

О. М. РЕВА, д-р техн. наук, професор
В. В. КАМИШИН, д-р пед. наук, с. н. с.
С. П. БОРСУК, д-р техн. наук, доц.
В. А. ШУЛЬГІН, канд. техн. наук, доцент
А. М. НЕВИНІЦІН, канд. техн. наук, доцент

КІЛЬКІСНІ ПОКАЗНИКИ СТАВЛЕННЯ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ ДО НЕБЕЗПЕК ПОМИЛОК

Резюме. Негативний і сталий вплив людського чинника на статистику авіаційних подій і серйозних інцидентів робить дедалі більш актуальними проактивні дослідження ставлення авіаційних операторів «переднього краю» (авіадиспетчерів, членів льотного екіпажу) до небезпечних дій або умов, як цільної складової парадигми концепції безпеки польотів ІСАО. Це «ставлення» визначається через показники впливу людського чинника на прийняття рішень, до яких зараховано й системи переваг авіадиспетчерів на показниках і характеристиках професійної діяльності, що ілюструють як індивідуальне сприйняття потенційних ризиків і небезпек діяльності, так і особливості узагальненого групового мислення, сформовані в конкретному соціумі. Системи переваг — це упорядкований ряд з $n = 21$ помилок: від найбільш небезпечної до найменш небезпечної. Вони характеризують лише перевагу за безпекою однієї помилки перед іншою. Ступінь цієї переваги визначається лише різницею в рангових місцях помилок, що не дає відповіді на питання у скільки разів одна помилка є більш небезпечною стосовно іншої. Застосувавши диференційний метод виявлення порівняльної небезпеки помилок, а також багатокрокову технологію виявлення та відсіювання маргінальних думок, із вихідної вибірки $m = 37$ професійних авіадиспетчерів було виокремлено дві підгрупи $mV = 20$ і $mG = 7$ осіб зі статистично-вірогідною на високому рівні значущості $\alpha = 1\%$ внутрішньо груповою узгодженістю думок. Непараметрична оптимізація відповідних групових систем переваг призвела до отримання медіан Кемені, у яких виявилися відсутніми пов'язані (міддл) ранги. Спираючись на ці медіани математичним методом розстановки пріоритетів було визначено зважені коефіцієнти небезпек помилок. Обґрунтовано, що за прийнятої точності обчислень більш прийнятними є результати, отримані на II ітерації застосування цього методу. Значення коефіцієнтів небезпек помилок разом з їх рангами, встановленими в системах переваг, дають змогу провести більш повний кількісно-якісний аналіз ставлення як окремих авіадиспетчерів, так і їх професійних груп до небезпечних дій або умов.

Ключові слова: безпека польотів, людський чинник, авіадиспетчери, ставлення до небезпек помилок, індивідуальні і групові системи переваг, медіана Кемені, метод розстановки пріоритетів, зважені коефіцієнти небезпек помилок.

ВСТУП

На сьогодні загальновизнаним є негативний і сталий вплив авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (авіадиспетчерів (АД), членів льотного екіпажу) на забезпечення належного рівня безпеки польотів (БП) [1]. Тому врахування цього впливу, особливо проактивне (превентивне) у системах управління БП (УБП) авіаційними ергатичними системами є актуальною та науковою і практичною задачею [2]. Варто зауважити, що попереджуюча дія (proactive, preventive action) — це дія для усунення причини потенційної невідповідності або іншої небажаної потенційно можливої ситуації. Процедура(-и) ідентифікації небезпек і оцінювання ризиків мають враховувати [3]:

а) повсякденну (стандартну, звичайну) і незвичайну (рідко виконувану) діяльність АО «переднього краю»;

б) діяльність усього авіаційного персоналу, що має доступ до зони виконання робіт;

в) поведінку людини, її здібності та інші людські чинники (ЛЧ).

Якщо в АО «переднього краю» сформовані навички проактивного запам'ятовування, розрізнення, розпізнавання, а отже, і попередження небезпек у професійній діяльності, зокрема уявлення впливу особистих помилок на БП, то це є одним із важливіших чинників ефективної профілактики авіаційних подій (АП) і серйозних інцидентів (СІ) за ЛЧ.

Таким чином, проактивна методологія досліджень впливу ЛЧ на БП має особливу значущість, оскільки саме вона вказує вихід із його «пастки», адже проблеми розв'язуються заздалегідь, до їх виникнення, на етапах розроблення і впровадження авіаційних систем [4].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

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

жя, на внесок яких у практичний розвиток теорій ЛЧ у цивільній авіації ми посилалися в праці [5]. Підкреслюючи вагомість для науки та практики отриманих ними результатів, у відповідному аналізі було вказано на явну недостатність досліджень (особливо кваліметричного змісту) впливу ЛЧ на прийняття рішень (ПР) вищезазначеної категорії АО. Хоча їх професійна діяльність — суть безперервний ланцюг рішень, що виробляються і реалізуються у явних/неявних формах і під впливом багатьох чинників, особливо ризиків стохастичного та нестохастичного характеру [6].

Досвід наших досліджень [7–9 та ін.] вказує на доцільність поглибленого вивчення “ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов” як чільної складової поточної парадигми концепції БП ICAO [2]. Оскільки, з одного боку, потреба безпеки — фундаментальна для існування і діяльності людини (рис. 1) [10], а з іншого — йдеться про необхідність задоволення постулатів теорії безпеки [9; 11–14 та ін.].



Рис. 1. Піраміда потреб А. Маслоу (Abraham Maslow)

Наведене переконливо підтверджується такими висновками Національної ради з безпеки на транспорті США (NTSB): “Дедалі більш важливою причиною прийняття помилкових рішень є недооцінка ризиків авіаційними операторами “переднього краю”, а також недостатньо розвиненими в них навиків ментального “передбачення” розвитку небезпечних ситуацій. Особливо важливими є дослідження та кваліметрія закономірностей ставлення авіаційних операторів до небезпечних дій або умов під час прийняття рішень”.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Спектр напрямів досліджень “ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або

умов” достатньо широкий і був пріоритетно визначений у працях [7–9; 15 та ін.]. Серед цих напрямів звернемо увагу до систем переваг (СП) АО “переднього краю” на показниках і характеристиках професійної діяльності. Зокрема йдеться про СП АД на небезпеках таких характерних помилок, яких вони можуть припуститися в професійній діяльності:

- P_1 — порушення фразеології радіообміну;
- P_2 — неузгодженість входу повітряного судна (ПС) в зону суміжного управління повітряним рухом (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 АД;
- P_7 — помилка у визначенні позивного ПС;
- P_8 — помилка в ідентифікації ПС;
- P_9 — помилкове використання диспетчерського графіка;
- P_{10} — відсутність на стрипі позначки АД про передачу управління суміжному диспетчерському пункту;
- P_{11} — відсутність на стрипі позначки АД щодо узгодження входу ПС у 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 стрип літерно-цифрової інформації (можливість двоякої інтерпретації);
- P_{15} — неекономічне УПР;
- P_{16} — порушення процедури прийому та задачі чергування;
- P_{17} — не відображення на стрипі виданих команд щодо зміни висоти або напрямку польоту;
- P_{18} — спроба керувати ПС після спрацьовування на ньому системи TCAS режими resolution advice;
- P_{19} — помилки вводу інформації про ПС в автоматизовану систему (АС);
- P_{20} — порушення технології праці при особливих випадках у польоті;
- P_{21} — порушення в використанні повітряного простору.

