

О. М. РЕВА, д-р техн. наук, професор

В. В. КАМИШИН, д-р пед. наук, с. н. с.

В. А. ШУЛЬГІН, канд. техн. наук, доцент

А. М. НЕВИНІЦІН, канд. техн. наук, доцент

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ: МЕДІАНА КЕМЕНІ ЯК ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ГРУПОВОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕВАГ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ НА НЕБЕЗПЕКАХ ХАРАКТЕРНИХ ПОМИЛОК

**Резюме.** Системи переваг авіаційних операторів “переднього краю” на показниках і характеристиках їх професійної діяльності є одним з індикаторів, що демонструють вплив людського чинника на прийняття рішень, а отже і на “ставлення до небезпечних дій або умов”, що є одним зі складників поточної парадигми безпеки польотів ІКАО. Систему переваг визначають як упорядкований ряд зазначених показників і характеристик: від найбільш до найменш небезпечних, зокрема помилок, яких можуть припуститися авіадиспетчери. Групові системи переваг мають ряд властивостей (особливості сформованої в конкретному соціумі — диспетчерської зміні — думки щодо сприйняття чинників загроз і небезпек, вплив ставлення інструкторського персоналу до загроз і небезпек, технологія їх долання, статистика авіаційних подій і серйозних інцидентів в зоні відповідальності тощо), які бажано враховувати в процесі управління безпекою польотів і знаходять шляхом агрегації індивідуальних систем переваг. Зазначена агрегація відбувається за допомогою стратегій прийняття групових рішень, з-поміж яких варто вказати на стратегію підсумовування й усереднення рангів, що є більш ризикованою, однак дає змогу встановити ступінь узгодженості думок за допомогою коефіцієнта конкордації Кендала. Важливою є стратегія, що базується на класичному критерії прийняття рішень Севіджа, що має оптимізаційний зміст і дає змогу мінімізувати відхилення в думках щодо небезпек помилок як більшості, так і меншості членів групи. Медіана Кемени має яскраво виражений не-параметричний оптимізаційний зміст, однак майже не застосовується в дослідженнях впливу людського чинника на прийняття рішень в авіаційних системах. Індивідуальні системи переваг  $m = 37$  авіадиспетчерів на спектрі  $n = 21$  характерних помилок були побудовані ними за допомогою методу попарних порівнянь і нормативного встановлення частини сумарної небезпеки. Застосування технології виявлення та відсіювання маргінальних думок – індивідуальних систем переваг, що суттєвим чином відрізняються від загальногрупової, дало змогу виокремити підгрупу  $m_A = 26$  з високим рівнем внутрішньо групової узгодженості думок: коефіцієнт конкордації дорівнює  $W = 0,7144$  і є статистично вірогідним на високому рівні значущості  $\alpha = 1\%$ . Індивідуальні системи переваг членів підгрупи  $m_A$  було застосовано для реалізації евристичного алгоритму та побудови шуканої медіани Кемени, яка вдосконалює узгоджену систему переваг і має незвичайно високий збіг із груповими системами переваг, отриманими за допомогою інших стратегій групових рішень: середнє значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена дорівнює  $\bar{R}_S^{med} = 0,9340$  і в 1,7 раза перевищує мінімально прийнятне його значення.

**Ключові слова:** безпека польотів, людський чинник, авіадиспетчери, небезпеки помилок, індивідуальні та групові системи переваг, оптимізаційна модель, медіана Кемени.

### ВСТУП

Нині загально визнано, що цивільна авіація (ЦА) — це галузь людської діяльності, яка динамічно розвивається і забезпечує суттєву частку світових транспортних перевезень [1]. Причому зрозуміло, що виконання польотів має забезпечуватися належним рівнем їх безпеки [2; 3], на який упродовж десятиліть чинить, на жаль, негативний вплив авіаційний персонал, насамперед оператори “переднього краю” (диспетчери управління повітряним рухом (УПР), члени льотного екіпажу) [4]. ІКАО називає їх “останнім

рубежем оборони” в забезпеченні безпеки польотів (БП) [4; 5].

З наведеного випливає, що вирішення завдань досліджень і профілактики впливу людського чинника (ЛЧ) на БП є незвичайно актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблеми впливу ЛЧ на БП є об'єктом пильної уваги широкого прошарку науковців і фахівців далекого та близького зарубіжжя, зок-

рема Дж. Берліна (J. Berlin), О. Ю. Бутова, Ерла Л. Вінера (Earl L. Wiener), Р. М. Джафар-Заде, Р. С. Дженсена (R. S. Jensen), Є. О. Кукльова, С. Д. Лейченка, А. В. Малишевського, Б. М. Мірзоева, М. Ф. Михайліка, В. В. Павлова, О. М. Реви, Дж. Ризона (J. T. Reason), А. В. Скрипця, В. П. Харченка, Р. Л. Хелмриха (Robert L. Helmreich), Ф. Хокінса (F. H. Hawkins), Е. Едвардса (Elvin Edwards), Т. Ф. Шмельової та ін., які зробили суттєвий внесок у дослідження та практичний розвиток теорій ЛЧ в ЦА. Причому варто вказати на новий напрям досліджень, здійснюваний представниками наукової школи одного зі співавторів цієї публікації, де проблеми ЛЧ розглядаються крізь призму прийняття рішень (ПР) авіаційними операторами (АО) “переднього краю”. Це дало змогу обґрунтувати схему взаємодії складників поточної парадигми БП ІСАО, у якій чільне місце посідає “ставлення персоналу до небезпечних дій або умов” [6–8 та ін.]. Інакше кажучи, ідеться про прояв ЛЧ в процесах ПР.

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вищезазначене “ставлення” визначається такими показниками прояву ЛЧ в процесі ПР АО “переднього краю” (не ранжуючи):

- 1) основними домінантами ПР;
- 2) рівнями домагань;
- 3) нечіткими оцінками ризику;
- 4) небезпечними стратегіями поведінки, оперативного мислення та ПР;
- 5) системами переваг (СП) тощо.

Дослідження перших із трьох перелічених показників впливу ЛЧ на ПР було вдало узагальнено в праці [9] на прикладі ставлення диспетчерів УПР (ДУПР) до порушень норм ешелонування повітряних суден (ПС).

У працях [10; 11] уперше було запропоновано професійні ситуативні вправи діагностики та корекції небезпечних стратегій у процесі ПР ДУПР, однак результати їх апробації ще не опубліковані.

