

О.М. РЕВА, д-р техн. наук, професор

В.В. КАМИШИН, д-р пед. наук

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

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

## ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ МЕТОД ВСТАНОВЛЕННЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПОМИЛОК АВІАДИСПЕТЧЕРІВ В ПРОФЕСІЙНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

**Резюме.** Системи переваг авіаційних диспетчерів як операторів “переднього краю”, які безпосередньо відповідають за забезпечення належного рівня безпеки польотів, розглядаються як складник прийняття ними рішень, що визначає, з одного боку, вплив людського чинника на здійснюваний вибір, а з іншого — значно полегшує цей вибір. Обґрунтовано застосування попарного порівняння і визначення частини сумарної порівняльної небезпеки як способу встановлення систем переваг  $m = 37$  професійних авіадиспетчерів на спектрі з  $n = 21$  характерних помилок, яких вони припускаються в процесі професійної діяльності. Уперше сумарна небезпека пари помилок визначається в абсолютній і унікальній за кваліметричними особливостями 100-бальній шкалі, а їх окремий вклад в цю небезпеку охоплює весь континуум шкали. На відміну від традиційної практики, що регламентує частину сумарної небезпеки, це дало змогу здійснювати більш диференційовану оцінку порівняльних небезпек помилок. Із застосуванням традиційного та пропонуваного методу побудовано групові системи переваг авіадиспетчерів на досліджуваному спектрі помилок, які майже абсолютно збігаються: коефіцієнт рангової кореляції Спірмена дорівнює величині  $R_S = 0,9727$ . Коефіцієнт конкордації Кендалла, обчислений для групової системи переваг, побудованої традиційним способом, дорівнює величині  $W_{tr} = 0,2722$  і є статистично вірогідним, а отже, відповідна система переваг є узгодженою. Коефіцієнт конкордації, обчислений для групової системи переваг, побудованої із застосування пропонуваного диференційного підходу до парного порівняння небезпек помилок, майже вдвічі більший, дорівнює величині  $W_{dif} = 0,5237$  і є статистично вірогідним на високому рівні значущості  $\alpha = 1\%$ . Це свідчить як про узгодженість думок випробуваних, так і про високу ефективність пропонуваного диференційного підходу.

**Ключові слова:** безпека польотів, людський чинник, авіадиспетчери, прийняття рішень, системи переваг, характерні помилки, диференціальний підхід до визначення порівняльної небезпеки помилок.

### ВСТУП

На сьогоднішній день загальновизнаний подвійний, як позитивний, так і, переважним чином, негативний, вплив людського чинника (ЛЧ) на безпеку польотів (БП). Тому ІКАО видала декілька десятків циркулярів, збірників і керівництв, де було узагальнено позитивний досвід провідних авіакомпаній і авіаційних адміністрацій світу з дослідження та профілактики негативного впливу ЛЧ на БП [1–4 та ін.]. Однак у зазначених документах відповідні рекомендації мають дещо розмитий (fuzzy) характер, що спричинює певні утруднення під час їх опрацювання та впровадження в практику діяльності авіакомпаній. І оскільки авіаційна транспортна система (АТС) є незвичайно динамічною, то це й визначає перманентну актуальність досліджень широкого спектра проблем прояву ЛЧ в авіації.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Нині авіаційні оператори (АО) “переднього краю” (диспетчери управління повітряним

рухом (УПР), члени льотного екіпажу), вважаються ІКАО “останнім рубежем оборони” у процесі забезпечення належного рівня БП [1; 5]. Їх професійну діяльність зазвичай розглядають як безперервний ланцюг рішень, що виробляються і реалізуються у явних і неявних формах під впливом багатьох чинників різної природи і джерел виникнення [6–8].

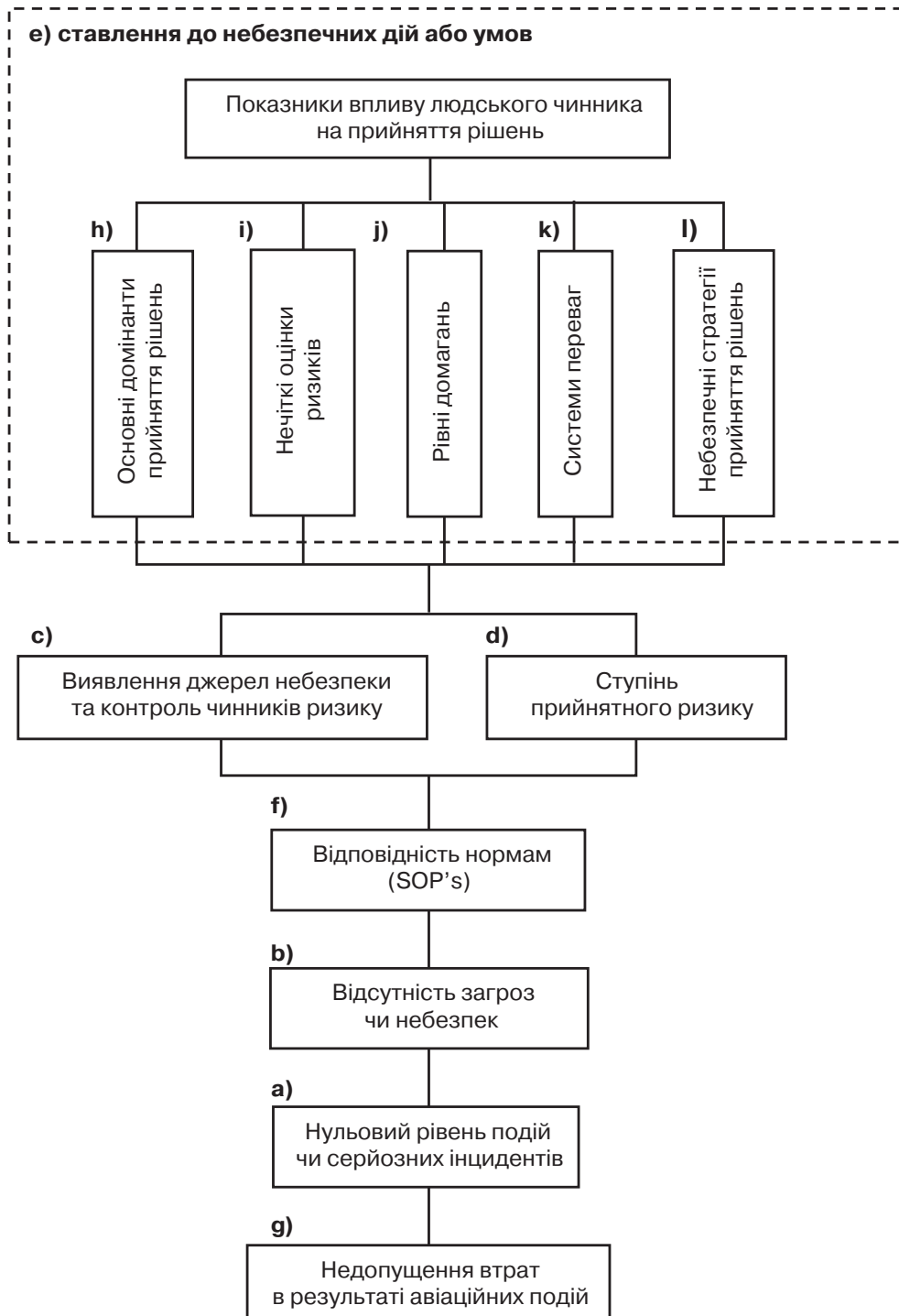
З урахуванням наведеного, уявляється можливим пояснити взаємодію складників концепції поточної парадигми БП ІКАО саме з позицій “ставлення персоналу до небезпечних дій або умов”, яке розкривається через показники впливу ЛЧ на прийняття рішень (ПР), що ілюструє відповідна схема на **рис. 1** [9–11 та ін.].

