ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

УДК 656.7.084.17:519.816 **doi: 10.32620/aktt.2019.5.08**

О. М. РЕВА[1], В. В. КАМИШИН[1], А. М. НЕВИНІЦИН[2], С. В. НЕДБАЙ[3]

[1] ***Державна наукова установа «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, Україна;***
[2] ***Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна;***
[3] ***Льотна школа «Кондор», Київ, Україна***

ПРЕВЕНТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ЗНАЧУЩОСТІ ХАРАКТЕРНИХ ПОМИЛОК АВІАДИСПЕЧЕРІВ

Обґрунтовано, що головним чинником, що пояснює вплив авіаційних операторів «переднього краю» на взаємодію складників концепції безпеки польотів ІСАО є їх «ставлення до небезпечних дій або умов». До цього «ставлення» віднесено й системи переваг на показниках і характеристиках професійної діяльності. Виходячи з рекомендацій ІСАО та статистики авіаційних подій і серйозних інцидентів під час управління повітряним рухом, був сформований спектр з n=21 характерних помилок авіадиспетчерів, який найбільш повно і всебічно ілюструє їх неправильні рішення. Орієнтуючись на лінгвістичні показники ІСАО щодо визначення рівнів частоти і небезпеки небажаних подій, обґрунтовано проведення їх дефазифікації шляхом застосування зважених коефіцієнтів значущості помилок для визначення індивідуальних і групових систем переваг. Коефіцієнти визначені на п'ятій ітерації застосування математичного методу розстановки пріоритетів. До експерименту було залучено m=37 професійних авіадиспетчерів. Для узагальнення їх думок стосовно частоти і небезпек помилок був реалізований мультиплікативний підхід, який на відміну від адитивного дозволяє отримати більш обережні результати. Побудовані групові системи переваг випробуваних авіадиспетчерів по показниках частоти і небезпек характерних помилок, які не збігаються. Введений показник нерозрізненості. Встановлено, що його значення для дослідження частоти помилок у груповій системі переваг дорівнює величині $R^*_{LF} = 1{,}23 \cdot 10^{-2}$, а для аналізу небезпек помилок – у три рази гірший і дорівнює $R^*_{LD} = 3{,}77 \cdot 10^{-2}$. Інтегративний (цілісний) показник значущості кожної помилки узагальнює її коефіцієнти значущості по показниках частоти і небезпек і знаходиться мультиплікативно. Що дало змогу побудувати остаточну групову систему переваг. Ступінь нерозрізненості значущості помилок у ній дорівнює $R^*_g = 0{,}91 \cdot 10^{-2}$, що свідчить про ефективність запропонованого підходу до реалізації рекомендацій ІСАО щодо урахування в процесах управління безпекою польотів частоти і небезпек небажаних подій. Отримані результати пропонується використовувати для створення методології аналізу «дерева подій» в системах управління безпекою польотів.

Ключові слова: *безпека польотів; людський чинник; авіадиспетчер; прийняття рішень; системи переваг; характерні помилки; частота прояву і небезпека наслідків для безпеки польотів; коефіцієнти значущості; мультиплікація; інтегративна оцінка; показник нерозрізненості.*

Вступ

Авіаційні оператори (АО) «переднього краю», зокрема диспетчери управління повітряним рухом (УПР), можуть суттєво покращити рівень безпеки польотів (БП), активно втручаючись у компенсацію наслідків відмов технічної частини складної поліергатичної цілеспрямованої організаційної і активної системи керування «льотний екіпаж – повітряне судно (ПС) – середовище – орган УПР» [1]. Однак, статистика авіаційних подій (АП) і серозних інцидентів (СІ) вказує, що впродовж десятиліть вплив людського чинника (ЛЧ) на БП є, переважним чином, негативним і обумовлює абсолютну більшість цих подій. Саме тому ІСАО вважає, що врахування ЛЧ дозволяє покращити стан в усіх питаннях, пов'язаних з БП [2, 3].

За статистикою багаторічного моніторингу стану БП у світовій цивільній авіації (ЦА), пусковим чинником АП є зазвичай помилка людини, якої припускаються, як це не парадоксально, кваліфіковані АО «переднього краю». І оскільки «право на помилку» офіційно визнано ІСАО [4], то дослідження спроможності ментального передбачення хибних наслідків помилкових дій, формування навичок їх розрізнення, розпізнавання, запам'ятовування, а отже, і запобігання є актуальною і науковою, і практичною задачею.

Професійна діяльність АО «переднього краю» - це безперервний ланцюг рішень, що виробляються і

© О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, С. В. Недбай, 2019

реалізовуються у явних і неявних формах під впливом багатьох різноманітних чинників. І природно, що хибні дії, як правило, є наслідком саме неправильних рішень. Тому не менш актуальним є виявлення впливу ЛЧ на процеси прийняття рішень (ПР) диспетчерів УПР (ДУПР). Показники цього впливу (основні домінанти ПР, рівні домагань, нечіткі оцінки ризику, системи переваг (СП) та небезпечні властивості ПР) пов'язані саме з ЛЧ і розкривають поняття «ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов». У працях [5-9 та ін.] доведено, що це «ставлення», є провідним і пояснює взаємодію інших складових поточної парадигми БП ІСАО. Однак, у цих працях недостатньо уваги приділяється дослідженню СП ДУПР на показниках і характеристиках професійної діяльності.

Під СП в контексті наших досліджень розумітимемо упорядкований (ранжируваний) ряд показників і характеристик АО «переднього краю»: від найбільш важливих (значущих) – до найменш.

