтернативных методов исследования проблем безопасности полетов в условиях неопределенности проектирования самолетов гражданского назначения / В. А. Макаричев, Е. А. Мураховская, А. И. Рыженко, Ю. А. Шербакова // Открытые информационные и компьютерные технологии. – 2012. – Вып. 57. – С. 197–206.
- Цукерман Е. В. О согласовании экспертных оценок / Е. В. Цукерман, В. Е. Цукерман // Исследования по информатике. – 2002. – Вып. 4. – С. 3–20.
- Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
- Павлов А. Н. Методы обработки экспертной информации : учеб.-метод. пос. / А. Н. Павлов, Б. В. Соколов. – СПб. : ГУАП, 2005. – 42 с.
- Горелик А. Л. К вопросу расчета коэффициента согласованности экспертных оценок в задаче группового выбора и принятия решений / А. Л. Горелик, Л. Ч. Абаев // Кибернетика. – 1990. – №3. – С. 65–69.
- Анохин А. Н. Методы экспертных оценок : учеб. пособ. / А. Н. Анохин. – Обнинск : ИАТЭ, 1996. – 148 с.

Received (Надійшла) 30.06.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.08.2022

**Analysis of applicability of methods of statistical processing of expert estimates
at the stage of preliminary design of complex technical devices**

O. Murahovska, N. Ukrayinets

Abstract. Topicality. Today, the development of the SAKOPR 2.0 software complex with extended functionality and an improved interface is relevant. The complex is needed for the conceptual design of complex multi-stage technical systems. **Research methods.** Mathematical apparatus of the theory of fuzzy sets, multi-criteria analysis of options, pattern recognition and expert systems. **The purpose of the article:** to analyse existing methods and approaches to finding weighting coefficients of experts and building a generalized ranking of alternatives in conditions of inconsistent expert assessments. It is also necessary to develop a methodology that allows further expanding and supplementing the functionality of the SAKOPR software complex. The results obtained. The main properties of statistical estimates, which reflect the consistency of expert opinions, are considered. Indicators that allow assessing the multiple consistency of opinions regarding one or more objects of expertise are analyzed. The application of methods of statistical processing of expert estimates in group coordination in the case of multidirectional indicators is described. It includes an analysis of the consistency of expert opinions, the construction of a generalized ranging, and the calculation of expert weight coefficients. The possibility of using the developed technique at the stage of preliminary design of complex technical systems with different principles of operation of stages is shown. **Conclusion.** The approach developed in the work can be used at the stage of conceptual design of complex technical systems with different principles of influence of degrees.

Keywords: expert estimations, ranking, dissenting expert's opinions, group agreement, generalized rankings, weight coefficients.