Блоки h) — l) на рис. 1 вказують, з одного боку, на показники прояву ЛЧ в процесі ПР АО “переднього краю”, причому найменш дослідженими з-поміж них є блоки k) і l). З іншого боку, зазначені показники, встановлені нами на добре вимірюваних і фізично уявлюваних характеристиках професійної діяльності, і дійсно

вказують на “ставлення до небезпечних дій або умов”, яке є провідним складником концепції БП ICAO.

Дотримання стандартних експлуатаційних процедур визначається ICAO як складник концепції БП (рис. 1, блок f) [4]. Однак головна

помилка їх розробників полягає в припущенні, що користувачі відповідних рекомендацій є їх ідеальними виконавцями. І оскільки “людина має право на похибку” [12], то в переважній більшості випадків пусковим чинником АП є помилка персоналу, якої припускаються зазвичай



**Рис. 1.** Схема впливу людського чинника на прийняття рішень і взаємодію складників концепції безпеки польотів ICAO

кваліфіковані АО “переднього краю”. Тому спроможність ментального передбачення хибних наслідків помилкових дій, формування навичок їх розрізнення, розпізнавання, запам’ятовування, а отже, і запобігання є актуальною науковою та практичною задачею [13].

### АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Отже, “ставлення персоналу до небезпечних дій або умов” (див. **рис. 1**) доцільно розглядати крізь призму уявлення диспетчерів УПР (ДУПР) небезпек помилок, яких вони припускаються в професійній діяльності. Причому це ставлення потрібно подати у вигляді системи переваг (СП) на спектрі цих помилок. З огляду на праці [13–18 та ін.], у контексті наших досліджень під СП розумітимемо уявлення ДУПР про найбільш небезпечну та найменш небезпечну з помилок, що розглядаються, а отже, і про весь упорядкований ряд цих помилок: від найбільш небезпечної — до найменш небезпечної.

З урахуванням рекомендацій ICAO [3] та статистики авіаційних подій (АП) і серйозних інцидентів (СІ) при УПР, було сформульовано перелік характерних помилок ДУПР, яких вони припускаються в професійній діяльності, що на сьогодні є більш повним і дає змогу всебічно досліджувати їх неправильні дії [13; 15; 17; 18 та ін.]. А саме:

$P_1$  — порушення фразеології радіообміну;

$P_2$  — неузгодженість входу повітряного судна в зону суміжного управління повітряним рухом;

$P_3$  — порушення побіжних часових інтервалів;

$P_4$  — порушення зустрічних часових інтервалів;

$P_5$  — порушення інтервалів між повітряними судами, які знаходяться на курсах, що перетинаються;

$P_6$  — безадресна передача повідомлень авіадиспетчером;

$P_7$  — помилка у визначенні позивного повітряного судна;

$P_8$  — помилка в ідентифікації повітряного судна;

$P_9$  — помилкове використання диспетчерського графіку;

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

$P_{11}$  — відсутність на стріпі позначки диспетчера щодо узгодження входу повітряного судна в зону управління повітряним рухом суміжного диспетчерського пункту;

$P_{12}$  — порушення авіадиспетчером узгодженого географічного рубежу передачі управління повітряним рухом;

$P_{13}$  — порушення авіадиспетчером узгодженого часового рубежу передачі управління повітряним рухом;

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

$P_{15}$  — неекономічне управління повітряним рухом;

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

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

$P_{18}$  — спроба керувати повітряним судном після спрацьовування на ньому системи TCAS режими resolution advice;

$P_{19}$  — помилки вводу інформації про повітряне судно в автоматизовану систему;

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

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

Більш поширеними способами виявлення СП, що можуть бути застосованими для визначення ставлення ДУПР до небезпек характерних помилок шляхом їх ранжування (впорядкування), є такі [14; 15] (не ранжуючи):

1) сортування — застосовується за умов необхідності попередньої кластеризації значної кількості ранжувальних альтернатив. Наприклад, ICAO визначає, що кластеризація саме помилок ДУПР має відбуватися, орієнтуючись на такі їх види і джерела виникнення [3]:

- помилки що виникають через неправильну експлуатацію устаткування;
- процедурні помилки;
- помилки зв’язку.

До речі, у процесі формування вищенаведеного спектру характерних помилок їх зміст визначався саме відповідно до наведених рекомендацій ICAO. Вкажемо також, що поданий спектр помилок значно перевищує обсяг оперативної пам’яті людини, який дорівнює так званому магічному числу Міллера ( $7 \pm 2$  оперативних одиниць) [19–21] і фактично дорівнює так званому коефіцієнту неефективності С.Н. Паркінсона [22]. Однак до досліджень були залучені експерти-ДУПР високого гатунку з суттєвим практичним досвідом безпосереднього УПР, зокрема дій в потенційно конфліктних, конфліктних і аварійних ситуаціях, в умовах суттєвого робочого та психофізіологічного переважання, а також методичної (інструкторської) праці, тому питання кластеризації помилок і попереднього визначення СП у межах окремого кластера в процесі проведення їх опитування не виникало.

2) пряме упорядкування (ранжування);

- 3) попарне порівняння та визначення частини від сумарної небезпеки пари помилок;
- 4) попарне порівняння та визначення відносної частини від сумарної небезпеки пари помилок;
- 5) визначення зважених коефіцієнтів небезпек (важливості, значущості тощо) помилок;
- 6) встановлення суб'єктивних ймовірностей появи помилок;
- 7) застосування лінгвістичних змінних для встановлення ступеня небезпек помилок.

Згідно з результатами досліджень [15; 17; 18 та ін.], варто констатувати, що для потреб наших досліджень доцільно застосовувати такий спосіб виявлення СП як попарне порівняння та визначення частини від сумарної небезпеки пари помилок. Це, спираючись на праці [14; 16; 23–30 та ін.], формально можна подати так:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1+z & \text{— факт переваги } \Pi_i \succ \Pi_j \\ 1 & \text{— факт рівноцінності } \Pi_i \approx \Pi_j, \\ 1-z & \text{— факт переваги } \Pi_j \succ \Pi_i \end{cases} \quad (1)$$

де  $c_{ij}$  — кількісний показник переваги за небезпекою однієї помилки  $\Pi_i$  над іншою  $\Pi_j$ ;

$z$  — показник сумарної небезпеки помилок  $\Pi_i$  і  $\Pi_j$ .

Розглянутий спосіб встановлення СП достатньо простий, оскільки досліджувані помилки порівнюються в парах, без врахування ставлення експерта-ДУПР до інших.

Наведене належить до широкого класу способів експлікації експертних думок, визначених як *елементарні судження*.

Послідовність отримання значень пріоритетів  $c_{ij}$  кількісних характеристик порівнюваних помилок є такою.

1. Експерти, відповідно до власного досвіду професійної діяльності та статистики виникнення АП і СІ при УПР, експлікують судження у вигляді парних порівнянь небезпек помилок. Причому спочатку визначається лише факт переваги чи індиферентності помилок без кількісної оцінки ступеня цих переваг у кожній парі.

2. Далі шляхом аналізу отриманої інформації або за допомогою оцінок експертів-ДУПР задаються межі зміни ступеня прояву певної ознаки (небезпеки) в помилках, що порівнюються. Ці оцінки фіксуються як відношення крайніх членів ранжованого ряду:

$$\frac{C(\Pi_i^{max})}{C(\Pi_j^{min})} = K_p \quad (2)$$

де  $\Pi_i^{max}$ ,  $\Pi_j^{max}$  помилки відповідно з максимальною  $C(\Pi_i^{max})$  та мінімальною  $C(\Pi_j^{min})$  оцінкою їх небезпеки;

$K_p$  — розрахунковий коефіцієнт відношення небезпек помилок.

3. За знайденим значенням розрахункового коефіцієнту  $K_p$  й знаходяться шукані значення показника сумарної небезпеки помилок  $z$ :

$$z = \left( \frac{K_p - 1}{K_p + 1} + \sqrt{\frac{0,05}{n}} \right), \quad (3)$$

де  $n = 2l$  кількість помилок з **табл. 1**, що впорядковуються.