Варто зазначити, що в контексті наших досліджень СП – це упорядкований ряд вищеперелічених помилок: від найбільш до найменш небезпечної.

До досліджень було залучено $m = 37$ професійних АД, співробітників ДП “Украаерорух” та Льотної академії НАУ, які здійснюють попарне

порівняння та застосовуючи спочатку нормативний метод виявлення частини сумарної небезпеки помилок, будували індивідуальні СП (ІСП).

Зазначені ІСП дають наочне уявлення про навички ментального передбачення випробуваними небезпек потенційних потенційно-конфліктних, конфліктних і аварійних ситуацій, виникнення яких може бути спровокованим тією чи іншою помилкою.

Застосування диференційного підходу до встановлення ІСП сприяло більш тонкій диференціації небезпек помилок, а отже, і ІСП [16].

Подальше застосування багатокрокової технології виявлення та відсіювання маргінальних ІСП випробуваних АД сприяло виокремленню з вихідної вибірки двох підгруп, чисельністю $m_{dif}^B = 20$ осіб і $m_{dif}^G = 7$ осіб [17]. Відповідні групи СП (ГСП), що отримані за допомогою стратегії підсумовування та усереднення рангів, мають високий ступінь внутрішньої групової узгодженості на рівні значущості $\alpha = 1\%$. Зазначені ГСП дають уявлення про особливості колективного ставлення до небезпек помилок, що сформовані в конкретному соціумі АД. Їх подальша непараметрична оптимізація сприяла отриманню таких медіан Кемені [5]:

$$\begin{array}{cccccccc}
 med & & med & & med & & med & & med & & med & & med \\
 \Pi_{18} & \succ & \Pi_{21} & \succ & \Pi_4 & \succ & \Pi_{20} & \succ & \Pi_5 & \succ & \Pi_3 & \succ & \\
 m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & \\
 \\
 med & & med & & med & & med & & med & & med & & med \\
 \Pi_8 & \succ & \Pi_2 & \succ & \Pi_{13} & \succ & \Pi_{12} & \succ & \Pi_7 & \succ & \Pi_6 & \succ & \\
 m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & \\
 \\
 med & & med & & med & & med & & med & & med & & med \\
 \Pi_{16} & \succ & \Pi_{17} & \succ & \Pi_{19} & \succ & \Pi_1 & \succ & \Pi_{14} & \succ & \Pi_{11} & \succ & \\
 m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & \\
 \\
 & & med & & med & & med & & & & & & \\
 & & \Pi_{10} & \succ & \Pi_9 & \succ & \Pi_{15}, & & & & & & \\
 & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & m_{dif}^B & & & & & &
 \end{array} \quad (1)$$

$$\begin{array}{cccccccc}
 med. & & med. & & med. & & med. & & med. & & med. \\
 \Pi_{18} & \succ & \Pi_{20} & \succ & \Pi_4 & \succ & \Pi_5 & \succ & \Pi_{21} & \succ & \Pi_3 & \succ & \\
 m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & \\
 \\
 med. & & med. & & med. & & med. & & med. & & med. & & med. \\
 \Pi_{13} & \succ & \Pi_2 & \succ & \Pi_{19} & \succ & \Pi_{17} & \succ & \Pi_{16} & \succ & \Pi_{12} & \succ & \\
 m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & \\
 \\
 med. & & med. & & med. & & med. & & med. & & med. & & med. \\
 \Pi_1 & \succ & \Pi_8 & \succ & \Pi_{14} & \succ & \Pi_{11} & \succ & \Pi_9 & \succ & \Pi_{10} & \succ & \\
 m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & \\
 \\
 & & med. & & med. & & med. & & & & & & \\
 & & \Pi_{15} & \succ & \Pi_7 & \succ & \Pi_6, & & & & & & \\
 & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & m_{dif}^G & & & & & &
 \end{array} \quad (2)$$

де \succ , \succ , \succ – позначка переваги за небезпекою m_{dif}^B , m_{dif}^G

однієї помилки перед іншою у відповідних медіанах Кемені, що побудовані з ІСП ДУПР — членів підгруп m_{dif}^B і m_{dif}^G .

Отримані медіани Кемені виду (1), (2) — суть оптимізовані ГСП випробуваних АД — членів підгруп m_{dif}^B і m_{dif}^G . Вони дають уявлення про порівняльну небезпеку помилок із визначеного їх характерного спектру. Кількісна оцінка визначається лише різницею в рангових місцях порівнюваних помилок і не дає уявлення про те, у скільки разів одна з них більш небезпечна за іншу.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Відповідно до проведеного аналізу та результатів наших апробаційних досліджень [18], метою цієї публікації є визначення кількісних показників небезпек помилок АД, зокрема їх зважених коефіцієнтів.

СУТНІСТЬ МЕТОДУ РОЗСТАНОВКИ ПРІОРИТЕТІВ

Було б логічно встановити зважені коефіцієнти небезпек помилок, спираючись на медіани Кемені-ГСП АД — членів підгруп m_{dif}^B , m_{dif}^G . Досвід досліджень [18–23] вказує, що з цією метою доцільно застосувати математичний метод розстановки пріоритетів (МРП), відомий також, як “задача про лідера” [24; 25]. Розглянемо цей метод більш докладно.

Застосування МРП починається з побудови графу, у якому кожна досліджувана помилка $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{21}$ уявляється його вершиною. Зв’язок вершин відповідає результатам їх порівняльного аналізу за ступенем небезпеки (наприклад, згідно з виразом (1)). Якщо помилка Π_i є безпечнішою за помилку Π_j ($\Pi_i \succ \Pi_j$), на графі існує дуга $i \rightarrow j$. І навпаки, якщо помилка Π_i є менш безпечною за помилку Π_j ($\Pi_i \prec \Pi_j$), то на графі існує дуга $j \rightarrow i$. Ситуації, коли помилки адекватні за небезпекою ($\Pi_i \approx \Pi_j$), відповідають дуги виду $i \leftrightarrow j$. Цього не спостерігається у ГСП виду (1), що взята нами за основу для ілюстрації методики застосування МРП.

Викладене наочно ілюструє граф на **рис. 2**, побудований, спираючись на медіану Кемені — ГСП виду (1).