У працях [12–14 та ін.] наведено результати досліджень з визначення СП азербайджанських і вітчизняних ДУПР на небезпеках спектру таких, більш актуальних на сьогодні, характерних помилок, яких вони можуть припуститися в професійній діяльності:

$P_1$  — порушення фразеології радіообміну;

$P_2$  — неузгодженість входу ПС в зону суміжного УПР;

$P_3$  — порушення побіжних часових інтервалів;

$P_4$  — порушення зустрічних часових інтервалів;

$P_5$  — порушення інтервалів між ПС, що знаходяться на курсах, що перетинаються;

$P_6$  — безадресна передача повідомлень ДУПР;

$P_7$  — помилка у визначенні позивного ПС;

$P_8$  — помилка в ідентифікації ПС;

$P_9$  — помилкове використання диспетчерського графіку;

$P_{10}$  — відсутність на стріпі позначки ДУПР про передачу управління суміжному диспетчерському пункту;

$P_{11}$  — відсутність на стріпі позначки ДУПР щодо узгодження входу ПС в зону УПР суміжного диспетчерського пункту;

$P_{12}$  — порушення ПС узгодженого географічного рубежу передачі УПР;

$P_{13}$  — порушення ДУПР узгодженого часового рубежу передачі УПР;

$P_{14}$  — недбалість в нанесенні на стріп літерно-цифрової інформації (можливість двоякої інтерпретації);

$P_{15}$  — неекономічне УПР;

$P_{16}$  — порушення процедури прийому і здачі чергування;

$P_{17}$  — не відображення на стріпі виданих команд щодо зміни висоти або напрямку польоту;

$P_{18}$  — спроба керувати ПС після спрацьовування на ньому системи TCAS режимі resolution advice;

$P_{19}$  — помилки вводу інформації про ПС в АС;

$P_{20}$  — порушення технології праці при особливих випадках у польоті;

$P_{21}$  — порушення в використанні повітряного простору.

Варто зауважити, що в зазначених працях індивідуальні СП (ІСП) будувалися випробуваними із застосуванням нормативного методу визначення частини сумарної небезпеки порівнюваних помилок:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо помилка } P_i \text{ більш небезпечна} \\ & \text{за помилку } P_j : P_i \succ P_j \\ 0, & \text{якщо навпаки : } P_i \prec P_j \\ 0,5 & \text{якщо помилки } P_i \text{ і } P_j \text{ мають однакову} \\ & \text{небезпеку : } P_i \approx P_j \end{cases} \quad (1)$$

Агрегацію ІСП у групову було здійснено за допомогою такої стратегії групових рішень, як підсумовування й усереднення рангів, що дублює групову СП (ГСП), отриману за допомогою класичного критерію ПР Байєса–Лапласа. Це призвело до отримання такої ГСП, агрегованої з  $m = 37$  ІСП ДУПР, співробітників ДП “Украеро-рух” та Льотної академії НАУ:

$$\begin{aligned} & P_{18} \succ_g P_{20} \succ_g P_5 \succ_g P_4 \succ_g P_{21} \succ_g P_3 \succ_g P_8 \succ_g \\ & \succ_g P_2 \succ_g P_{17} \succ_g P_{13} \succ_g P_6 \succ_g P_{12} \succ_g P_{16} \succ_g P_1 \succ_g, \quad (2) \\ & \succ_g P_{19} \succ_g P_7 \succ_g P_9 \succ_g P_{14} \succ_g P_{11} \succ_g P_{15} \succ_g P_{10} \end{aligned}$$

де  $\succ_g$  — позначка групової переваги ( $m = 37$ ) безпечно однієї помилки перед іншою.

ГСП виду (2) не є прийнятною, оскільки обчислене емпіричне значення коефіцієнта конкордації Кендала, хоча і є статистично вірогідним на високому для досліджень ЛЧ рівні значущості  $\alpha = 1\%$  ( $\chi_{m=37}^2 = 407,025 \gg \chi_{\alpha=1\%; k=36}^2 = 61,58$ ), однак не відповідає критеріальним умовам на абсолютне значення, встановлене в праці [15]:

$$W_{m=37} = 0,5503 < W_{min} = 0,7. \quad (3)$$

Реалізація багатокрокової технології виявлення та відсіювання маргінальних ІСП призвела до виокремлення з вихідної групи випробуваних ДУПР підгрупи, у кількості  $m_A = 26$  осіб з високим рівнем внутрішньо групової узгодженості думок: коефіцієнт конкордації Кендала є статистично-вірогідним на високому рівні значущості  $\alpha = 1\%$  ( $\chi_{m_A}^2 = 371,487 \gg \chi_{\alpha=1\%; k=25}^2 = 46,93$ ) і відповідає критеріальним обмеженням на абсолютну величину [13]:  $W_{m_A} = 0,7144 > 0,7$ . Таким чином, прийнятною варто вважати таку ГСП:

$$\begin{aligned} & \Pi_{18} \succ_{m_A} \Pi_{20} \succ_{m_A} \Pi_5 \succ_{m_A} \Pi_4 \succ_{m_A} \Pi_{21} \succ_{m_A} \Pi_3 \succ_{m_A} \Pi_8 \succ_{m_A} \\ & \succ_{m_A} \Pi_2 \succ_{m_A} \Pi_{17} \succ_{m_A} \Pi_{13} \succ_{m_A} \Pi_6 \succ_{m_A} \Pi_{12} \succ_{m_A} \Pi_{16} \succ_{m_A} \Pi_1 \succ_{m_A} , \\ & \succ_{m_A} \Pi_{19} \succ_{m_A} \Pi_7 \succ_{m_A} \Pi_9 \succ_{m_A} \Pi_{14} \succ_{m_A} \Pi_{11} \succ_{m_A} \Pi_{15} \succ_{m_A} \Pi_{10} \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\succ_{m_A}$  — позначка переваги за небезпечною однієї помилки перед іншою в ГСП, утвореної з ІСП ДУПР-членів підгрупи  $m_A$ .

З ІСП членів підгрупи  $m_A$  було сформовано матрицю рішень, яку було розв'язано за допомогою таких класичних критеріїв ПР, як Вальда, Севіджа, Байеса–Лапласа та Гурвиця. Потрібно зауважити, що критерій Севіджа з вищеперелічених має певний оптимізаційний зміст, оскільки його призначення полягає в мінімізації відхилень думок (ІСП) як більшості, так і меншості членів групи від середньої групової думки, тобто ГСП. Відповідна ГСП має такий вид:

$$\begin{aligned} & \Pi_4 \succ_S \Pi_{20} \succ_S \Pi_5 \approx_S \Pi_{18} \succ_S \Pi_3 \succ_S \Pi_{21} \succ_S \Pi_2 \succ_S \\ & \succ_S \Pi_{12} \approx_S \Pi_{17} \succ_S \Pi_{13} \succ_S \Pi_8 \succ_S \Pi_1 \succ_S \Pi_7 \succ_S \Pi_6 \approx_S , \quad (5) \\ & \approx_S \Pi_9 \approx_S \Pi_{10} \approx_S \Pi_{11} \approx_S \Pi_{14} \approx_S \Pi_{15} \approx_S \Pi_{16} \approx_S \Pi_{19} . \end{aligned}$$

де  $\succ_S, \approx_S$  — позначки порівняльної переваги та адекватності помилок за небезпечною у ГСП, побудованих за допомогою класичного критерію Севіджа.