4. На основі системи парних порівнянь небезпек помилок із застосуванням коефіцієнтів  $c_{ij}$ , що були підібрані, будується квадратна матриця  $C = \| c_{ij} \|$ :

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2j} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in} \\ \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

5. Ітераційно здійснюється обчислення значень пріоритетів небезпек досліджуваних помилок шляхом застосування методу розстановки пріоритетів (МРП) [26].

6. Обчислюється фактичний коефіцієнт відношень небезпек помилок  $K_\phi$  і порівнюється з його розрахунковим значенням  $K_p$ . Якщо коефіцієнти узгоджені, то задача визначення показника вважається розв'язаною. У протилежному випадку здійснюється корегування коефіцієнтів  $z$  і обчислення повторюється.

Суттєвими перевагами розглянутого методу є:

1) спрощення процедури висловлювання суджень (не потрібна кількісна оцінка відношень між помилками, що впорядковуються);

2) шляхом підбору коефіцієнтів  $c_{ij}$  узгоджуються розрахункові кількісні відношення між помилками з істинними кількісними співвідношеннями між ними;

3) допускається застосування нетранзитивної вихідної інформації та нетранзитивних переваг.

Складний і відповідальний момент у застосуванні цього методу — це оцінка границь (меж) варіації розрахункового коефіцієнта відношень небезпек помилок  $K_p$ .

Якщо все-таки існує можливість оцінити співвідношення помилок, то їх необхідно впорядкувати для визначення крайніх членів ранжованого ряду. Для цього можна застосувати МРП з довільними коефіцієнтами  $z$ . У розв'язанні задачі це є єдиною кількісною оцінкою, тому її

отримання має бути організовано більш ретельно, а отже — і більш якісно.

Якщо системи парних порівнянь нетранзитивні, чи в них наявні відношення рівності (індиферентності), тобто коли певні помилки виявляються нерозрізненими за безпекою в уяві експертів-ДУПР і отримують пов'язані усереднені ("міддл") ранги, знаходження  $z$  відповідним чином корегується [26].

З метою практичного застосування формулу (1) зазвичай перетворюють на дві такі, у яких сумарна кількісна оцінка порівнюваних альтернативи дорівнює 1 чи 2:

$$c_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{— якщо помилка } \Pi_i \text{ небезпечніша за } \Pi_j : \\ & \Pi_i \succ \Pi_j \\ 0 & \text{— якщо навпаки : } \Pi_i \prec \Pi_j \\ 0,5 & \text{— якщо помилки } \Pi_i \text{ і } \Pi_j \text{ адекватні} \\ & \text{за безпекою : } \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases} ; \quad (5)$$

$$c_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{— якщо помилка } \Pi_i \text{ небезпечніша за } \Pi_j : \\ & \Pi_i \succ \Pi_j \\ 0 & \text{— якщо навпаки : } \Pi_i \prec \Pi_j \\ 1 & \text{— якщо помилки } \Pi_i \text{ і } \Pi_j \text{ адекватні} \\ & \text{за безпекою : } \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases} . \quad (6)$$

Як бачимо, з формул (5), (6) частина сумарної небезпеки помилок нормується, що нібито полегшує здійснення їх попарного порівняння. Адже людському мисленню властиві саме порівняльні, якісні, а не кількісні оцінки [20; 31]. Однак, з іншого боку, нормування частини сумар-

ної небезпеки помилок призводить до певного "огрубіння" результатів порівняння і вносить методологічну похибку в остаточний висновок щодо їх дійсної безпеки.

### ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

З огляду на наведене, результати досліджень [13; 15; 17; 18; 32] і результати наших досліджень апробаційного характеру [33], метою цієї публікації є розроблення та застосування більш досконалого, відносно традиційного, методу розподілу сумарної небезпеки між порівнюваними помилками, а також встановлення його ефективності.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Застосування традиційного методу розподілу сумарної небезпеки помилок.

Отже, формулу (5) було застосовано для встановлення індивідуальних СП (ІСП)  $m = 37$  професійних ДУПР, співробітників Льотної академії Національного авіаційного університету і ДП "Украерорух" зі значним досвідом професійної діяльності та методичної (інструкторської) праці (табл. 1).

Далі ІСП за допомогою такої стратегії групових рішень, як підсумовування і усереднення рангів [14; 16–18; 24–29; 32] було агреговано в нижченаведену групу СП (ГСП):

$$\begin{aligned} & \Pi_{18} \succ_{tr.} \Pi_{20} \succ_{tr.} \Pi_5 \succ_{tr.} \Pi_4 \succ_{tr.} \Pi_{21} \succ_{tr.} \Pi_3 \succ_{tr.} \Pi_8 \succ_{tr.} \\ & \succ_{tr.} \Pi_2 \succ_{tr.} \Pi_{17} \succ_{tr.} \Pi_{13} \succ_{tr.} \Pi_6 \succ_{tr.} \Pi_{12} \succ_{tr.} \Pi_{16} \succ_{tr.} \Pi_1 \succ_{tr.} , \quad (7) \\ & \succ_{tr.} \Pi_{19} \succ_{tr.} \Pi_7 \succ_{tr.} \Pi_9 \succ_{tr.} \Pi_{14} \succ_{tr.} \Pi_{11} \succ_{tr.} \Pi_{15} \succ_{tr.} \Pi_{10} \end{aligned}$$

Таблиця 1

### Індивідуальні системи переваг авіадиспетчерів на небезпеках характерних помилок, отримані звичайним методом (фрагмент)

ДУПР <sub>i</sub>	Індивідуальні системи переваг авіадиспетчерів, $r_{ij}$																				
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$	$\Pi_{10}$	$\Pi_{11}$	$\Pi_{12}$	$\Pi_{13}$	$\Pi_{14}$	$\Pi_{15}$	$\Pi_{16}$	$\Pi_{17}$	$\Pi_{18}$	$\Pi_{19}$	$\Pi_{20}$	$\Pi_{21}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	13,5	9	5,5	3	3	9	9	7	20,5	16,5	16,5	19	18	13,5	20,5	11	13,5	5,5	13,5	3	1
2	14	8	4,5	1	3	14	16,5	8	19,5	19,5	18	16,5	12	21	11	10	8	2	14	6	4,5
3	12	7,5	4	4	4	10,5	10,5	9	21	18	18	18	18	14	7,5	13	1,5	15	6	1,5	
4	13	10,5	5	5	5	12	10,5	7,5	19	19	19	9	7,5	17	14	21	16	1	15	2	3
5	7	8,5	5	5	5	21	19	12	20	17	14,5	11	10	14,5	14,5	18	14,5	3	8,5	1	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
33	5	5	7	1	12,5	11	20	14,5	3	17,5	12,5	14,5	10	17,5	20	20	5	2	8	9	16
34	20	2,5	4	2,5	5	9	15	18	16	9	12	14	9	17	19	21	6,5	12	12	1	6,5
35	18,5	8	6	1,5	1,5	11	15	16	13,5	20,5	20,5	10	8	13,5	18,5	17	8	3	12	4	5
36	11	2	8,5	4,5	1	8,5	4,5	4,5	10	14,5	16	14,5	13	19,5	7	12	4,5	21	18	17	19,5
37	8	14,5	4	1,5	1,5	9	10,5	12	14,5	19	21	13	10,5	19	7	17	16	3	19	5	6
$\sum_j r_{ij}$	474	383,5	230,5	144	140,5	442,5	503,5	375	561,5	646,5	600,5	481	418,5	587	624,5	479,5	416,5	149,5	516	154,5	218
$r_i$	14	8	6	4	3	11	16	7	17	21	19	12	10	18	20	13	9	1	15	2	5

де  $\lambda_{tr}$  — позначка переваги небезпеки однієї помилки перед іншою у ГСП (7), ІСП якої будуються “традиційним” методом нормативного розподілу сумарної небезпеки (5).