Далі будується квадратна матриця суміжності вершин графу $C = \|c_{ij}\|$:

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1j} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2j} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \dots & c_{ij} & \dots & c_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nj} & \dots & c_{nn} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

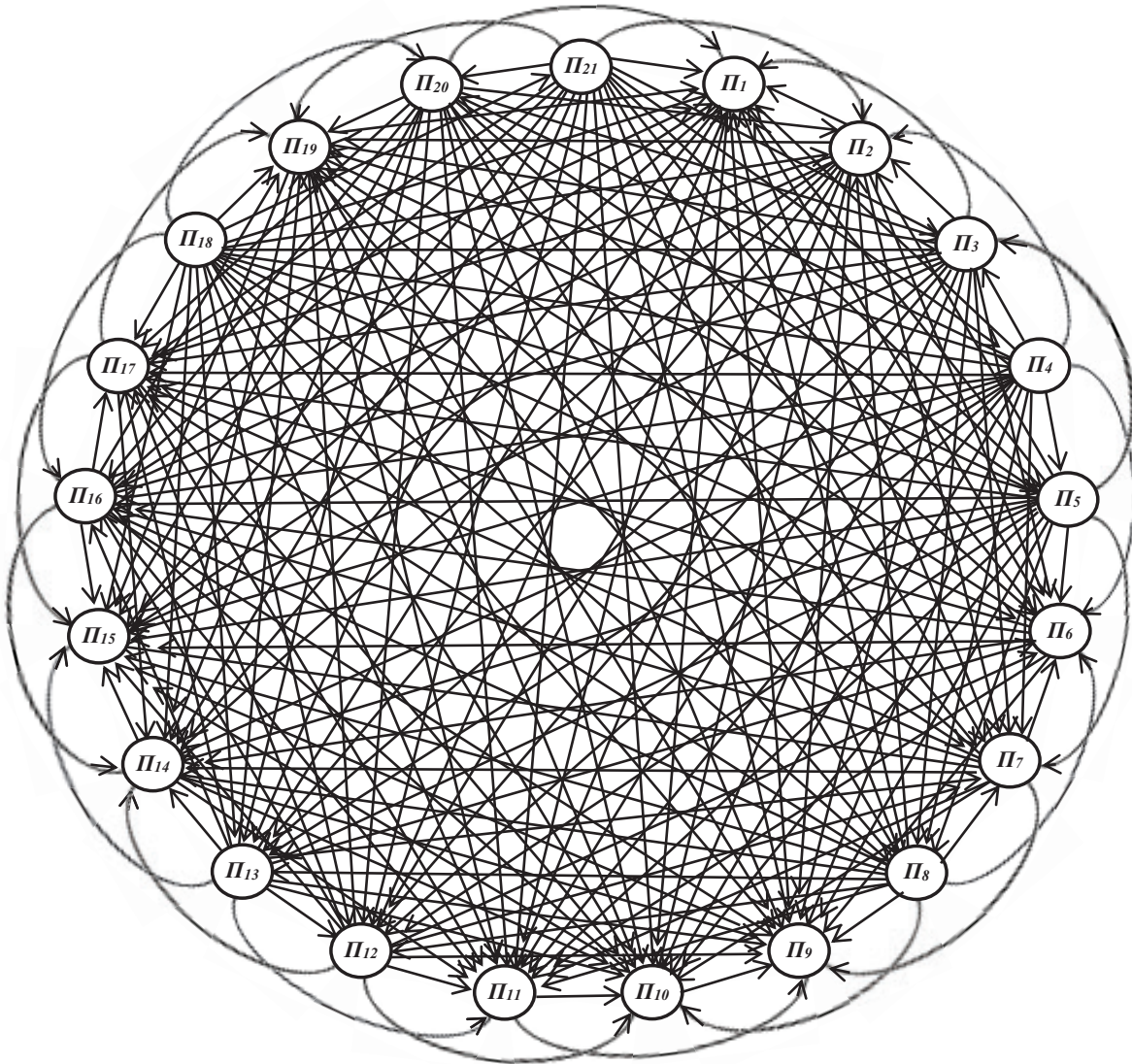


Рис. 2. Граф, що ілюструє суміжність помилок за небезпекою у медіані Кемені, побудованої з індивідуальних систем переваг членів підгрупи m_{dif}^B

Причому приймається таке:

$$c_{ij} = \begin{cases} 2, & \text{якщо помилка } \Pi_i \text{ небезпечніша} \\ & \text{за помилку } \Pi_j : \Pi_i \succ \Pi_j, \\ 0, & \text{якщо, навпаки, } \Pi_i \prec \Pi_j, \\ 1, & \text{якщо помилки } \Pi_i \text{ і } \Pi_j \text{ адекватні за} \\ & \text{небезпекою : } \Pi_i \approx \Pi_j \end{cases} \quad (4)$$

Вводиться поняття ітерованої “небезпеки” порядку k помилки Π_i . Ітерована “небезпека” першого порядку помилки Π_i позначається як $C_i(1)$ і обчислюється як сума балів цієї помилки

$$C_i(1) = \sum_{j=1}^n c_{ij} \quad (5)$$

Особливість обчислень полягає в тому, що при цьому не враховується небезпека інших помилок.

Розподіл балів серед усіх n помилок задається вектором:

$$C(1) = [C_1(1), C_2(1), \dots, C_i(1), \dots, C_n(1)] \quad (6)$$

На II ітерації за небезпеку помилки Π_i приймається ітерована небезпека першого порядку. Ітерована небезпека помилки Π_i другого порядку обчислюється вже з урахуванням небезпек інших помилок:

$$C_i(2) = \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot C_j(1) \quad (7)$$

Вона подається таким вектором:

$$C(2) = [C_1(2), C_2(2), \dots, C_i(2), \dots, C_n(2)] \quad (8)$$

Подальші ітерації здійснюються аналогічно:

$$P(k) = A \cdot P(k-1). \quad (9)$$

Причому:

$$P(0) = [1, 1, \dots, 1]. \quad (10)$$

Отже, процес обчислення полягає в послідовному застосуванні перетворення, яке задається матрицею C , до початкового вектора $C(0)$.

Позначимо через $\alpha_i(k)$ нормовану ітеровану небезпеку k -го порядку i -ї помилки, який i має сенс коефіцієнта ваги (значущості):

$$\alpha_i(k) = \frac{C_i(k)}{\sum_{i=1}^n C_i(k)}, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i(k) = 1. \quad (11)$$

Загалом процес обчислення нормованої ітерованої небезпеки помилок мотивів можна подати у вигляді такої формули [19]:

$$\alpha(k) = \frac{1}{\lambda(k)} C \cdot \alpha(k-1), \quad (12)$$

де $\lambda(k) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} \cdot \alpha_i(k-1)$ – сума компонент вектора $C \cdot C(k-1)$;

$$k = 1, 2, \dots$$

Якщо матриця C така, що не розкладається, то розглянута процедура згідно з теоремою Перрона–Фробеніуса [25–27] приводить у граничному значенні до максимального особистого числа $\lambda = \lim_{k \rightarrow \infty} \lambda(k)$ матриці C з відповідним особистим вектором:

$$C = \lim_{k \rightarrow \infty} C(k). \quad (13)$$

Отже, процес обчислення нормованої ітерованої “ваги” небезпек помилок і представлення її відповідними коефіцієнтами є таким, що сходиться. Варто зазначити, що здійснення процесу обчислення за формулою (12) відрізняється від простого підсумовування балів тим, що дає змогу врахувати побічні (непрямі) переваги небезпек помилок у яві АД.

ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ НЕБЕЗПЕК ХАРАКТЕРНИХ ПОМИЛОК АВІАДИСПЕТЧЕРІВ

Спираючись на вищенаведене, розглянемо процес обчислення нормованої ітерованої “небезпеки” характерних помилок АД. З медіани Кемені (1) матимемо такі результати попарного визначення небезпек помилок:

$$\begin{aligned} &P_1 < P_2 \quad P_1 < P_3 \quad P_1 < P_4 \quad P_1 < P_5 \\ &P_1 < P_6 \quad P_1 < P_7 \quad P_1 < P_8 \quad P_1 > P_9 \\ &P_1 > P_{10} \quad P_1 > P_{11} \quad P_1 < P_{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &P_1 < P_{13} \quad P_1 > P_{14} \quad P_1 > P_{15} \\ &P_1 < P_{16} \quad P_1 < P_{17} \quad P_1 < P_{18} \\ &P_1 < P_{19} \quad P_1 < P_{20} \quad P_1 < P_{21} \\ &P_2 < P_3 \quad P_2 < P_4 \quad P_2 < P_5 \quad P_2 > P_6 \\ &P_2 > P_7 \quad P_2 < P_8 \quad P_2 > P_9 \quad P_2 > P_{10} \\ &P_2 > P_{11} \quad P_2 > P_{12} \quad P_2 > P_{13} \\ &P_2 > P_{14} \quad P_2 > P_{15} \quad P_2 > P_{16} \\ &P_2 > P_{17} \quad P_2 < P_{18} \quad P_2 > P_{19} \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ &P_{18} > P_{19} \quad P_{18} > P_{20} \quad P_{18} > P_{21} \\ &P_{19} < P_{20} \quad P_{19} < P_{21} \\ &P_{20} < P_{21}. \end{aligned}$$

Враховуючи вираз (4), складемо квадратну матрицю суміжності небезпек помилок АД (табл. 1). Для зручності обчислень послідовність помилок у табл. 1 представлено у відповідності з їх ранговими місцями, що визначаються виразом (1). Отже, обчислення по l ітерації застосування МРП тривіальне та подано в графах 2, 3 табл. 2. Обчислення по другій ітерації є таким:

$$\begin{aligned} C_{P_{18}}(2) &= 1 \cdot 41 + 2 \cdot (39 + 37 + 35 + 33 + 31 + \\ &+ 29 + 27 + 25 + 23 + 21 + 19 + 17 + 15 + 13 + \\ &+ 9 + 7 + 5 + 3 + 1) = 841; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{P_{21}}(2) &= 1 \cdot 39 + 2 \cdot (37 + 35 + 33 + 31 + 29 + \\ &+ 27 + 25 + 23 + 21 + 19 + 17 + 15 + 13 + 9 + \\ &+ 7 + 5 + 3 + 1) = 761; \end{aligned}$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$C_{P_9}(2) = 1 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 5;$$

$$C_{P_{15}}(2) = 1 \cdot 1 = 1$$

Обчислені таким чином кількісні показники небезпек помилок на II ітерації застосування МРП подані в графі 4 табл. 2. Згідно з виразами (11) і (12), нескладно отримати такі коефіцієнти небезпек помилок (графа 5 табл. 2):

$$\alpha_{P_{18}} = \frac{841}{6181} = 0,1361;$$

$$\alpha_{P_{21}} = \frac{761}{6181} = 0,1231;$$

$$\alpha_{P_4} = \frac{685}{6181} = 0,1108; ;$$

$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots \quad \vdots$$

$$\alpha_{P_9} = \frac{5}{6181} = 0,0008;$$

Таблиця 1

Квадратна матриця суміжності помилок авіадиспетчерів за безпеку

Π_i	Π_{18}	Π_{21}	Π_4	Π_{20}	Π_5	Π_3	Π_8	Π_2	Π_{13}	Π_{12}	Π_7	Π_6	Π_{16}	Π_{17}	Π_{19}	Π_1	Π_{14}	Π_{11}	Π_{10}	Π_9	Π_{15}
Π_{18}	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{21}	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_4	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{20}	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_5	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_3	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_8	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_2	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{16}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Π_{17}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2
Π_{19}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2
Π_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2
Π_{14}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2
Π_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2
Π_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2
Π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Π_{15}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Таблиця 2

Результати застосування методу розстановки пріоритетів для встановлення зважених коефіцієнтів небезпек помилок

Π_i	Ітерації застосування методу розстановки пріоритетів					
	I		II		III	
	Σ	a_i	Σ	a_i	Σ	a_i
Π_{18}	41	0,0929	841	0,1361	11521	0,177
Π_{21}	39	0,0884	761	0,1231	9919	0,1523
Π_4	37	0,0839	685	0,1108	8473	0,1301
Π_{20}	35	0,0794	613	0,0992	7175	0,1102
Π_5	33	0,0748	545	0,0882	6017	0,0924
Π_3	31	0,0703	481	0,0778	4991	0,0766
Π_8	29	0,0658	421	0,0681	4089	0,0628
Π_2	27	0,0612	365	0,0591	3303	0,0507
Π_{13}	25	0,0567	313	0,0506	2625	0,0403
Π_{12}	23	0,0522	265	0,0429	2047	0,0314
Π_7	21	0,0476	221	0,0358	1561	0,024
Π_6	19	0,0431	181	0,0293	1159	0,0178
Π_{16}	17	0,0385	145	0,0234	833	0,0128
Π_{17}	15	0,0340	113	0,0183	575	0,0088
Π_{19}	13	0,0295	85	0,0137	377	0,0058
Π_1	11	0,0249	61	0,0099	231	0,0035
Π_{14}	9	0,0204	41	0,0066	129	0,002
Π_{11}	7	0,0159	25	0,004	63	0,001
Π_{10}	5	0,0114	13	0,0021	25	0,0004
Π_9	3	0,0068	5	0,0008	7	0,0001
Π_{15}	1	0,0023	1	0,0002	1	0
Σ	441	1	6181	1	65121	1

$$\alpha_{\Pi_{15}} = \frac{1}{6181} = 0,0002.$$

Результати обчислень зважених коефіцієнтів небезпек досліджуваних помилок АД, отримані на II ітерації застосування МРП представлені в графі 5 **табл. 2**. За аналогією обчислені та подані в графах 6, 7 цієї ж таблиці результати здійснення III ітерації МРП. Робити наступні ітерації недоцільно, оскільки за прийнятої точності обчислень коефіцієнт безпеки помилки Π_{15} досягає значення $\alpha_{\Pi_{15}}^{III} = 0,0000$ саме починаючи з цієї ітерації, що є загалом неприйнятним, виходячи з міркувань БП.