Не менш цікавим для задач досліджень є застосування медіани Кемені, яка вдосконалює вже узгоджені і загалом прийнятні ГСП [16–21 та ін.]. Знаходження медіани ґрунтується на певній аксіоматиці, а сама вона вважається мак-

симально правдоподібною оцінкою вимірювань на рангових шкалах [16; 22; 23].

Перевагою медіани Кемені є також те, що вона задовольняє більшість критеріїв Ерроу [24]:

1) універсальність множини припустимих відношень: для будь-якої трійки альтернатив-досліджуваних помилок мають бути знайдені такі відношення: перше зв'язує всі три альтернативи попарно, а друге і третє — лише перші дві альтернативи і вимогу транзитивності результуючого відношення;

2) умова монотонності — якщо якийсь експерт-ДУПР змінив свою думку на користь результуючого відношення, то воно від цього не зміниться;

3) ненав'язаність — якщо узяти дві довільні альтернативи-помилки, то може існувати множина відношень, для яких в одному випадку порівнювана пара йому належить, а в іншому — ні;

4) відсутність диктатора — відсутність експерта, думка якого визначає остаточне рішення, незалежно від інших експертів.

Медіана Кемені — це частинний випадок емпіричного середнього в просторі нечислової природи. Для неї справедливим є закон великих чисел, який вказує, що медіана Кемені постає стійкою відносно незначної зміни складу експертної групи. У разі збільшення кількості експертів у групі вона наближається до певної границі, що може вважатися істинною думкою, відхилення від якої кожного з них відбувається з випадкових причин.

Отже, можна дійти висновку, що медіану Кемені дійсно варто вважати одним із більш математично правильних результуючих ранжувань.

## ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Відповідно до аналізу та результатів наших апробаційних досліджень [23], метою цієї публікації є застосування медіани Кемені для здійснення непараметричної оптимізації та знаходження остаточної ГСП ДУПР на небезпеках характерних помилок.

## НЕПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МОДЕЛІ СТАВЛЕННЯ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ ДО НЕБЕЗПЕК ПОМИЛОК ЗА ДОПОМОГОЮ МЕДІАНИ КЕМЕНІ

Отже, обчислення медіани Кемені — завдання цілочисельного програмування. Зокрема, для її знаходження використовується різні алгоритми дискретної математики, наприклад, такі, що засновані на методі гілок і границь. Також застосовують алгоритми, які спираються на ідеї випадкового пошуку, оскільки для кожного бінарного відношення нескладно знайти множину його сусідів. Однак, стосовно цілей наших досліджень, то найбільш прийнятним є

евристичний алгоритм знаходження медіани Кемені [19–21; 24].

Для реалізації технології побудови медіани Кемені переформатуємо вираз (1) так:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1, & \Pi_i > \Pi_j \\ 0, & \Pi_i < \Pi_j \\ 0,5 & \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases} \Rightarrow m_{ij} = \begin{cases} 1, & \Pi_i > \Pi_j \\ -1, & \Pi_i < \Pi_j \\ 0, & \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases}. \quad (6)$$

Відстань між  $IC\Pi_u$  і  $IC\Pi_v$  за умов однакового перелічення елементів-помилко буде характеризувати такий вираз:

$$d(IC\Pi_u, IC\Pi_v) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n [m_{ij}^u - m_{ij}^v]. \quad (7)$$

Зазначена відстань  $d(IC\Pi_u, IC\Pi_v)$  є метрикою на бінарних відношеннях лінійного квазі-порядку.

Алгоритм Кемені базується на обчисленні матриці штрафів (втрат)  $Q(n, n)$  з елементами:

$$q_{ij} = \sum_{u=1}^m d_{ij}(IC\Pi, IC\Pi_u), \quad (8)$$

де 
$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } m_{ij}^u = 1 \\ 1, & \text{якщо } m_{ij}^u = 0 \\ 2, & \text{якщо } m_{ij}^u = -1 \end{cases}. \quad (9)$$

Наступним кроком постає визначення елементів узагальної матриці втрат, згідно з такою формулою:

$$S_{ij} = \sum_{j=1}^m d_{ij}(IC\Pi, IC\Pi_u), \quad (10)$$

де  $IC\Pi$  — довільне ранжування, в якому  $m_{ij} = 1$ .

Причому зрозуміло, що діагональні елементи рефлексивні:

$$S_{1-1} = S_{2-2} = \dots = S_{21-21}. \quad (11)$$

Результати переформатування вихідної матриці  $C = \|c_{ij}\|$  і відповідних обчислень утворюють узагальнену матрицю втрат (табл. 1).

Підраховуючи узагальнені втрати по рядках табл. 1 і аналізуючи відповідні результати в графі 23, отримуємо, що  $S_{min} = S_{18} = 125$ . Отже, найменше відхилення в думках експертів-ДУПР буде досягнуто за умови надання помилці  $\Pi_{18}$  першого рангового місця у шуканій оптимальній ГСП:  $\Pi_{18} > \dots$

Видаляючи з табл. 1 всі втрати, які пов'язані з урахуванням помилки  $\Pi_{18}$  (відповідний рядок і графу 19), отримуємо нову, редуковану на один елемент, матрицю втрат (табл. 2), з якої випливає, що мінімум відхилень у думках експертів буде досягнуто за умови, що вже

Таблиця 1

Узагальнена матриця втрат (фрагмент)