Таким чином, ГСП виду (7), отримана “традиційним” способом розподілу сумарної небезпеки помилок, дає наочне уявлення про весь упорядкований спектр небезпек характерних помилок, яких припускаються ДУПР в професійній діяльності. Однак у такому разі обов’язково має бути встановлено ступінь узгодженості думок експертів-ДУПР, яких залучено до випробувань. Показником зазначеної узгодженості постає коефіцієнт множинної рангової кореляції — коефіцієнт конкордації Кендалла, який визначається так [14–16; 24–29]:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{i=1}^m R_i}, \quad (8)$$

$$S = \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2; \quad (9)$$

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij}; \quad (10)$$

$R_j$  — показник нерозрізненості небезпек досліджуваних помилок в ІСП  $j$ -го ДУПР:

$$R_j = \sum_j (r_{ij}^3 - r_j); \quad (11)$$

$r_{ij}$  — ранг  $j$ -тої помилки в ІСП  $i$ -го ДУПР, залученого до випробувань.

Коефіцієнт конкордації змінюється в межах  $W = [0, 1]$ . Його велике значення свідчить про високий рівень узгодженості думок експертів-ДУПР щодо небезпек помилок у ГСП.

Відповідно до умов проведення експерименту та даних **табл. 1**, маємо:  $m = 37$ ,  $n = 21$ ,  $R_{tr} = 798$ ,  $S_{tr} = 286242$ . Тоді відповідно до формули (8) отримуємо таке значення коефіцієнта конкордації Кендалла:

$$W_{tr} = \frac{12 \cdot 286242}{37^2 \cdot (21^3 - 21) - 37 \cdot 798} = 0,2728.$$

Таким чином, отримане значення коефіцієнта конкордації, обчисленого для ГСП (7), побудованої за умов використання “традиційного” методу розподілу сумарної небезпеки помилок, є недостатньо великим за абсолютною величиною і не задовольняє наступному критерію [34]

$$W \geq 0,7, \quad (12)$$

а тому не є прийнятним.

Адже, з одного боку, як значна кількість ранжованих помилок, так і досить велика кількість

експертів-ДУПР, яких було залучено до опитування, неминуче вплинуло на різноманітність і варіативність думок, і як наслідок, — на абсолютне значення коефіцієнта конкордації.

З іншого боку, нами не було застосовано рекомендації праці [32] для виявлення та відсіювання маргінальних думок експертів-ДУПР, що, безумовно, також вплинуло на абсолютне значення коефіцієнта  $W_{tr}$ . Причому зауважимо, що під маргінальністю думок будемо розуміти насамперед унікальний особистий досвід безпосереднього УПР, зокрема в потенційно конфліктних, конфліктних і аварійних ситуаціях, а не недостатню обізнаність ДУПР щодо реальних небезпек ранжованих ними помилок.

З огляду на те, що невелике абсолютне значення коефіцієнта конкордації може бути все-таки статистично вірогідним [15; 16; 29 та ін.], здійснимо перевірку відповідної гіпотези, застосувавши статистичний критерій “хи-квадрат” Пірсона. Отже, для відповідного позитивного висновку необхідним є виконання такої умови [14–16; 24–29; 32; 35]:

$$\chi_{емн.}^2 = \frac{12 \cdot S}{(n+1) \cdot m \cdot n - \frac{1}{(n-1)} \sum_j R_j} \gg \chi_{\alpha; k}^2, \quad (13)$$

де  $\chi_{\alpha; k}^2$  теоретичне значення змінної “хи-квадрат” з  $k = m - 1 = 36$  ступенями свободи на рівні значущості  $\alpha = 1\%$ , що встановлюється зі спеціальної таблиці [35], з якої визначаємо, що  $\chi_{\alpha=1\%, k=36}^2 = 58,619$ .

Тоді згідно з виразом (13) матимемо:

$$\begin{aligned} \chi_{емн.}^2 &= \frac{12 \cdot 286242}{(21+1) \cdot 37 \cdot 21 - \frac{1}{(21-1)} \cdot 798} \gg 58,619 \Rightarrow \\ &\Rightarrow 201,412 \gg 58,619. \end{aligned}$$

Оскільки умова (12) виконується, то робимо остаточний висновок, що отримане емпіричне значення коефіцієнта конкордації Кендалла є статистично вірогідним. А отже, думки експертів-ДУПР, залучених до випробувань, є узгодженими у ГСП (7), що була отримана за допомогою “традиційного” методу нормативного розподілу сумарної небезпеки порівнюваних і ранжованих помилок. Тому зазначена ГСП нібито може бути застосованою у системі управління БП (УБП) або в процесах професійної підготовки ДУПР.

### Розроблення диференційного методу визначення частини сумарної небезпеки порівнюваних помилок.

Ще раз зауважимо, що у формулах (5), (6), сумарна небезпека помилок складає величину 1 або 2. Однак, внесок кожної помилки в сумарну

небезпеку, як зазначалося вище, встановлюється, застосовуючи не увесь континуум інтервалів  $[0, 1]$  або  $[0, 2]$ , а суворо регламентується. Це, з одного боку, вимагає від випробуваного лише простого рішення щодо переваги (" $>$ " чи " $<$ ") небезпеки однієї похибки перед іншою, або їх індиферентності за небезпекою (" $\approx$ "), що значно полегшує процедуру побудови ІСП. Проте, з іншого боку, дещо "огрубляється" порівняльна оцінка небезпек помилок і, як наслідок, — остаточний узагальнений висновок щодо їх небезпеки.

Для усунення вказаного недоліку, пропонується визначити сумарну та частинну небезпеку помилок, використовуючи унікальну за своїми кваліметричними особливостями абсолютну шкалу 100 [14; 16; 36]. Розвиваючи далі вираз (1), пропонується такий розподіл сумарної небезпеки порівнюваних помилок:

$$c_{ij} = \begin{cases} 51 \leq c_{ij} \leq 100, & \text{якщо помилка } \Pi_i \text{ небезпечніша} \\ & \text{за } \Pi_j : \Pi_i > \Pi_j \\ 0 \leq c_{ij} \leq 49, & \text{якщо навпаки : } \Pi_i < \Pi_j \\ 50 & \text{якщо помилки } \Pi_i \text{ і } \Pi_j \\ & \text{однаково небезпечні : } \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases} \quad (14)$$

До досліджень були залучені ті самі  $m = 37$  професійних ДУПР, співробітників Льотної академії Національного авіаційного університету і держпідприємства "Украерорух", які вже будували ІСП на множині характерних помилок (табл. 1), користуючись "традиційним" способом визначення частини сумарної інтенсивності

виду (5). Повторно здійснивши 210 попарних порівнянь і визначивши внесок кожної з двох помилок у їх загальну небезпеку, оцінювану числом 100, вони побудували нові ІСП (табл. 2).

Узагальнення цих ІСП у ГСП було знову здійснено за допомогою такої стратегії групових рішень, як підсумовування і усереднення рангів.

Формальний вигляд отриманої емпіричної ГСП такий:

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

де  $\underset{dif.}{>}$  — позначка переваги небезпеки однієї помилки перед іншою в ГСП, побудованої за допомогою пропонованого диференційного методу їх порівняння.

У процесі порівняння ГСП (7) і (15) можна одразу дійти висновку, що в них немає пов'язаних рангів помилок, тобто йдеться про їх суворе ранжування. Ступінь збігу зазначених ГСП перевіряється за допомогою коефіцієнта рангової кореляції Спірмена [14; 16; 24–29; 35]:

$$R_S = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^{n=21} (r_i^{tr.} - r_i^{dif.})^2}{n^3 - n}, \quad (16)$$

де  $r_i^{tr.}$ ,  $r_i^{dif.}$  — ранги  $i$ -тої помилки відповідно в ГСП, побудованих традиційним і диференційним методом.