Так, **рис. 3** дає наочне уявлення про динаміку диференціації значень коефіцієнтів небезпек досліджуваних помилок в залежності від номера ітерації застосування МРП. Як з нього бачимо, на I ітерації застосування МРП динаміка зміни коефіцієнтів небезпек помилок у напрямі від найбільш до найменш значущої є лінійною, а отже й непринятною.

Отже, для подальшого кількісного аналізу небезпек досліджуваних помилок обираємо результати, отримані на II ітерації застосування МРП. Адже, з одного боку, зміна зазначених коефіцієнтів є нелінійною, що в цілому задовольняє уявленням про вагомість впливу сусідніх за значущістю помилок на БП, а з іншого — кількісна диференціація коефіцієнтів небезпек є максимально прийнятною для прийнятої точності

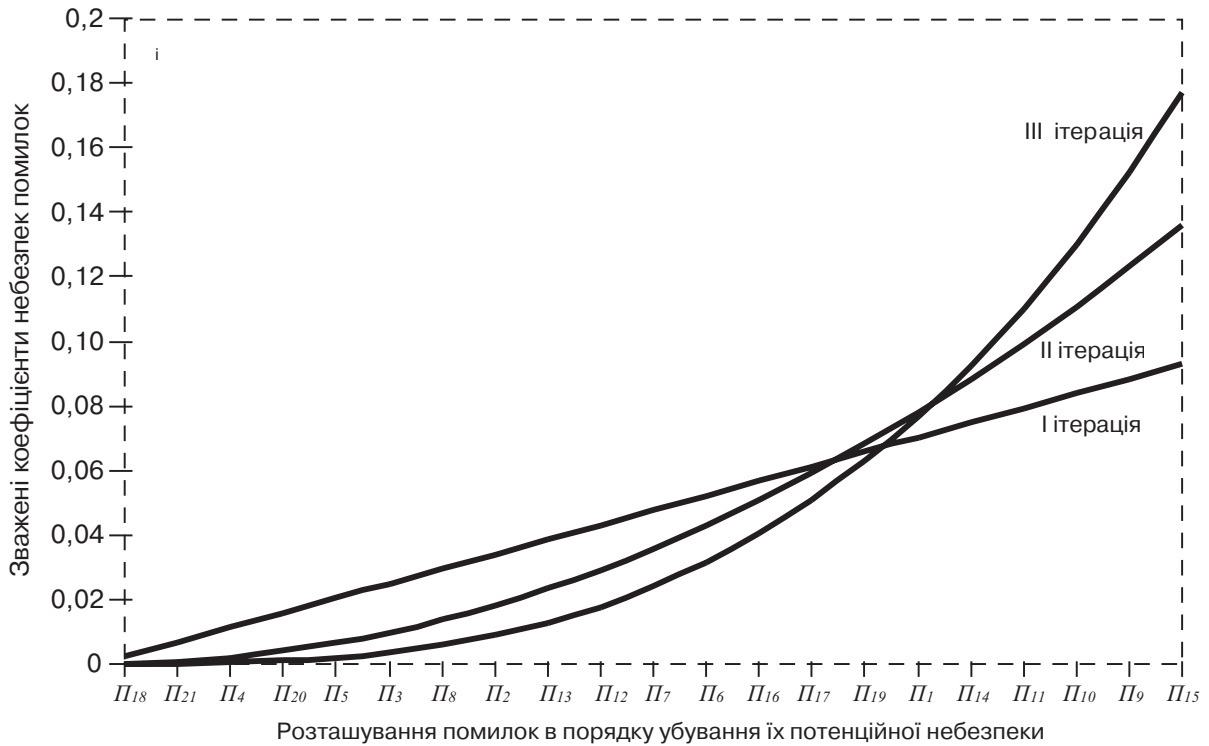


Рис. 3. Диференціація значень коефіцієнтів небезпек помилок в залежності від ітерації застосування методу розстановки пріоритетів

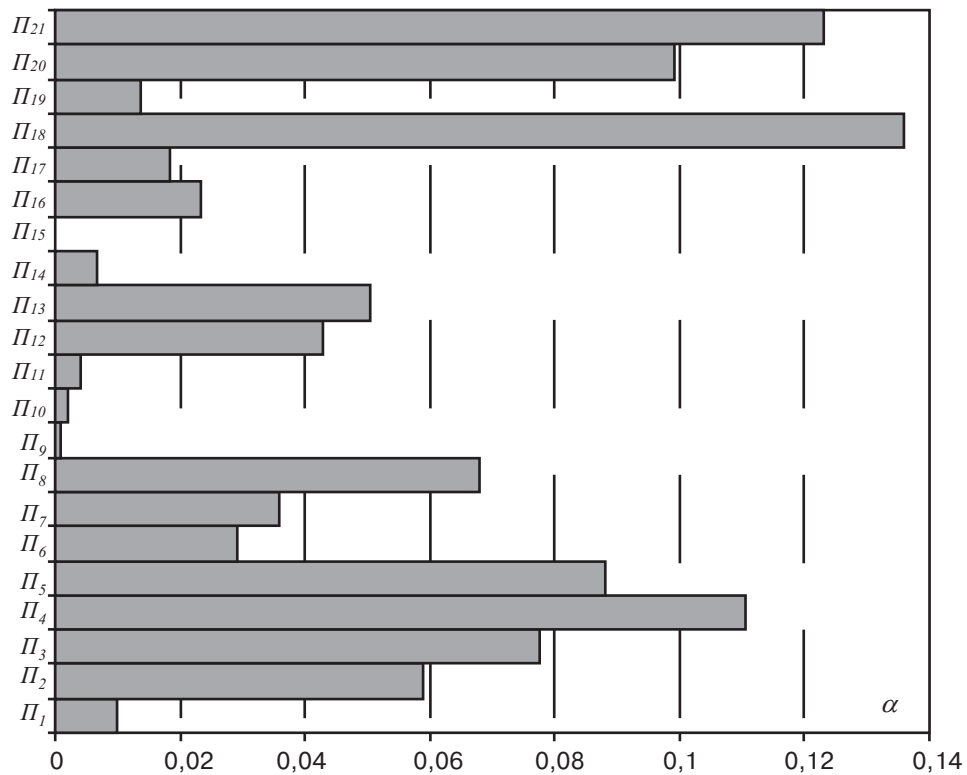


Рис. 4. Гістограма зважених коефіцієнтів небезпекі характерних помилок авіадиспетчерів

їх обчислень. **Рис. 4**, як і **рис. 3**, ілюструє вагомість небезпекі досліджуваних помилок.

На завершення зауважимо також, що ГСП – медіани Кемені виду (1) і (2) мають високий збіг:

Порівняльний аналіз кількісних показників небезпек помилок в групових системах переваг-медіанах Кемені, побудованих для підгруп m_{dif}^B і m_{dif}^G .