$\Pi_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$	...	$\Pi_{15}$	$\Pi_{16}$	$\Pi_{17}$	$\Pi_{18}$	$\Pi_{19}$	$\Pi_{20}$	$\Pi_{21}$	$\Sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	16	17	18	19	20	21	22	23
$\Pi_1$	26	40	48	50	50	25	30	37	15	...	7	28	29	50	23	50	47	665
$\Pi_2$	12	26	43	47	47	23	22	30	10	...	7	25	19	50	17	45	42	550
$\Pi_3$	4	9	26	38	36	5	4	13	3	...	0	5	6	46	2	35	33	280
$\Pi_4$	2	5	14	26	21	2	0	6	0	...	0	6	4	35	1	29	28	196
$\Pi_5$	2	5	16	31	26	2	3	5	2	...	0	5	4	37	0	32	27	209
$\Pi_6$	27	29	47	50	50	26	24	33	17	...	12	30	27	48	20	44	46	631
$\Pi_7$	22	30	48	52	49	28	26	34	17	...	12	26	27	51	24	50	50	662
$\Pi_8$	15	22	39	46	47	19	18	26	12	...	9	18	17	47	12	48	44	503
$\Pi_9$	37	40	49	52	50	35	35	40	26	...	19	34	36	50	35	50	46	806
$\Pi_{10}$	42	40	52	50	50	38	40	44	26	...	19	44	38	52	40	52	52	854
$\Pi_{11}$	35	39	50	49	51	38	34	47	25	...	18	43	36	52	38	50	52	812
$\Pi_{12}$	21	31	48	48	49	22	19	31	8	...	7	28	26	52	24	49	49	607
$\Pi_{13}$	19	28	45	46	48	24	19	30	7	...	7	29	24	50	23	51	48	585
$\Pi_{14}$	33	37	50	50	50	37	32	44	22	...	14	37	33	52	32	52	51	764
$\Pi_{15}$	45	47	52	52	52	40	40	43	33	...	26	40	45	52	40	52	52	906
$\Pi_{16}$	24	27	47	46	47	22	26	34	18	...	12	26	25	48	24	46	46	597
$\Pi_{17}$	23	33	46	48	48	25	25	35	16	...	7	27	26	47	25	49	48	631
$\Pi_{18}$	2	2	6	17	15	4	1	5	2	...	0	4	5	26	1	16	17	125
$\Pi_{19}$	29	35	50	51	52	32	28	40	17	...	12	28	27	51	26	49	50	680
$\Pi_{20}$	2	7	17	23	20	8	2	4	2	...	0	6	3	36	3	26	23	188
$\Pi_{21}$	5	10	19	24	25	6	2	8	6	...	0	6	4	35	2	29	26	215

Узагальнена матриця втрат, редукована після 1-ї ітерації застосування технології побудови медіани Кемені (фрагмент)

$\Pi_i$	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$	...	$\Pi_{15}$	$\Pi_{16}$	$\Pi_{17}$	$\Pi_{19}$	$\Pi_{20}$	$\Pi_{21}$	$\Sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	16	17	18	20	21	22	23
$\Pi_1$	26	40	48	50	50	25	30	37	15	...	7	28	29	23	50	47	615
$\Pi_2$	12	26	43	47	47	23	22	30	10	...	7	25	19	17	45	42	500
$\Pi_3$	4	9	26	38	36	5	4	13	3	...	0	5	6	2	35	33	234
$\Pi_4$	2	5	14	26	21	2	0	6	0	...	0	6	4	1	29	28	161
$\Pi_5$	2	5	16	31	26	2	3	5	2	...	0	5	4	0	32	27	172
$\Pi_6$	27	29	47	50	50	26	24	33	17	...	12	30	27	20	44	46	583
$\Pi_7$	22	30	48	52	49	28	26	34	17	...	12	26	27	24	50	50	611
$\Pi_8$	15	22	39	46	47	19	18	26	12	...	9	18	17	12	48	44	456
$\Pi_9$	37	40	49	52	50	35	35	40	26	...	19	34	36	35	50	46	756
$\Pi_{10}$	42	40	52	50	50	38	40	44	26	...	19	44	38	40	52	52	802
$\Pi_{11}$	35	39	50	49	51	38	34	47	25	...	18	43	36	38	50	52	760
$\Pi_{12}$	21	31	48	48	49	22	19	31	8	...	7	28	26	24	49	49	555
$\Pi_{13}$	19	28	45	46	48	24	19	30	7	...	7	29	24	23	51	48	535
$\Pi_{14}$	33	37	50	50	50	37	32	44	22	...	14	37	33	32	52	51	712
$\Pi_{15}$	45	47	52	52	52	40	40	43	33	...	26	40	45	40	52	52	854
$\Pi_{16}$	24	27	47	46	47	22	26	34	18	...	12	26	25	24	46	46	549
$\Pi_{17}$	23	33	46	48	48	25	25	35	16	...	7	27	26	25	49	48	584
$\Pi_{19}$	29	35	50	51	52	32	28	40	17	...	12	28	27	26	49	50	629
$\Pi_{20}$	2	7	17	23	20	8	2	4	2	...	0	6	3	3	26	23	152
$\Pi_{21}$	5	10	19	24	25	6	2	8	6	...	0	6	4	2	29	26	180

помилка  $\Pi_{20}$  посяде друге рангове місце у ГСП:  
 $\Pi_{18} \underset{med}{>} \Pi_{20} \underset{med}{>} \dots$

Послідовно застосовуючи розглянуту технологію побудови медіани Кемені та виконуючи аналогічні дії з редукції вихідної розмірності матриці узагальнених втрат (табл. 1), на кожній новій ітерації знаходимо чергове рангове місце для чергової за небезпекою помилки.

Таким чином й отримується медіана Кемені, яка є непараметричним вирішенням оптимізаційної задачі з виявлення ГСП для загалом узгоджених думок респондентів-ДУПР, що визначається виразом (4).

Отже, шукана медіана Кемені для ІСП ДУПР-членів підгрупи  $m_A$  буде мати такий формальний вид:

$$\begin{aligned}
 & \Pi_{18} \underset{med}{>} \Pi_{20} \underset{med}{>} \Pi_4 \underset{med}{>} \Pi_5 \underset{med}{>} \Pi_{21} \underset{med}{>} \Pi_3 \underset{med}{>} \Pi_8 \underset{med}{>} \\
 & \underset{med}{>} \Pi_2 \underset{med}{>} \Pi_{13} \underset{med}{>} \Pi_{12} \underset{med}{>} \Pi_{16} \underset{med}{>} \Pi_6 \underset{med}{\approx} \Pi_{17} \underset{med}{>} \\
 & \underset{med}{>} \Pi_1 \underset{med}{>} \Pi_7 \underset{med}{\approx} \Pi_{19} \underset{med}{>} \Pi_{14} \underset{med}{>} \Pi_{11} \underset{med}{>} \\
 & \underset{med}{>} \Pi_9 \underset{med}{\approx} \Pi_{10} \underset{med}{>} \Pi_{15}, \quad (12)
 \end{aligned}$$

де  $\underset{med}{>}$ ,  $\underset{med}{\approx}$  — позначки переваги й адекватності помилок за небезпекою у ГСП, побудованою як медіана Кемені.

З метою оцінювання ефективності отриманої медіани Кемені можна порівняти її з ГСП, що

отримані за допомогою таких стратегій ПР, як підсумовування й усереднення рангів, а також стратегій, що базуються на застосуванні класичних критеріїв ПР, зокрема Вальда (W), Севіджа (S), Байєса–Лапласа (B-L), Гурвиця (HW). Відповідні значення коефіцієнтів рангової кореляції Спірмена представлені в табл. 3.