Таблиця 2

**Індивідуальні системи переваг авіадиспетчерів на небезпеках характерних помилок, отримані пропонованим диференційним методом (фрагмент)**

ДУПР <sub>i</sub>	Індивідуальні системи переваг авіадиспетчерів, $r_{ij}$																				
	$\Pi_1$	$\Pi_2$	$\Pi_3$	$\Pi_4$	$\Pi_5$	$\Pi_6$	$\Pi_7$	$\Pi_8$	$\Pi_9$	$\Pi_{10}$	$\Pi_{11}$	$\Pi_{12}$	$\Pi_{13}$	$\Pi_{14}$	$\Pi_{15}$	$\Pi_{16}$	$\Pi_{17}$	$\Pi_{18}$	$\Pi_{19}$	$\Pi_{20}$	$\Pi_{21}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	19	10	5	5	5	9	7,5	7,5	21	14,5	14,5	17	18	13	20	11	16	2	12	3	1
2	14	7	6	1	3	12	15	8	19	20	18	17	11	21	10	13	9	2	16	5	4
3	10	8	5	5	5	11,5	11,5	9	21	19,5	18	17	16	19,5	15	7	13	1	14	3	2
4	12	10	6	4	5	13	11	9	20	19	18	8	7	17	14	21	16	1	15	2	3
5	9	10	5	6	4	21	19	14	20	11,5	14	11,5	8	16	17	18	14	1	7	3	2
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
32	17,5	9	7	2	3	15	20,5	19	11,5	16	14	17,5	4	11,5	20,5	13	10	1	8	5	6
33	16	9	8	2	5	20	20	17,5	10	14,5	12,5	17,5	3	14,5	20	11	12,5	1	7	5	5
34	20	4	2,5	2,5	7,5	7,5	14	18	16	11,5	9,5	15	13	17	19	21	5,5	9,5	11,5	1	5,5
35	19	7,5	6	1	2	12	15,5	15,5	13,5	20	21	9	10	13,5	18	17	7,5	3	11	5	4
36	13	1	8	7	2	9	6	4,5	10	14	16,5	15	12	21	3	11	4,5	19	16,5	18	20
37	21	20	19	18	17	15,5	15,5	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	3,5	3,5	2	1
$\sum_j r_{ij}$	539	415,5	250,5	189	168,5	472	510,5	400	585	625	577,5	474,5	414	544,5	628	442	401	124,5	465,5	134	186,5
$r_{.j}$	16	10	6	5	3	13	15	7	19	20	18	14	9	17	21	11	8	1	12	2	4

Здійснивши нескладні обчислення отримуємо, що  $R_S = 0,9727$ . Це свідчить про майже абсолютний збіг думок експертів-ДУПР про безпеку помилок у порівнюваних ГСП (7) і (15).

Визначимося зі ступенем узгодженості думок випробуваних ДУПР у ГСП (15). Згідно з умовами експерименту, даними табл. 2 і застосовуючи формули (9) — (11), маємо:  $m = 37$ ,  $n = 21$ ,  $S_{dif} = 549651$ ,  $R_{dif} = 1458$ . Застосувавши далі формулу (8), матимемо:

$$W_{dif} = \frac{12 \cdot 549651}{37^2 (21^3 - 21) - 37 \cdot 1458} = 0,5237,$$

що майже удвічі (1,92 раза!) краще за значення коефіцієнта конкордації, отриманого для ГСП (7), і переконливо свідчить про ефективність пропонованого нового диференційного методу розподілу сумарної безпеки між порівнюваними помилками.

Таким чином, значна кількість випробуваних ДУПР, яких було залучено до опитування, і значна кількість помилок, що ними упорядковуються, знову негативно вплинули на абсолютне значення коефіцієнта конкордації, тому умова (12) не виконується,

Застосовуючи формулу (13), визначимося, чи є вірогідним отримане емпіричне значення коефіцієнта конкордації  $W_{dif} = 0,5237$ :

$$\chi_{емп.}^2 = \frac{12 \cdot 549651}{(21+1) \cdot 37 \cdot 21 - \frac{1}{(21-1)} 1458} \gg 58,619 \Rightarrow \\ \Rightarrow 387,508 \gg 58,619.$$

Таким чином, умова (13) виконується на незвичайно високому рівні значущості  $\alpha = 1\%$ , тобто отримане емпіричне значення коефіцієнта конкордації Кендалла є статистично вірогідним, а отже, і ГСП (15) постає загалом узгодженою. Водночас на цьому ж рівні значущості є статистично узгоджена і раніше отримана звичайним методом ГСП (7). Однак, враховуючи співвідношення абсолютних величин коефіцієнтів конкордації  $W_{ir}$  і  $W_{dif}$ , вважаємо, що на поточному етапі досліджень варто рекомендувати для застосування в процесах розроблення і реалізації заходів з профілактики негативного впливу ЛЧ на БП саме ГСП (15). Причому йдеться, зокрема і про заходи управління БП (УБП), і про професійну підготовку ДУПР.

Вкажемо, що застосування в подальших дослідженнях методології виявлення та відсіювання маргінальних думок випробуваних ДУПР щодо безпеки ранжованих помилок [32], буде сприяти зменшенню варіативності цих думок і збільшенню абсолютного значення коефіцієнта конкордації Кендалла.

Вкажемо також, що недоліком запропонованого диференційного методу визначення частини порівняльної безпеки помилок є те, що він вимагає від випробуваних ДУПР саме кількісної експлікації думок щодо безпеки досліджуваних помилок. Однак мисленню людини більш властиві порівняльні якісні оцінки цієї безпеки [16; 20; 31], що вимагає залучення до випробувань лише ДУПР високого кваліфікаційного ґатунку. Саме це й було нами зроблено під час організації експерименту.

На завершення варто вказати, з одного боку, на доцільність постійного оновлення переліку характерних помилок, а з іншого — на охоплення регулярним опитуванням щодо їх безпеки всіх ДУПР, співробітників ДП “Укранерорух”. Оскільки досвід досліджень [9; 15; 17; 18; 32] вказує, що ті ДУПР, які пройшли таке випробування саме перед початком тренажерної підготовки, припускаються на третину менше помилок в процесі безпосередніх тренувань. Адже здійснення 210 попарних порівнянь безпеки характерних помилок формують в них стійкі проактивні навички, розрізнення, запам’ятовування, а отже, і запобігання помилок.

## ВИСНОВКИ

Підсумовуючи отримані та подані в цій статті нові наукові результати з розширення методології експертних оцінок та їх практичного застосування в аналізі професійної діяльності ДУПР, вважаємо доцільним вказати на такі найбільш вагомі з них.

1. Уперше було реалізовано диференційований метод порівняльного аналізу безпеки помилок, що дає змогу здійснити більш тонкий аналіз внеску кожної з них у сумарний показник безпеки. Переваги методу полягають у можливості отримати ГСП з суворим ранжуванням помилок, недоліки — у необхідності надавати безпеці помилок кількісні оцінки. Це потребує залучення до досліджень виключно висококваліфікованих ДУПР.

2. ГСП, отримані звичайним і диференційним методом, є статистично узгодженими на високому рівні значущості  $\alpha = 1\%$ . Однак коефіцієнт конкордації Кендалла, обчислений для останньої з них, дорівнює величині  $W_{dif} = 0,5237$  і майже удвічі (1,92 раза) кращий за результат оцінювання узгодженості думок у ГСП, отриманої традиційним методом. Це свідчить про безумовну ефективність диференційного методу.

3. Отримані результати пропонується застосовувати під час проведення заходів з профілактики негативного впливу ЛЧ на БП.

4. Запропонований диференційний підхід до визначення вкладу помилки в сумарну



парну небезпеку є універсальним і може бути адаптованим і застосованим в інших галузях досліджень, зокрема для оцінювання внеску окремого об'єкта експертизи в сумарну парну цінність з порівнюваним іншим об'єктом.