Підгрупа	Зважені коефіцієнти небезпеки помилок																				
	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	Π_9	Π_{10}	Π_{11}	Π_{12}	Π_{13}	Π_{14}	Π_{15}	Π_{16}	Π_{17}	Π_{18}	Π_{19}	Π_{20}	Π_{21}
m^B	0,0099	0,0591	0,0778	0,1108	0,0882	0,0293	0,0358	0,0681	0,0008	0,0021	0,004	0,0429	0,0506	0,0066	0,0002	0,0234	0,0183	0,1361	0,0137	0,0992	0,1231
m^G	0,0234	0,0591	0,0778	0,1108	0,0992	0,0002	0,0008	0,0183	0,0066	0,004	0,0099	0,0293	0,0681	0,0137	0,0021	0,0358	0,0429	0,1361	0,0506	0,1231	0,0882

коефіцієнт рангової кореляції Спірмена, обчислений для їх порівняння, дорівнює величині $R_S = 0,7922$ і є статистично-вірогідним на високому для досліджень ЛЧ рівні значущості $\alpha = 1\%$. Тобто, збіг думок (рангів небезпек помилок) у зазначених ГСП є закономірним, а не випадковим. Певні розбіжності рангів помилок знайшли відображення й у відповідних їм коефіцієнтах небезпек помилок, що ілюструє **табл. 3**.

ВИСНОВКИ

Отже, з огляду на отримані та представлені в цій публікації результати, з розвитку технології кількісно-якісного аналізу небезпек характерних помилок, яких можуть припуститися АД у професійній діяльності, вкажемо на такі більш важливі положення.

1. Звичайні СП дають уявлення лише про порівняльну значущість (небезпеку) порівнюваних помилок. Кількісна оцінка їх відмінності визначається через різницю рангових місць і не дає відповідь на питання, у скільки разів одна помилка є більш небезпечною за іншу.

2. Метод розстановки пріоритетів дає змогу отримати зважені коефіцієнти небезпек помилок, спираючись лише на їх рангові місця у встановлених ГСП. У якості зазначеної ГСП вибрано медіану Кемені як результат непараметричної оптимізації узгодженої ГСП.

3. Обґрунтовано, що при прийнятій точності обчислень варто застосовувати показники коефіцієнтів небезпек помилок, отримані на II ітерації застосування МРП. Оскільки в такому випадку забезпечується як нелінійність цих коефіцієнтів, так і належна їх точність.

Зазначені коефіцієнти дають змогу кількісно зіставляти небезпеки помилок, відповідаючи на питання, у скільки разів одна з них є більш/менш значущою стосовно іншої.

4. Подальші дослідження з впливу ЛЧ на ПР в авіаційних системах варто проводити у напрямках (не ранжуючи):

- розроблення штучної системи підтримки ПР у процесі моніторингу та профілактики помилок АД;
- перевірки гіпотези щодо можливого впливу кроскультурних чинників на ПР АО “переднього краю” за всім спектром показників, що визначають “ставлення персоналу до небезпечних дій або умов” тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ситник А. Г. Людський чинник та його вплив на психологічну безпеку фахівців екстремальних професій в авіації / А. Г. Ситник, А. В. Скрипець, О. О. Чужа, В. Б. Демянчук // Проблеми екстремальної та кризової психології. — 2013. — Вип. 14. — Ч. II. — С. 322–330.
2. Safety Management Manual (SMM): Doc ICAO 9859 — AN/460. — 4th Edition (advance unedited). — Montreal, Canada, 2018.
3. Система менеджмента охраны здоровья и обеспечения безопасности труда. Требования: Международный стандарт OHSAS 18001:2007.
4. Human Factors Module — A Business Case for Human Factors Investment // EUROCONTROL — HUM.ET1. ST13.4000-REP-02 / 13.12.1999.
5. Системний аналіз: медіана Кемені як оптимізаційна модель групової системи переваг авіадиспетчерів на небезпеках характерних помилок / О. М. Рева, В. В. Камишин, В. А. Шульгін, А. М. Невиніцин // Наука, технології, інновації. — 2020. — № 3. — С. 55–64.
6. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: проактивное исследование влияния : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов. — Алматы, 2007. — 242 с.
7. 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, Б. М. Мірзоев, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насіров // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон,

- 24–26 трав. 2016 р.). — Херсон : ХДМА, 2016. — С. 90–97.
8. Reva O. Ergonomic Assessment of Instructors' Capability to Conduct Personality-Oriented Training for Air Traffic Control (ATC) Personnel / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin, S. 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. 2019. — P. 783–793.
 9. Reva O. M. Проблеми корисності-безпеки в визначенні ставлення авіаційних операторів “переднього краю” до небезпечних дій або умов / О. М. Рева, В. А. Шульгін, А. М. Ієвлев // *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТ-ТОО-2020: матеріали 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 8–10 верес. 2020 р.)*. — Херсон : ХДМА, 2020. — С. 276–282.
 10. Маслоу А. Г. Мотивация и личность / А. Г. Маслоу ; пер. с англ. А. М. Талыбае-вой. — СПб. : Евразия, 1999. — 478 с.
 11. Анализ риска и проблем безопасности. В 4-х ч. — Ч. 1. Основы анализа и регулирования безопасности / науч. рук. К. В. Фролов. — М. : Знание, 2006. — 640 с.
 12. Демиденко Г. П. Безпека життєдіяльності : навч. посіб. / Г. П. Демиденко. — Київ : НТУУ КПІ, 2008. — 300 с.
 13. Попов Н. В. Формализация базовых понятий теории безопасности / Н. С. Попов, Н. В. Лузгачева // *Вопросы современной науки и практики*. — Тамбов. : Тамбовский гос. техн. ун-т. — 2010. — № 10–12. — С. 29–37.
 14. Акимов В. А. Общая теория безопасности жизнедеятельности в современной научной картине мира / В. А. Акимов. — М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2018. — 136 с.
 15. Reva O. M. Розробка методичного забезпечення процедур діагностики і корекції небезпечних стратегій прийняття рішень авіадиспетчерами / О. М. Рева, Б. М. Мирзоев, Ш. Ш. Насіров, П. Ш. Мухтаров // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. — 2013. — № 1. — С. 90–96.
 16. Reva O. M. Диференціальний метод встановлення порівняльної безпеки помилок авіадиспетчерів / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, В. А. Шульгін // *Наука, технології, інновації*. — 2019. — № 3 (11). — С. 70–82.
 17. Reva O. M. 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.
 18. Reva O. M. Управління безпекою польотів за людським чинником: показники вагомості помилок авіадиспетчерів / О. М. Рева, А. М. Невиніцин, В. А. Шульгін, В. В. Камишин // *Технічне регулювання, метрологія, інформаційні та транспортні технології : матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 22–23 жовт. 2020 р.)*. — Одеса : ОДАТРА, 2020. — С. 000-000.
 19. Беляевський Л. С. Метод розстановки пріоритетів у кількісній оцінці факторів безпеки в діяльності авіадиспетчера / Л. С. Беляевський, О. Б. Біндас // *Вісник Київського міжнародного університету цивільної авіації*. — 1999. — № 2. — С. 278–284.
 20. Рева О. М. Розстановка пріоритетів на множині обставин, що пом'якшують та обтяжують відповідальність / О. М. Рева, Д. Г. Радов // *Держава і право*. — 2001. — № 11. — С. 406–417.
 21. Рева О. М. Розстановка пріоритетів на множині окремих показників, що входять в узагальнений показник “Ефективне використання робочої сили” / О. М. Рева, Т. І. Грінка, В. В. Соболенко // *Водний транспорт*. — 2002. — Вип 3. — С. 133–141.
 22. Рева О. М. Моделювання розстановки пріоритетів у визначенні коефіцієнтів важливості мотивів трудової діяльності викладачів / О. М. Рева, І. М. Суворова // *Актуальні проблеми економіки*. — 2009. — № 9. — С. 243–249.
 23. Насиров Ш. Ш. Визначення коефіцієнтів важливості характерних помилок авіадиспетчерів в процесі управління повітряним рухом / Ш. Ш. Насиров // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. — 2011. — № 9. — С. 195–201.
 24. Берж К. Теория графов и ее применение / К. Берж ; пер. с франц. — М. : ИЛ, 1962. — 320 с.
 25. Блюмберг В. А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов / В. А. Блюм-берг, В. Ф. Глущенко. — Л. : Лениздат, 1982. — 160 с.
 26. Батищев Д. И. Методы оптимального проектирования : учеб. пособ. для вузов / Д. И. Батищев. — М. : Радио и связь, 1984. — 248 с.
 27. Бронштейн И. Н. Справочник по математике (для инженеров и учащихся вузов) / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев ; пер. с нем. ; под ред. Г. Гроше, В. Циглера. — Лейпциг : Тойбнер ; М. : Наука, 1981. — 719 с.