Із табл. 3 випливає, що медіана Кемені виду (12) має незвичайно високий збіг із ГСП, отриманими за допомогою інших стратегій групових рішень: середнє значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена, що отримане під час порівняння відповідних ГСП, дорівнює величині  $\bar{R}_S^{med} = 0,9340$  і в 1,7 раза перевищує мінімально прийнятне його значення.

Окремо необхідно вказати, що отримана медіана Кемені має також незвичайно високий збіг: по-перше, з статистично-узгодженої ГСП виду (4), що є наслідком застосування такої стратегії групових рішень як підсумовування й усереднення рангів. Це дублює іншу стратегію групових рішень, що базується на застосуванні критерію Байєса–Лапласа. Обчислене значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена дорівнює:  $R_S^{med.-B-L} = 0,9756$  і в 1,78 раза краще за мінімально-прийнятне його значення;

по-друге, з ГСП виду (5), яка має всі оптимізаційні ознаки, оскільки будується шляхом

реалізації стратегії, що ґрунтується на класичному критерії Севіджа, застосування якого мінімізує відхилення в думках як більшості, так і меншості групи. Обчислене значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена дорівнює:  $R_S^{med.-S} = 0,9010$  і в 1,64 раза краще за мінімально-прийнятне його значення;

Отже, знаходження медіани Кемені — не-параметричне вирішення оптимізаційної задачі. Таким чином, будемо вважати її об'єктивним уточненням (удосконаленням) всіх інших ГСП, що розглядалися. У наших подальших дослідженнях будемо орієнтуватися саме на неї.

Таблиця 3

**Порівняльний аналіз групових систем переваг авіадиспетчерів на небезпеках характерних помилок, отриманих різними стратегіями групових рішень**

Критерії прийняття рішень	W	S	B-L	HW	Mediana Kemeny	$\bar{R}_{Si}$
1	2	3	4	5	6	7
W	—	0,9896	0,9282	0,9675	0,9237	0,9523
S		—	0,9088	0,9604	0,9010	0,9400
B-L			—	0,9581	0,9756	0,9427
HW				—	0,9357	0,9554
Mediana Kemeny					—	0,9340
					$\Sigma$	4,7244
					Ср.	0,9449

**Примітка:** мінімальне статистично-вірогідне значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена дорівнює величині:  $R_{Smin} \geq 0,5487$ .

**ВИСНОВКИ**

Відповідно до отриманих і поданих в цій публікації наукових результатів, варто констатувати факт подальшого розвитку технології застосування експертних процедур, зокрема медіани Кемені як показника непараметричної оптимізації статистично узгодженої ГСП ДУПР на множині характерних помилок. Окремими результатами, які було отримано, варто назвати такі.

1. Переформатовано результати досліджень небезпек помилок, які спираються на нормативний метод встановлення їх порівняльної небезпеки. Це дало змогу реалізувати евристичний алгоритм для побудови медіани Кемені.

2. Отримано емпіричну медіану Кемені, яка має незвичайно високий збіг із ГСП, побудованими за допомогою інших стратегій групових рішень: середнє обчислене значення коефіцієнта рангової кореляції Спірмена дорівнює величині  $\bar{R}_S^{med} = 0,9340$  і в 1,7 раза краще за мінімально-прийнятне його значення.

3. Визначено, що отримана медіана Кемені має майже абсолютний збіг зі статистично-узгодженою ГСП, що отримана за допомогою

критерію Байєса–Лапласа, і ГСП, що отримана за допомогою оптимізаційного критерію Севіджа. Відсутність їх абсолютного збігу свідчить про дійсне непараметричне вирішення оптимізаційної задачі. Її варто вважати об'єктивним уточненням (удосконаленням) усіх інших ГСП і в подальших дослідженнях орієнтуватися саме на неї.

4. Наведене дає змогу зробити узагальнений висновок про досягнення сформульованої мети цієї публікації. Подальші дослідження варто проводити в напрямках (не ранжуючи):

- розроблення інтелектуального модулю підтримки ПР інструктором тренажера;
- встановлення ентропійної міри ступеня розрізненості/нерозрізненості небезпек помилок ДУПР тощо.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Прогноз розвитку воздушного транспорта до 2025 года : Cir. ICAO 313 — AT / 134. — Монреаль, Канада, 2007.
2. Глобальный план обеспечений безопасности полетов (2017–2019): Doc. ICAO 10104. — Монреаль, Канада, 2016.
3. Safety Management Manual (SMM): DOC ICAO 9859 — AN/474. — Montreal, Canada, 2018.