5. Подальші дослідження варто проводити у напрямках (не ранжуючи):

- встановлення можливого впливу крос культурних чинників на ставлення ДУПР до небезпек помилок;
- реалізації багатокрокової процедури виявлення і відкидання маргінальних думок ДУПР.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Fundamental Human Factors Concept // Human Factors Didest N0 1. — Cir. ICAO 216 — AN / 131. — Montreal, Canada, 1989.
2. Investigation Of Human Factors In Accidents And Incidents : Cir. ICAO240-AN/144/. — Montreal, Canada, 1993.
3. Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением : Cir. ICAO 314-AN/178. — Montreal, Canada, 2008.
4. Safety Management Manual (SMM) : Doc ICAO 9859 — AN/460. — Fourth Edition (advance unedited). — Montreal, Canada, 2018.
5. *Давиденко М.Ф.* Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) / М.Ф. Давиденко, А.Н. Рева // Авиакомпания. — М., 1995 (пробный номер). — С. 23–28.
6. *Рева А.Н.* Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) : монография / А.Н. Рева, К.М. Тумышев, А.А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А.Н. Рева, К.М. Тумышев. — Алматы, 2006. — 242 с.
7. *Плотников Н.И.* Моделирование ресурсов деятельности оператора летного труда / Н.И. Плотников // Научный вестник МТГУ ГА. — 2008. — № 135. — С. 47–54.
8. *Рева О.М.* Сучасні проблеми людського чинника в авіації : навч. посіб. / О.М. Рева, С.П. Борсук, В.А. Шульгін ; под ред. О.М. Реви. — Київ : Укр ІНТЕІ, 2018. — 124 с.
9. Ставлення авіаційних операторів “переднього краю” до небезпечних дій або умов професійної діяльності — головний чинник забезпечення безпеки польотів / О.М. Рева, С.П. Борсук, В.А. Шульгін [та ін.] // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015) : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 24–26 трав. 2016 р.). — Херсон : ХДМА, 2016. — С. 90–97.
10. 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, Florida, USA). — P. 137–147.
11. Ergonomic Assessment of Instructors' Capability to Conduct Personality-Oriented Training for Air Traffic Control (ATC) Personnel / Oleksii Reva, Sergii Borsuk, Valeriy Shulgin, Serhiy Nedbay // Advances in Human Factors of Transportation Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Transportation (July 24–28, 2019, Washington D.C., USA). — P. 783–793.
12. Accident prevention manual : Doc. ICAO 9422-AN/923. — Montreal, Canada, 1984.
13. Прийняття рішень: системи переваг авіадиспетчерів на показниках частоти і небезпек характерних помилок / О.М. Рева, В.В. Камишин, А.М. Невицін, Ш.Ш. Насіров // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2019) : зб. наук. пр. XV Міжнародної наук. конф., присвяченої 90-річчю академіка Юрія Кривоноса (Залізний Порт, 21–25 травня 2019 р.). — Херсон : ФОП Вишемирський В.С. — С. 159–161.
14. Надежность и эффективность в технике: Справочник в 10 т. — Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крюкова. — М. : Машиностроение, 1988. — 328 с.
15. *Насіров Ш.Ш.* Пілотне визначення систем переваг авіадиспетчерів Азербайджану на характерних помилках в процесі управління повітряним рухом / Ш.Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2010. — № 7. — С. 124–134.
16. *Камишин В.В.* Методи системного аналізу у кваліметрії навчально-виховного процесу : монографія / В.В. Камишин, О.М. Рева. — Київ : Інформ. сист., 2012. — 270 с.
17. Эмпирические модели оценки риска неопределенности групповых систем предпочтений авиадиспетчеров / А. Н. Рева, Б. М. Мирзоев, Ш. Ш. Насиров, С. В. Недбай // Elmi məstmulər : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasının — Bakı, iyul — sentyabr 2012. — Child. 14. — № 3. — С. 46–60.
18. *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. Насіров, Б.М. Мирзоев // Авіаційно-космічна техніка і технологія. — 2018. — № 6. — С. 93–103.
19. *Miller G.* The magical number seven, plus or minus two : some limits on or capacity for processing information // Psychological Review. — 1956. — No 63. — P. 81–97.
20. *Козелецкий Ю.* Психологическая теория решений / Ю. Козелецкий ; под ред. Б.В. Бирюкова ; пер. с польск.: Г.Е. Минца, В.Н. Поруса. — М. : Прогресс, 1979. — 504 с.
21. *Герасимов Б.М.* Організаційна ергономіка: Методи та алгоритми досліджень і проектування : монографія / Б.М. Герасимов, В.В. Камишин. — Київ : Інформ. сист., 2009. — 212 с.
22. *Паркинсон, С.Н.* Законы Паркинсона / С.Н. Паркинсон ; пер. с англ. — М. : Прогресс, 1989. — 448 с.
23. *Дэвид Г.* Метод парных сравнений / Г. Дэвид ; пер. с англ. — М. : Статистика, 1978. — 144 с.
24. *Евланов Л.Г.* Экспертные оценки в управлении / Л.Г. Евланов, В.А. Кутузов. — М. : Экономика, 1978. — 133 с.
25. *Бешелев С.Д.* Математикостатистические методы экспертных оценок / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич. — М. : Статистика, 1980. — 263 с.
26. *Блумберг В.А.* Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В.А. Блумберг, В.Ф. Глушенко. — Л. : Лениздат, 1982. — 160 с.
27. *Литвак Б.Г.* Экспертная информация: методы получения и анализа / Б.Г. Литвак. — М. : Радио и связь, 1982. — 184 с.
28. *Герасимов Б. М.* Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка

- ефективності / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизионюк, І.Ю. Субач. — Севастополь, 2004. — 320 с.
29. Самохвалов Ю.Я. Экспертное оценивание: методический аспект / Ю.Я. Самохвалов, Е.М. Науменко. — Киев : ДУИКТ, 2007. — 362 с.
  30. Гуцькова С.В. Метод експертних оцінок. Теорія і практика / С.В. Гуцькова. — М. : Когіто-Центр, 2011. — 144 с.
  31. Психологія : підручник / Ю.Л. Трофімов, В.В. Рибалка, П.А. Гончарук [та ін.] ; за ред. чл.-кор. АПН України Ю.Л. Трофімова. — Київ : Либідь, 2005. — 560 с.
  32. Насиров Ш.Ш. Багатокрокова процедура виявлення статистичноузгодженої системи переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок їх діяльності / Ш.Ш. Насиров // Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. — Вип. 105. — Харків : ХНАМГ, 2012. — С. 461–475. — (Серія: Технічні науки і архітектура).
  33. Вдосконалення процедури виявлення систем переваг авіадиспетчерів на спектрі характерних помилок / О.М. Рева, А.М. Невиніцин, Ш.Ш. Насиров, В.О. Липчанський // XXIV — Міжнародний конгрес двигунобудівників : тези доповідей (Коблево, 2–7 вересня 2019 р.). — Харків : Харк. авіаційн. ін-т, 2019. — С. 89–90.
  34. 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.
  35. Мюллер П. Таблицы по математической статистике / П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. — М. : Финансы и статистика, 1982. — 278 с.
  36. Черчмен У. Введение в исследование операций / У. Черчмен, Р. Акофф, Л. Арноф ; пер. с англ. — М. : Наука, 1968. — 486 с.
- ## REFERENCES
1. Fundamental Human Factors Concept (1989). Human Factors Digest. 1. *Cir. ICAO 216 – AN / 131*. Montreal, Canada.
  2. Investigation Of Human Factors In Accidents And Incidents (1993). *Cir. ICAO240-AN/144/* — Montreal, Canada.
  3. Kontrol' faktorov ugrozy i oshibok (KUO) pri upravlenii vozdushnym dvizheniem [Threat and error management (CLC) for air traffic control] (2008). *Cir. ICAO 314-AN/178*. Montreal, Canada.
  4. Safety Management Manual (SMM) (2018). *Doc ICAO 9859 – AN/460*. Montreal, Canada.
  5. Davydenko, M.F., & Reva A.N. (1995). Poslednij rubezh oborony (СНеловеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) [The Last Frontier of Defense (Human Factor: ICAO Fundamental Concepts)]. *Avyakompanyia* [Airlines], 23–28 p.
  6. Reva, A.N., Tummyev, K.M., & Bekmukhambetov, A.A. (2006). СНеловеческий фактор i bezopasnost' poleto: (Proaktivnoe issledovanie vliyaniya) [Human factor and safety of flights: (Proactive influence study)]. *Almaty*, 242 p.
  7. Plotnikov, N.I. (2008). Modelirovanie resursov deyatelnosti operatora letnogo truda [Flight operator resource activity modeling]. *Nauchnyi vestnyk MTHU HA [Scientific Bulletin of MTGU GA]*, 135, 47–54.
  8. Reva, A.N., Borsuk, S.P., & Shulhin, V.A. (2018). Suchasni problemy liudskoho chynnyka v aviatsii [Modern Problems of the Human Factor in Aviation]. *Kyiv* 124 p.
  9. Reva, A.N., Borsuk, S.P., & Shulhin, V.A. (2016). Stavleniia aviatsiinykh operatoriv "perednoho kraiu" do nebezpechnykh dii abo umov profesiinoi diialnosti — holovnyi chynnyk zabezpechennia bezpeky polotiv [Attitude of aviation operators of "leading edge" to dangerous actions or conditions of professional activity — the main factor for safety of flights safety]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT-2015)* [Modern information and innovation technologies at the transport port (MINTT-2015)]. *Kherson*, 90–97.
  10. Reva, O., Borsuk, S., & B. Mirzayev, 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*. Walt Disney World, Florida, USA. 137–147. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41682-3_12)
  11. 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 Factors of Transportation Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Transportation*. Washington D.C., USA. 783–793. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4\\_70](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_70)
  12. Accident prevention manual : *Doc. ICAO 9422-AN/923*. (1984). Montreal, Canada.
  13. Reva, O.M., Kamyshyn, V.V., Nelyniitsyn, A.M., Nasirov, Sh.Sh. (2019). Pryiniattia rishen: systemy perevah aviadyspetcheriv na pokaznykakh chastoty i nebezpek kharakternykh pomylok [Decision making: systems of preferences of air traffic controllers on frequency indices and skipitch characteristic errors]. *Intelektualni systemy pryiniattia rishen i problemy obchysliuvalnoho intelektu (ISDMCI2019)* [Intelligent Decision-Making Systems and the Problems of Computational Intelligence (ISDMCI'2019)]. *Kherson*. 159–161.
  14. Utkina, V.F., & Kryuchkova, Yu.V. (Eds.) (1988). Nadezhnost i effektivnost v tekhnike: Effektivnost tekhnicheskikh sistem [Reliability and efficiency in technology]. Vol. 3. Moscow: Mashinostroenie Publ. 328 p.
  15. Nasyrov, Sh.Sh. (2010). Pilotne vyznachennia system perevah aviadyspetcheriv Azerbaidzhanu na kharakternykh pomylykakh v protsesi upravlinnia povitrianykh rukhom [Pilot determination of systems of advantages of Aviation controllers of Azerbaijan on characteristic errors in the process of wind control]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia* [Aerospace Engineering and Technology]. 7. 124–134.
  16. Kamyshyn, V. V., Reva, O. M. (2012). Metody systemnoho analizu u kvalimetrii navchalnovykhovnoho protsesu [Methods of system analysis in the quality of the educational process]. *Kyiv*. 270 p.
  17. Reva, A.N., Myrzoiev, B.M., Nasyrov, Sh.Sh., Nedbai, S.V. (2012). Empiricheskie modeli ocenki riska neopredelennosti gruppovykh sistem predpochtenij aviadispatcherov [Empirical models of risk uncertainty estimation of group systems of preferences of air traffic controllers]. *Elmi məcmuələr : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin*. 3, 46–60.
  18. Reva, A.N., Nasirov, Sh.Sh., Myrzoiev, B.M. (2018). Effektivnost' metodov opredeleniya gruppovykh sistem predpochtenij dispatcherov na opasnosti kharakternykh oshibok, sovershaemykh v processe upravleniya vozdushnym dvizheniem [Efficiency of methods of 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* [Aerospace Engineering and Technology]. 6. 93–103.

19. Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two : some limits on or capacity for processing information. *Psychological Review*. 63. 81–97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
20. Kozeletskyi, Yu., & Byriukova, B.V. (Ed.) (1979). *Psihologicheskaya teoriya reshenij* [Psychological Theory of Solutions]. Moscow: Prohress Publ. 504 p.
21. Herasymov, B.M., & Kamyshyn, V.V. (2009). *Orhanizatsiina erhonomika: Metody ta alhorytmy doslidzhen i proektuvannia* [Organizational ergonomics: Methods and algorithms for research and design]. Kyiv. 212 p.
22. Parkynson, S.N. (1989). *Zakony Parkinsona* [Parkinson's Laws]. Moscow. 448 p.
23. Devyd, H. (1978). *Metod parnyh sravnenij* [The method of pairwise comparisons]. Moscow: Statystyka. 144 p.
24. Evlanov, L.H., Kutuzov V.A. (1978). *Ekspertnye ocenki v upravlenii* [Expert assessments in management]. Moscow. 133 p.
25. Beshelev, S.D., & Hurvyh, F.H. (1980). *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnyh ocenok* [Mathematical-statistical methods of expert assessments]. Moscow. Statistika. 263 p.
26. Bliumberh, V.A., & Hlushchenko, V.F. (1982). *KKakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov* [Which solution is better? The method of priority setting]. St.Peterburg. 160 p.
27. Lytvak, B.H. (1982). *Ekspertnaya informaciya: metody polucheniya i analiza* [Expert information: methods of obtaining and analysis]. Moscow: Radio i svyaz'. 184 p.
28. Herasymov, B.M., Dyvyznyiuk, M.M., & Subach, Y.Iu. (2004). *Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij: proektirovanie, primenenie, oценка effektivnosti* [Systems of decision support: design, application, efficiency evaluation]. Sevastopol. 320 p.
29. Samokhvalov, Yu.Ia. & Naumenko E.M. (2007). *Ekspertnoe ocenivanie: metodicheskij aspekt* [Expert evaluation: methodical aspect]. Kyiv. 362 p.
30. Hutsykova, S.V. (2011). *Metod ekspertnyh ocenok. Teoriya i praktika* [Expert evaluation method. Theory and Practice]. Moscow: Kohyto-Tsentr, 144 p.
31. Trofimov, Yu.L., Rybalka, V.V., Honcharuk P.A. (2005). *Psyhlohohiia* [Psychology]. 560 p.
32. Nasirov, Sh.Sh. (2012). *Bahatokrokova protsedura vyavleniia statystychnouzghodzhenoii systemy perevah aviadyspetcheriv na mnozhyni kharakternykh pomylok yikh diialnosti* [Multiyear 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: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk* [Municipal economy of cities: scientific and technical collection]. Iss. 105, 461–475.
33. Reva, O.M., Nevyntsyn, A.M., Nasirov, Sh.Sh., Lypchanskyi, V.O. (2019). *Vdoskonalennia protsedury vyavleniia system perevah aviadyspetcheriv na spektri kharakternykh pomylok* [Improvement of procedure of detection of systems of advantages of air traffic controllers on the spectrum of character errors] *KhXIV – Mizhnarodnyi konhres dvyhunobudivnykiv* [XXIV – International People's Congress of Engine Builders]. p. 89–90.
34. Tarasov, V.A., Herasymov, B.M., Levyn, Y.A., & Korneichuk, V.A. (2007). *Intellektual'nye sistemy podderzhki prinyatiya reshenij: Teoriya, sintez, effektivnost'* [Intelligent Decision Support Systems: Theory, Synthesis, Efficiency] Kyiv. 336 p.
35. Miullep, P., Noiman, P., & Shtopm, R. (1982). *Tablicy po matematicheskoi statistike* / [Tables on Mathematical Statistics]. Moscow: Fynansy y statystyka, 278 p.
36. Cherkhmen, U., Akoff, R., Arnof, L. *Vvedenie v issledovanie operacij* [Churchman U. Introduction to Operations Research] Moscow: Nauka, 1968. 486 p.