REFERENCES

1. Sytnyk, A. H., Skrypets, A. V., Chuzha, O. O., & Demianchuk, V. B. (2013). Liudskiy chynnyk ta yoho vplyv na psykhologichnu bezpeku fakhivtsiv ekstremalnykh profesii v aviatsii [The human factor and its impact on the psychological safety of specialists in extreme professions in aviation]. *Problemy ekstremalnoi ta kryzovoi psykhologii* [Problems of extreme and crisis psychology]. 14 (II), 322–330.
2. Safety Management Manual (SMM) (2018). Doc ICAO 9859 — AN/460. Fourth Edition (advance unedited). Montreal, Canada.
3. Systema menedzhmenta okhrany zdorovia y obespecheniya bezopasnosti truda. Trebovaniya: Mezhdunarodnyi standart [Health and safety management system. Requirements: International standard]. OHSAS 18001:2007.
4. Human Factors Module - A Business Case for Human Factors Investment. EUROCONTROL — HUM.ET1. ST13.4000-REP-02 / 13.12.1999.
5. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Shulhin, V. A., & Nevynitsyn A. M. (2020). Systemnyi analiz: mediana Kemeni yak optymizatsiina model hrupovoi systemy perevah aviadyspetcheriv na nebezpekakh kharakternykh pomylok [Systems analysis: the median Kemeni as an optimization model of the group system of air traffic controllers' preferences on the dangers of characteristic errors]. *Nauka, tekhnologii, innovatsii* [Science, technology, innovation]. 3, 55–64. doi: <http://doi.org/10.35668/2520-6524-2020-3-06>.
6. Reva, A. N., Tumyshev, K. M., & Bekmuhambetov, A. A. (2007). Chelovecheskij faktor i bezopasnost' poletov : Proaktivnoe issledovanie vliyaniya [The human factor and flight safety: A proactive impact study]. Almaty, 242 p.
7. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Shulhin, V. A., Mirzoiev, B. M., Mukhtarov, P. Sh., & Nasirov, Sh. Sh. (2016). Stavlenia aviatsiinykh operatoriv “perednoho kraiu”