4. Fundamental Human Factors Concept // Human Factors Didest No. 1. — Cir. ICAO 216 — AN / 131. — Montreal, Canada, 1989.
5. Давиденко М. Ф. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) / М. Ф. Давиденко, А. Н. Рева // Авиакомпания. — 1995. — (пробный номер). С. 23–28.
6. New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation / O. Reva, S. Borsuk, V. Mirzayev, P. Mukhtarov // Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation (July 27–31, 2016, Walt Disney World, USA). — Florida. — 2016. — P. 137–147.
7. Ergonomic Assessment of Instructors' Capability to Conduct Personality-Oriented Training for Air Traffic Control (ATC) Personnel / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin, S. Nedbay // Advanced in Human Factors of Transportation Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Transportation (July 24–28, 2019, USA). — Washington. — 2019. — P. 783–793.
8. Диференціальний метод встановлення порівняльної небезпеки помилок авіадиспетчерів / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, В. А. Шульгін // Наука, технології, інновації. — 2019. — № 3 (11). — С. 70–82. <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2019-3-08>.
9. Системно-інформаційна методологія проактивної кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в аеронавігаційних системах : монографія / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. В. Камишин, В. А. Шульгін, В. Д. Пархоменко, В. О. Липчанський; за наук. ред. О. М. Реви. — Київ : УкрІНТЕІ, 2019. — 166 с.
10. Професійні ситуативні вправи діагностики і корекції небезпечних стратегій прийняття рішень авіадиспетчерами / О. М. Рева, Б. М. Мирзоєв, Ш. Ш. Насіров, П. Ш. Мухтаров // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT-2013): у 2-х т.: зб. матеріалів V Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 28–30 трав. 2013 р.). — Херсон : ХДМА, 2013. — Т. 2. — С. 23–26.
11. Рева О. М. Розробка методичного забезпечення процедур діагностики і корекції небезпечних стратегій прийняття рішень авіадиспетчерами / О. М. Рева, Б. М. Мирзоєв, Ш. Ш. Насіров, П. Ш. Мухтаров // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. — 2013. — № 1. — С. 90–96.
12. Рева А. Н. Эффективность методов определения групповых систем предпочтений диспетчеров на опасности характерных ошибок, совершаемых в процессе управления воздушным движением / А. Н. Рева, Ш. Ш. Насиров, Б. М. Мирзоєв // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2018. — № 6. — С. 93–103.
13. Рева О. М. Багатокрокова процедура прийняття рішень щодо узгодженості групових систем переваг авіадиспетчерів / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, С. В. Радецька // Технічне регулювання, метрологія, інформаційні та транспортні технології : матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 14–15 листоп. 2019 р.). — Одеса : ОДАТРА, 2019. — С. 147–152.
14. Рева О. М. Застосування класичних критеріїв прийняття рішень для визначення ризиків-невизначеності групових систем переваг авіадиспетчерів на небезпеках характерних помилок / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, С. П. Борсук, В. А. Шульгін // Наука, технології, інновації. — 2020. — № 2 (14). — С. 57–64. — <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2020-2-07>.
15. Тарасов В. А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: Теория, синтез, эффективность / В. А. Тарасов, Б. М. Герасимов, И. А. Левин, В. А. Корнейчук. — Киев : МАКИС, 2007. — 336 с.
16. Кемени Дж. Кибернетическое моделирование: Некоторые приложения / Дж. Кемени, Дж. Снелл; пер. с англ. — М. : Совет. радио, 1972. — 192 с.
17. Bury H. Application of Kemeny's median for group decision support / H. Bury, D. Wagner // In book: Applied Decision Support with Soft Computing. Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing. Vol. 124. — Berlin: Heidelberg, 2003. — P. 235–262. — [https://doi.org/10.1007/978-3-540-37008-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-540-37008-6_10).
18. Davenport A. A computational study of the Kemeny Rule for preference aggregation proceeding / A. Davenport, J. Kalagnanam // AAAI'04 Proc. of the 19th National Conference on Artificial Intelligence. — San Jose, California, 2004. — P. 697–702.
19. Орлов А. И. Теория принятия решений : учеб. пособие. / А. И. Орлов. — М. : Экзамен, 2006. — 576 с.
20. Рева О. М. Медіана Кемени як групова система переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок / О. М. Рева, В. В. Камишин, Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія: науково-технічний журнал. — 2012. — № 4. — С. 106–115.
21. Камишин В. В. Процедура побудови медіани Кемени як остаточної групової системи переваг / В. В. Камишин // Наукоємні технології. — 2013. — Т. 19. — № 3. — С. 273–279.
22. Самохвалов Ю. Я. Экспертное оценивание: Методический аспект / Ю. Я. Самохвалов, Е. М. Науменко. — Киев: ДУИКТ, 2007. — 362 с.
23. Болтенков В. А. Анализ медианных методов консенсусного агрегирования ранговых предпочтений / В. А. Болтенков, В. И. Куваева, А. В. Позняк // Информатика та математичні методи в моделюванні. — 2017. — Т. 7. — № 4. — С. 307–317.
24. Granger C. W. J. Improved methods of combining forecasts / C. W. J. Granger & R. Ramanathan // Journal of Forecasting. — 1984. — Vol. 3. — P. 197–204.
25. Рева О. М. Апробація медіани Кемени для непараметричної оптимізації групової системи переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок / О. М. Рева, А. М. Невиніцин, В. А. Шульгін, В. В. Камишин // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT-2020) : зб. матеріалів XII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 27–29 трав. 2020 р.). — Херсон : ХДМА, 2020. — С. 18–21.

## REFERENCES

1. Prognoz razvitiya vozdušnogo transporta do 2025 goda [Forecast of air transport development until 2025] (2007). Cir. ICAO 313 — AT / 134. Monreal, Kanada.
2. Globalnyj plan obespecheniya bezopasnosti poleto (2017–2019) [Global Safety Plan (2017–2019)] (2016). Doc. ICAO 10104. Monreal, Kanada.
3. Safety Management Manual (SMM) (2018). DOC ICAO 9859 — AN/474. Montreal, Canada, 2018.
4. Fundamental Human Factors Concept (1989). Human Factors Didest No. 1. Cir. ICAO 216 — AN / 131. Montreal, Canada.
5. Davydenko, M. F., & Reva, A. N. (1995). Posledniy rubezh oborony (Chelovecheskyi faktor: fundamentalnye kontseptsyy YKAO) [The Last Frontier