**A.N. REVA**, Doctor of technical sciences, Professor

**V.V. KAMYSHIN**, Doctor of pedagogical sciences

**A.M. NEVNYNTSYN**, PhD. in technical sciences, Associate Professor

**V.A. SHULHYN**, PhD. in technical sciences, Associate Professor

## **DIFFERENTIAL METHOD FOR ESTABLISHING A COMPARATIVE DANGER OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS ERRORS IN PROFESSIONAL ACTIVITY**

**Abstract.** *The advantage systems of air traffic controllers as operators of the “front line”, which are directly responsible for ensuring the appropriate level of flight safety, are considered as a component of their decision making, determines, on the one hand, the influence of the human factor on the choice they make, and on the other hand, makes this choice much easier. The use of paired comparisons and determination of part of the total comparative danger as a way of establishing the systems of benefits  $m = 37$  of professional air traffic controllers on the spectrum from  $n = 21$  of the characteristic errors that they make in the process of professional activity are substantiated. For the first time, the total risk of a pair of errors is determined in an absolute and unique by quasi metric features 100-point scale, and their separate contribution to this danger covers the entire continuum of the scale. In contrast to the traditional practice, which regulates part of the total danger, it allowed for a more differentiated assessment of the comparative dangers of errors. Using the traditional and the proposed method, group systems of advantages of air traffic controllers on the studied range of errors, which are almost identical, are constructed: Spearman's rank correlation coefficient is equal to the value of  $R_s = 0,9727$ . The Kendall concordance coefficient calculated for the group preference system constructed in the traditional way is equal to  $W_{tr} = 0,2722$  and statistically reliable, and therefore the corresponding preference system is consistent. The coefficient of concordance calculated for the group system of benefits based on the application of the proposed differential approach to the pairwise comparison of the dangers of errors is almost twice greater, equal to the value  $W_{dif} = 0,5237$  and statistically reliable at a high level of significance of  $\alpha = 1\%$ . This indicates both the consistency of the opinions of the subjects and the high efficiency of the proposed differential approach.*

**Keywords:** integration, European scientific space, EU framework programs, Horizon 2020, CORDIS, international scientific and technological cooperation, priority areas.

**А.Н. РЕВА**, д-р техн. наук, професор

**В.В. КАМЫШИН**, д-р пед. наук

**А.М. НЕВИНИЦИН**, канд. техн. наук, доцент

**В.А. ШУЛЬГИН**, канд. техн. наук, доцент

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД УСТАНОВЛЕНИЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ ОШИБОК АВИАДИСПЕТЧЕРОВ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**Резюме.** Системы преимуществ авиационных диспетчеров как операторов «переднего края», которые непосредственно отвечают за обеспечение надлежащего уровня безопасности полетов, рассматриваются как составляющая принятия ими решений, что определяет, с одной стороны, влияние человеческого фактора на осуществляемый выбор, а с другой — значительно облегчает этот выбор. Обосновано применение парного сравнения и определения части суммарной сравнительной опасности как способа установления систем преимуществ  $m = 37$  профессиональных авиадиспетчеров на спектре из  $n = 21$  характерных ошибок, которые они допускают в процессе профессиональной деятельности. Впервые суммарная опасность пары ошибок определяется в абсолютной и уникальной по квалиметрическим особенностям 100-балльной шкале, а их отдельный вклад в эту опасность охватывает весь континуум шкалы. В отличие от традиционной практики, регламентирующей часть суммарной опасности, это позволило осуществлять более дифференцированную оценку сравнительных опасностей ошибок. С применением традиционного и предлагаемого метода построено групповые системы предпочтений авиадиспетчеров на исследуемом диапазоне ошибок, которые почти полностью совпадают: коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен величине  $R_S = 0,9727$ . Коэффициент конкордации Кендалла, вычисленный для групповой системы предпочтений, построенной традиционным способом, равен величине  $W_{dif} = 0,5237$  и является статистически достоверным, а следовательно, соответствующая система преимуществ является согласованной. Коэффициент конкордации, вычисленный для групповой системы предпочтений, построенной по применению предлагаемого дифференциального подхода для парного сравнения опасностей ошибок, почти вдвое больше, равен величине  $W_{dif} = 0,5237$  и является статистически достоверным на высоком уровне значимости  $\alpha = 1\%$ . Это свидетельствует как о согласованности мнений испытуемых, так и о высокой эффективности предлагаемого дифференциального подхода.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, человеческий фактор, авиадиспетчеры, принятия решений, системы предпочтений, характерные ошибки, дифференциальный подход к определению сравнительной опасности ошибок.

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

**Рева Олексій Миколайович** — д-р техн. наук, професор, головний науковий співробітник Державної наукової установи «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»; вул. Антоновича, 180, Київ, Україна, 02000; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Камышин Володимир Вікторович** — д-р пед. наук, с.н.с., в.о. директора Державної наукової установи «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації»; вул. Антоновича, 180, Київ, Україна, 02000; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

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

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

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Reva O.M.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Principal Researcher at Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information вул. Антоновича, 180, Київ, Україна, 02000; Kyiv, Ukraine; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Kamyshin V.V.** — Doctor of Education, Senior Researcher, Acting Director of Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

**Nevynitsyn A.V.** — Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Air Traffic Services Flight Academy of the National Aviation University, str. Dobrovolsky building 1, Kro-pyvnytskyi, Kirovogradskaya Oblast', Ukraine 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929

**Shulgin V.A.** — Ph.D. in Technical Sciences, Assistant Professor, Dean of the Flight Operation Faculty, Flight Academy of the National Aviation University, str. Dobrovolsky building 1, Kropyvnytskyi, Kirovogradskaya Oblast', Ukraine 25005; VAShulgin@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7938-8383

#### ІНФОРМАЦІЯ ОБ АВТОРАХ

**Рева А.Н.** — д-р техн. наук, професор, головний научний співробітник Державного наукового закладу “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”; ул. Антоновича, 180, Київ, 02000; +38 (044) 521-00-10; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

**Камышин В.В.** — д-р пед. наук, канд. техн. наук, с.н.с., і.о. директора Державного наукового закладу “Український інститут науково-технічної експертизи та інформації”, ул. Антоновича, 180, Київ, 02000; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

**Невиницын А.Н.** — канд. техн. наук, доцент, декан факультету обслуговування повітряного руху Летної академії Національного авіаційного університету, ул. Добровольського, 1, Кропивницький, 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929

**Шульгин В. А.** — канд. техн. наук, доцент, декан факультету літної експлуатації Летної академії Національного авіаційного університету, ул. Добровольського, 1, Кропивницький, 25005; VAShulgin@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7938-8383



#### ДО УВАГИ АВТОРІВ:

До друку приймаються статті українською, російською, англійською мовами.

Відповідальність за достовірність поданих даних несуть автори матеріалів.

Редакція може не поділяти думки авторів, викладені у статтях.

У разі передруку матеріалів — посилання на журнал “Наука, технології, інновації” обов’язкове.

**Адреса редакції:** вул. Антоновича, 180, м. Київ, Україна, 03680.

**Контакти редакції:** тел.: +38 (044) 521-00-16, +38 (044) 521-00-59.

e-mail: journal@uintei.kiev.ua або nti@uintei.kiev.ua

**Умови для публікації викладено на сайті:** <http://nti.ukrintei.ua>.

**З питань придбання та розміщення реклами:** тел. +38 (044) 521-00-39, 521-09-48.

e-mail: uintei.ua@gmail.com або sale@uintei.kiev.ua