- do nebezpechnykh dii abo umov profesiinoi diialnosti - holovnyi chynnyk zabezpechennia bezpeky polotiv [The attitude of "leading edge" air operators to dangerous actions or conditions of professional activity is the main factor in ensuring flight safety]. *Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnologii na transporti (MINTT-2016)* [Modern information and innovative technologies in transport (MINTT-2016)]. Kherson, 90–97.
8. 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*. Washington D.C., USA, 783–793. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20503-4_70
 9. Reva, O. M., Shulhin, V. A., & Ilevliev, A. M. (2020). Problemy korysnosti-bezpeky v vyznachenni stavlennia aviatsiinykh operatoriv "perednoho kraiu" do nebezpechnykh dii abo umov [Usefulness-safety problems in determining the attitude of "leading edge" air operators to dangerous actions or conditions]. *Suchasni enerhetychni ustanovky na transport, tekhnologii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia SEUTTOO-2020* [Modern power plants on transport, technologies and equipment for their maintenance SEUTTOO-2020]. Kherson, 276–282.
 10. Maslou, A. G. (1999). Motivaciya i lichnost' [Motivation and personality]. St. Peterburg: Evraziya. 478 p.
 11. Frolov, K. V. (2006). Analiz riska i problem bezopasnosti [Analysis of risk and security issues]. *Osnovy analiza i regulirovaniya bezopasnosti* [Fundamentals of safety analysis and regulation]. Moscow: Znanie, 640 p.
 12. Demidenko, G. P. (2008). Bezpeka zhittediyal'nosti [Life safety]. Kyiv: NTUU KPI, 300 p.
 13. Popov, N. V., & Luzgacheva, N. V. (2010). Formalizaciya bazovykh ponyatij teorii bezopasnosti [Formalization of basic concepts of security theory]. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki* [Questions of modern science and practice]. 10–12, 29–37.
 14. Akimov, V. A. (2018). Obshchaya teoriya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti v sovremennoj nauchnoj kartine mira [General theory of life safety in the modern scientific picture of the world]. Moscow: FGBU VNII GOCHS (FC), 136 p.
 15. Nasirov, Sh., & Mukhtarov, P. Sh. (2013). Rozrobka metodichnoho zabezpechennia protsedur diahnostryky i korektsii nebezpechnykh stratehii pryiniattia rishen aviadyspetcheramymy [Development of methodological support for diagnostic procedures and correction of dangerous decision-making strategies by air traffic controllers]. *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii* [Scientific Bulletin of the Kherson State Maritime Academy]. 1, 90–96.
 16. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Nevynitsyn, A. M., & Shulhin, V. A. (2019). Dyferentsialnyi metod vstanovlennia porivnialnoi nebezpeky pomylok aviadyspetcheriv [Differential method for establishing the comparative risk of air traffic controller errors]. *Nauka, tekhnologii, innovatsii* [Science, technology, innovation]. 3 (11), 70–82. [doi: http://doi.org/10.35668/2520-6524-2019-3-08](http://doi.org/10.35668/2520-6524-2019-3-08).
 17. Reva, O. M., Kamyshyn, B. B., Nevynitsyn, A. M., & Radetska, C. B. (2019). Bahatokrokovaya protsedura pryiniattia rishen shchodo uzghodzhenosti hrupovykh system perevah aviadyspetcheriv [Multi-step decision-making procedure on the consistency of group systems of air traffic controllers preferences]. *Tekhnichne rehulivannia, metrolohiia, informatsiini ta transportni tekhnologii* [Technical regulation, metrology, information and transport technologies]. Odesa: ODATRIA, 147–152.
 18. Reva, O. M., Nevynitsyn, A. M., Shulhin, V. A., & Kamyshyn, V. V. (2020). Upravlinnia bezpekoiu polotiv za liudskym chynnykom: pokaznyky vahomosti pomylok aviadyspetcheriv [Human factor safety management: indicators of the severity of errors of air traffic controllers]. *Tekhnichne rehulivannia, metrolohiia, informatsiini ta transportni tekhnologii* [Technical regulation, metrology, information and transport technologies]. Odesa: ODA-TRIA.
 19. Beliaievskiy, L. S., & Bindas, L. S. (1999). Metod rozstanovky priorytetiv u kilkinsii otsintsi faktoriv nebezpeky v diialnosti aviadyspetchera [Method of prioritization in the quantitative assessment of danger factors in the activities of the air traffic controller] *Visnyk Kyivsk. mizhnar. un-tu tsyv. aviatsii* [Bulletin of Kyiv. international un-tu civ. Aviation]. 2, 278–284.
 20. Reva, O. M., & Radov, D. H. (2001). Rozstanovka priorytetiv na mnozhyni obstavyn, shcho pomiakshuiut ta obtiazhuiut vidpovidalnist [Prioritize a number of mitigating and aggravating circumstances]. *Derzhava i pravo* [State and law]. 11, 406–417.
 21. Reva, O. M., Hrinka, T. I., & Sobolenko, V. V. (2002). Rozstanovka priorytetiv na mnozhyni okremykh pokaznykiv, shcho vkhodiat v uzahalnenyi pokaznyk "Efektyvne vykorystannia robochoi syly" [Prioritization on a set of individual indicators included in the generalized indicator "Efficient use of labor"]. *Vodnyi transport* [Water transport]. 3, 133–141.
 22. Reva, O. M., & Suvorova, I. M. (2009). Modeliuvannia rozstanovky priorytetiv u vyznachenni koefitsientiv vazhlyvosti motyviv trudovoi diialnosti vykladachiv [Modeling the arrangement of priorities in determining the coefficients of importance of the motives of teachers work]. *Aktualni problemy ekonomiky* [Current economic problems]. 9, 243–249.
 23. Nasyrov, Sh. Sh. (2011). Vyznachennia koefitsientiv vazhlyvosti kharakternykh pomylok aviadyspetcheriv v protsesi upravlinnia povitrianyim rukhom [Determining the coefficients of importance of characteristic errors of air traffic controllers in the process of air traffic control]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnologii* [Aerospace engineering and technology]. 9, 195–201.
 24. Berzh, K. (1962). Teoriya grafov i ee primenenie [Graph theory and its application]. Moscow: IL, 320 p.
 25. Bliumberh, V. A., & Hlushchenko, V. F. (1982). Kakoe reshenye luchshe? Metod rasstanovky priorytetov [Which solution is better? Prioritization method]. Leningrad: Lenyzdat, 160 p.
 26. Batyshchev, D. Y. (1984). Metody optimalnogo proektyrovannia [Methods of optimal design]. Moscow: Radyo y sviaz, 248 p.
 27. Bronshtejn, I. N., & Semendyaev, K. A., Groshe, G., & Cigler, V. (Ed.) (1981). Spravochnik po matematike (dlya inzhenerov i uchashchihsya vuzov) [Handbook of Mathematics (for engineers and university students)]. Lejpcig: Tojbnar; Moscow: Nauka, 719 p.

O. M. REVA, D. Sc. in Engineering, Professor
V. V. KAMYSHYN, D. Sc. in Pedagogy, Senior Researcher
S. P. BORSUK, D. Sc. in Engineering, Associate Professor
V. A. SHULGIN, PhD in Engineering, Assistant Professor
A. V. NEVYNITSYN, PhD in Engineering, Associate Professor

QUANTITATIVE INDICATORS OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS' ATTITUDE TO THE DANGER OF ERRORS

Abstract. *The negative and persistent impact of the human factor on the statistics of aviation accidents and serious incidents makes proactive studies of the attitude of "front line" aviation operators (air traffic controllers, flight crewmembers) to dangerous actions or professional conditions as a key component of the current paradigm of ICAO safety concept. This "attitude" is determined through the indicators of the influence of the human factor on decision-making, which also include the systems of preferences of air traffic controllers on the indicators and characteristics of professional activity, illustrating both the individual perception of potential risks and dangers, and the peculiarities of generalized group thinking that have developed in a particular society. Preference systems are an ordered (ranked) series of $n = 21$ errors: from the most dangerous to the least dangerous and characterize only the danger preference of one error over another. The degree of this preference is determined only by the difference in the ranks of the errors and does not answer the question of how much time one error is more dangerous in relation to another. The differential method for identifying the comparative danger of errors, as well as the multistep technology for identifying and filtering out marginal opinions were applied. From the initial sample of $m = 37$ professional air traffic controllers, two subgroups $m_B=20$ and $m_G=7$ people were identified with statistically significant at a high level of significance within the group consistency of opinions $\alpha = 1\%$. Nonpara-metric optimization of the corresponding group preference systems resulted in Kemeny's medians, in which the related (middle) ranks were missing. Based on these medians, weighted coefficients of error hazards were determined by the mathematical prioritization method. It is substantiated that with the accepted accuracy of calculations, the results obtained at the second iteration of this method are more acceptable. The values of the error hazard coefficients, together with their ranks established in the preference systems, allow a more complete quantitative and qualitative analysis of the attitude of both individual air traffic controllers and their professional groups to hazardous actions or conditions.*

Keywords: *flight safety, human factor, air traffic controllers, attitude to the danger of errors, individual and group preferences' systems, Kemeny median, prioritization method, weighted coefficients of errors' hazards.*

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

Борсук Сергій Павлович — д-р техн. наук, доцент, постдокторант в Університеті Веньчжоу, Веньчжоу, Китайська Народна Республіка, Університетське містечко Чашань, м. Веньчжоу, пров. Чжецзян, Китай; 325035grey1s@yandex.ua; ORCID: 0000-0002-7034-7857

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", Antonovich 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", Antonovich Str., 180, Kyiv, Ukraine, 03680; +38 (044) 521-00-10; kvv@ukrintei.ua; ORCID: 0000-0002-8832-9470

Borsuk S. P. — D. Sc. in Engineering, Associate Professor, Postdoctoral researcher at Wenzhou University, Wenzhou, People Republic of China, Chashan University Town, Wenzhou City, Zhejiang Province, China; 325035grey1s@yandex.ua; ORCID: 0000-0002-7034-7857

Shulhin V. A. — PhD in Engineering, Assistant Professor, Dean of the Flight Operation Faculty, Flight Academy of the National Aviation University, Dobrovolsky 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, Dobrovolsky Str. 1, Kropyvnytskyi, Ukraine 25005; nevatse@ukr.net; ORCID: 0000-0001-7000-4929