- of Defense (Human Factor: ICAO Fundamental Concepts)]. *Avyakompanyia* [Airlines]. P. 23–28.
6. Reva, O., Borsuk, S., Mirzayev, B. & Mukhtarov, P. (2016). New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation. *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation* (July 27–31, 2016, Walt Disney World, USA). Florida, 37–147. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_12).
  7. Reva, O., Borsuk, S., Shulgin, V., & Nedbay, S. (2019) Ergonomic Assessment of Instructors' Capability to Conduct Personality-Oriented Training for Air Traffic Control (ATC) Personnel. *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Transportation* (July 24–28, 2019, USA). Washington, 783–793. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_70).
  8. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Nevynitsyn, A. M., & Shulhin, V. A. (2019). Diferentsialnyi metod vs-tanovlennia porivnialnoi nebezpeky pomylok aviadyspetcheriv [Differential method of establishing the comparative danger of errors of air traffic controllers]. *Nauka, tekhnologii, innovatsii* [Science, technologies, innovations]. 3 (11), 70–82. <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2019-3-08>.
  9. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Kamyshyn, V. V., Shulhin, V. A., Parkhomenko, V. D., & Lypchynskyi, V. O. (2019). Systemno-informatsiina metodolohiia proaktyvnoi kvalimetrii vplyvu liudskoho chynnyka na pryiniattia rishen v aeronavihatsiinykh systemakh [System-information methodology of proactive qualimetry of human factor influence on decision-making in aeronautical systems]. Kyiv. 166 p.
  10. Reva, O. M., Myrzoiev, B. M., Nasirov, Sh. Sh., & Mukhtarov, P. Sh. (2013) Profesiini sytuatyvni vpravy diahnostryky i korektsii nebezpechnykh stratehii pryiniattia rishen aviadyspetcheramy [Professional situational exercises for diagnostics and correction of dangerous decision-making strategies by air traffic controllers]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti (MINNT-2013)* [Modern information and innovative technologies in transport. (MINNT-2013)]. Kherson, Vol. 2. P. 23–26.
  11. Reva, O. M., Myrzoiev, B. M., Nasirov, Sh. Sh. & Mukhtarov, P. Sh. (2013). Rozrobka metodychnoho zabezpechennia protsedur diahnostryky i korektsii nebezpechnykh stratehii pryiniattia rishen aviadyspetcheramy [Development of methodological support for diagnostic procedures and correction of unsafe decision-making strategies by aviation dispatchers]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii* [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy]. 1, 90–96.
  12. Reva, A. N., Nasirov, Sh. Sh., & Mirzoev, B. M. (2018). Effektivnost' metodov opredeleniya gruppovykh sistem predpochtenij dispetcherov na opasnosti harakternykh oshibok, sovershaemykh v protsesse upravleniya vozдушnym dvizheniem [Efficiency of methods for determining group systems of preferences of dispatchers on the danger of characteristic errors made in the process of air traffic control]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia* [Aviation-space engineering and technology]. 6, 93–103.
  13. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Nevynitsyn, A. M. & Radetska, S. V. (2019) Bahatokrozkova protsedura pryiniattia rishen shchodo uzgodzhenosti hrupovykh system perevah aviadyspetcheriv [Multi-step decision-making procedure for the consistency of group systems of preferences of air traffic controllers]. *Tekhnichne rehuliuвання, metrolohiia, informatsiini ta transportni tekhnolohii* [Technical regulation, metrology, information and transport technologies]. Odesa, P. 147–152.
  14. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Nevynitsyn, A. M., Borsuk, S. P., & Shulhin V. A. (2020). Zastosuvannia klasychnykh kryteriiv pryiniattia rishen dlia vyznachennia ryzykiv-nevynachenosti hrupovykh system perevah aviadyspetcheriv na nebezpekakh kharakternykh pomylok [Application of classical decision-making criteria for determining the risks of uncertainty of group systems of air traffic controllers on the dangers of characteristic errors]. *Nauka, tekhnologii, innovatsii* [Science, technology, innovation]. 2 (14), 57–64. <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2020-2-07>
  15. Tarasov, V. A., Gerasimov, B. M., Levin, I. A., & Kornejchuk, V. A. (2007). Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenij: Teoriya, sintez, effektivnost' [Intelligent systems of decision support: Theory, synthesis, efficiency]. Kyiv, 336 p.
  16. Kemeni, Dzh., & Snell, Dzh. (1972). Kiberneticheskoe modelirovanie: Nekotorye prilozheniya [Cybernetic modeling: Some applications]. Moscow, 192 p.
  17. Bury, H., & Wagner, D. (2003). Application of Kemeny's median for group decision support. *Applied Decision Support with Soft Computing. Series: Studies in Fuzziness and Soft Computing*. Berlin, Vol. 124. P. 235–262. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-37008-6\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-540-37008-6_10).
  18. Davenport, A., & Kalagnanam, J. (2004). A computational study of the Kemeny Rule for preference aggregation proceeding. *AAAI'04 Proc. of the 19th National Conference on Artificial Intelligence*. California, P. 697–702.
  19. Orlov, A. I. (2006). Teoriya prinyatiya reshenij [Theory of decision making]. Moscow, 576 p.
  20. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., & Nasirov, Sh. Sh. (2012). Mediana Kemeni yak hrupova sys-tema perevah aviadyspetcheriv na mnozhynni kharakternykh pomylok [Mediana Kemeni as a group system-theme of preferences of air traffic controllers on a set of characteristic errors]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia* [Aerospace Engineering and Technology]. 4, 106–115.
  21. Kamyshyn, V. V. (2013). Protsedura pobudovy mediany Kemeni yak ostatochnoi hrupovoi systemy perevah [Procedure for constructing the median of Kemeny as the final group system of advantages]. *Naukoiemni tekhnologii* [Science-intensive technologies]. 19 (3), 273–279.
  22. Samohvalov, Yu. Ya., & Naumenko, E. M. (2007) Ekspertnoe ocenivanie: Metodicheskij aspekt [Expert assessment: Methodical aspect]. Kyiv, 362 p.
  23. Boltenev, V. A., Kuvaeva, V. I., & Poznyak, A. V. (2017). Analiz mediannykh metodov konsensusnogo agregirovaniya rangovykh predpochtenij [Analysis of median methods of consensus aggregation of rank preferences]. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuvanni* [Informatics and mathematical methods in modeling]. 7 (4), 307–317.
  24. Granger, C. W. J., & Ramanathan, R. (1984). Improved methods of combining forecasts. *Journal of Forecasting*. 3, 197–204. <https://doi.org/10.1002/for.3980030207>.
  25. Reva, O. M., Nevynitsyn, A. M., Shulhin, V. A., & Kamyshyn, V. V. (2020). Aprobatsiia mediany Kemeni dlia neparametrychnoi optymizatsii hrupovoi syste-



my perevah aviadyspetcheriv na mnozhyni kharakternykh pomylok [Approval of the median Kemeny for nonparametric optimization of the group system of preferences of air traffic controllers on the set of

characteristic errors]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINNT – 2020)* [Modern information and innovation technologies on transport (MINNT – 2020)]. Kherson. P. 18–21.

**O. M. REVA**, D. Sc. in Engineering, Professor

**V. V. KAMYSHYN**, D. Sc. in Pedagogy, Senior Researcher

**V. A. SHULGIN**, PhD in Engineering, Assistant Professor

**A. V. NEVYNITSYN**, PhD in Engineering, Associate Professor

### SYSTEM ANALYSIS: THE KEMENY'S MEDIAN AS AN OPTIMIZATION MODEL OF THE PREFERENCES GROUP SYSTEM OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS OF THE DANGER OF THE CHARACTERISTIC ERRORS

**Abstract.** *The systems of advantages of aviation operators of the “front line” on the indicators and characteristics of their professional activities is one of the indicators demonstrating the influence of the human factor on decision-making, and, consequently, on the “attitude towards dangerous actions or conditions”, which, in its turn, is one of the components of the current ICAO safety paradigm. The preference system is understood as an ordered series of the specified indicators and characteristics from the most dangerous to the least dangerous, including errors that can be made by air traffic controllers. Group systems of advantages have a number of properties (peculiarities of the prevailing in a particular society – control shift – opinions on the perception of threats and hazards, the influence of the attitude of instructor personnel to threats and dangers and the technology to overcome them, statistics of aviation accidents and serious incidents in the area of responsibility, etc.) that are desirable to take into account in the safety management process and that are found by aggregating individual systems of benefits. This aggregation occurs using strategies for making group decisions, from which one should point to the strategy of summing and averaging ranks, which is riskier, but allows establishing the degree of consistency of opinions using the Kendall concordance coefficient. An important strategy is based on the classical Savage decision-making criteria, which has an optimization content and allows minimizing deviations in opinions regarding the dangers of mistakes of both the majority and the minority of the group members. The Kemeny's median has a pronounced nonparametric optimization content, but it is almost never used in studies of the influence of the human factor on decision making in aviation systems. Individual systems of preferences of  $m = 37$  air traffic controllers on the spectrum of  $n = 21$  characteristic errors were constructed by them using the usual method of pairwise comparisons and normative establishment of a part of the total hazard. The use of the technology for detecting and filtering out marginal thoughts – individual systems of advantages, which significantly differ from the general group, made it possible to distinguish a subgroup  $m_A = 26$  with a high level of intragroup consistency of opinions: the coefficient of concordance is  $W = 0.7144$  and is statistically significant at a high level of significance  $\alpha = 1\%$ . Individual preference systems of members of the  $m_A$  subgroup were used to implement the heuristic algorithm and construct the desired Kemeny's median, which improves the consistent preference system and has an unusually high coincidence with the group advantage systems obtained using other group decision strategies: the average value of Spearman's rank correlation coefficient in 7 times increased its minimum acceptable value.*

**Keywords:** flight safety, human factor, air traffic controllers, error risks, individual and group preference systems, optimization model, the Kemeny's median.

**A. H. РЕВА**, д. т. н., профессор

**В. В. КАМЫШИН**, д. п. н., с. н. с.

**В. А. ШУЛЬГИН**, к. т. н., доцент

**А. Н. НЕВИНИЦЫН**, к. т. н., доцент

### СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ: МЕДИАНА КЕМЕНИ КАК ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГРУППОВОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПОЧТЕНИЙ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ НА ОПАСНОСТИ ХАРАКТЕРНЫХ ОШИБОК

**Резюме.** *Системы преимуществ авиадиспетчеров “переднего края” на показателях и характеристиках их профессиональной деятельности является одним из индикаторов, демонстрирующих влияние человеческого фактора на принятие решений, а следовательно, и на “отношение к опасным действиям или условий”. Это, в свою очередь, является одним из составляющих текущей парадигмы безопасности полетов ICAO. Под системой предпочтений следует понимать упорядоченный ряд указанных показателей и характеристик от наиболее к наименее опасным, в том числе ошибок, которые могут быть допущены авиадиспетчерами. Групповые системы преимуществ обладают рядом свойств (особенности сложившейся в конкретном социуме – диспетчерской смене – мнения относительно восприятия факторов угроз и опасностей, влияние отношения инструкторского персонала к угрозам и опасностям, технология их преодоления, статистика авиационных происшествий и серьезных инцидентов в зоне ответственности и т.п.), которые следует учитывать в процессе управления безопасностью полетов и определяют путем агрегации индивидуальных систем преимуществ. Указанная агрегация происходит с помощью стратегий принятия групповых решений, среди которых следует указать на стратегию суммирования и усреднения рангов, является более рискованной, однако позволяет установить степень согласованности мнений с помощью коэффициента конкордации*

Кендалла. Важной является стратегия, базирующаяся на классическом критерии принятия решений Севиджа, которая имеет оптимизационное содержание и позволяет минимизировать отклонения во мнениях относительно опасностей ошибок как большинства, так и меньшинства членов группы. Медиана Кемени имеет ярко выраженный непараметрический оптимизационный содержание, однако почти не применяется в исследованиях влияния человеческого фактора на принятие решений в авиационных системах. Индивидуальные системы предпочтений  $m = 37$  авиадиспетчеров на спектре  $n = 21$  характерных ошибок были построенные ими с помощью обычного метода попарных сравнений и нормативной установки части суммарной опасности. Применение технологии обнаружения и отсеивания маргинальных мыслей – индивидуальных систем преимуществ, которые существенным образом отличаются от общегрупповой, позволило выделить подгруппу  $m_A = 26$  с высоким уровнем внутрigrupповой согласованности мыслей: коэффициент конкордации равен  $W = 0,7144$  и является статистически вероятным на высоком уровне значимости  $\alpha = 1\%$ . Индивидуальные системы предпочтений членов подгруппы  $m_A$  были применены для реализации эвристического алгоритма и построения искомой медианы Кемени, которая совершенствует согласованную систему предпочтений и имеет необычайно высокий уровень совпадения с групповыми системами преимуществ, полученными с помощью других стратегий групповых решений: среднее значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена равна и в 1,7 раза превышает минимально приемлемое его значения.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, человеческий фактор, авиадиспетчеры, опасности ошибок, индивидуальные и групповые системы предпочтений, оптимизационная модель, медиана Кемени.

#### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Рева Олексій Миколайович** — д-р техн. наук, професор, головний науковий співробітник ДНУ “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Камишин Володимир Вікторович** — д-р пед. наук, с. н. с., в. о. директора ДНУ “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

**Шульгін Валерій Анатолійович** — канд. техн. наук, доцент, декан факультету льотної експлуатації Льотної академії Національного авіаційного університету, вул. Добровольського, 1, м. Кропивницький, Україна, 25005; VAShulgin@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7938-8383

**Невинцін Андрій Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, декан факультету обслуговування повітряного руху Льотної академії Національного авіаційного університету, вул. Добровольського, 1, м. Кропивницький, Україна, 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Reva O. M.** — D. Sc. in Engineering, Professor, Principal Researcher of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Kamyshyn V. V.** — D. Sc. in Pedagogy, Senior Researcher, Acting Director of State Institution “Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information”, Antonovycha str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

**Shulgin V. A.** — PhD in Engineering, Assistant Professor, Dean of the Flight Operation Faculty, Flight Academy of the National Aviation University; Dobrovolskoho str., 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25005; VAShulgin@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7938-8383

**Nevynitsyn A. V.** — PhD in Engineering, Associate Professor, Dean of the Faculty of Air Traffic Services Flight Academy of the National Aviation University; Dobrovolskoho str., 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929

#### ІНФОРМАЦІЯ ОБ АВТОРАХ

**Рева А. Н.** — д. т. н., профессор, главный научный сотрудник ГНУ “Украинский институт научно-технической экспертизы и информации”; ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Камышин В. В.** — д. п. н., с. н. с., и. о. директора ГНУ “Украинский институт научно-технической экспертизы и информации”, ул. Антоновича, 180, г. Киев, Украина, 03680; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

**Шульгин В. А.** — к. т. н., доцент, декан факультета летной эксплуатации Летной академии Национального авиационного университета, ул. Добровольского, 1, г. Кропивницкий, 25005; VAShulgin@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7938-8383

**Невинцын А. Н.** — к. т. н., доцент, декан факультета обслуживания воздушного движения Летной академии Национального авиационного университета, ул. Добровольского, 1, г. Кропивницкий, Украина, 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929