Впорядкування показників і характеристик професійної діяльності АО «переднього краю» відбувається за допомогою методів: прямого ранжирування; попарного порівняння і встановлення частини сумарної / відносної інтенсивності (небезпеки); коефіцієнтів важливості; суб'єктивних ймовірностей; лінгвістичних змінних [10-14]. Вкажемо також, що не зважаючи на певні позитивні результати, пов'язані із встановленням СП ДУПР на множині характерних помилок, перелік яких поданий у табл. 1, вони досліджують лише їх порівняльну небезпеку [11-14 та ін.], хоча ІСАО рекомендує акцентувати увагу одночасно і на небезпеці, і на частоті виникнення небажаних подій і загроз [15]. Відповідні лінгвістичні критерії рівнів небезпек (РН) і рівнів частоти (РЧ) помилок також застосовані не були.

1. Постановка задачі

Виходячи з вищенаведеного, та спираючись на результати наших пілотних досліджень апробаційного характеру [16-18], *метою* цієї публікації є превентивне оцінювання комплексних загроз БП від помилок ДУПР. Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести дефазифікацію лінгвістичних показників РН і РЧ помилок шляхом надання їм відповідних коефіцієнтів значущості;

– розробити методику досліджень і провести опитування професійних ДУПР щодо їх ставлення до РН і РЧ помилок;

– обґрунтувати підхід до отримання інтегративної (цілісної) комплексної оцінки загрози БП від кожної помилки;

– побудувати та проаналізувати індивідуальні СП (ІСП) та групові СП (ГСП) ДУПР на спектрі характерних помилок.

Результати досліджень

Отже, рекомендації ІСАО щодо введення показників РН і РЧ небажаних подій / загроз мають яскраво виражений якісний характер і можуть бути представлені як терм-множини відповідних лінгвістичних змінних:

$$\mathrm{T}^{\mathrm{M}}(\mathrm{PH}) = \underset{\tilde{R}_K}{\text{Катастрофічний}} + \underset{\tilde{R}_H}{\text{Небезпечний}} + \underset{\tilde{R}_C}{\text{Суттєвий}} + \underset{\tilde{R}_{H3}}{\text{Незначний}} + \underset{\tilde{R}_M}{\text{Мізерний}}; \quad (1)$$

$$\mathrm{T}^{\mathrm{M}}(\mathrm{PЧ}) = \underset{\tilde{R}_Ч}{\text{Часто}} + \underset{\tilde{R}_I}{\text{Інколи}} + \underset{\tilde{R}_{ДР}}{\text{Дуже рідко}} + \underset{\tilde{R}_{MI}}{\text{Малоімовірно}} + \underset{\tilde{R}_{УМ}}{\text{Украй малоімовірно}}; \quad (2)$$

де « + » – позначка логічного об'єднання окремих якісних оцінок у відповідну лінгвістичну шкалу «РН» і «РЧ».

Таблиця 1

Спектр характерних помилок авіадиспетчерів

$П_i$	Характер помилки
$П_1$	Порушення фразеології радіообміну
$П_2$	Неузгодженість входу ПС в зону суміжного УПР
$П_3$	Порушення побіжних часових інтервалів;
$П_4$	Порушення зустрічних часових інтервалів
$П_5$	Порушення інтервалів між ПС, що знаходяться на курсах, що перетинаються
$П_6$	Безадресна передача повідомлень диспетчером
$П_7$	Помилка у визначенні позивного ПС
$П_8$	Помилка в ідентифікації ПС
$П_9$	Помилкове використання диспетчерського графіку
$П_{10}$	Відсутність на стрипі позначки диспетчера про передачу управління суміжному диспетчерському пункту
$П_{11}$	Відсутність на стрипі позначки диспетчера щодо узгодження входу ПС в зону УПР суміжного диспетчерського пункту
$П_{12}$	Порушення диспетчером узгодженого географічного рубежу передачі УПР
$П_{13}$	Порушення диспетчером узгодженого часового рубежу передачі УПР
$П_{14}$	Недбалість в нанесенні на стрип літерно-цифрової інформації (можливість двоякої інтерпретації)
$П_{15}$	Неекономічне УПР
$П_{16}$	Порушення процедури прийому і здачі чергування
$П_{17}$	Не відображення на стрипі виданих команд щодо зміни висоти або напрямку польоту
$П_{18}$	Спроба керувати ПС після спрацьовування на ньому системи TCAS режимі resolution advice
$П_{19}$	Помилки вводу інформації про ПС в автоматизовану систему
$П_{20}$	Порушення технології праці при особливих випадках у польоті;
$П_{21}$	Порушення в використанні повітряного простору

ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

І якщо поставити у відповідність кожному якісному показнику РН чи РЧ спочатку відповідну «цінність», а потім і відповідний зважений коефіцієнт значущості, то саме таким чином ї буде здійснено дефазифікацію цих показників [16-18] зазначена процедура подана на рис. 1. наведене важливе, оскільки визначення коефіцієнтів значущості було віднесено вище до одного з методів встановлення систем переваг, а отже і до методів ПР. Враховуючи очевидне ранжирування лінгвістичних показників РН і РЧ, визначених відповідними шкалами (1) і (2)

$$\begin{cases} \tilde{R}_К \succ \tilde{R}_Н \succ \tilde{R}_С \succ \tilde{R}_{НЗ} \succ \tilde{R}_М, \\ \tilde{R}_Ч \succ \tilde{R}_І \succ \tilde{R}_{ДР} \succ \tilde{R}_{МІ} \succ \tilde{R}_{УМ}, \end{cases} \quad (3)$$

нескладно дійти висновку, що для здійснення їх дефазифікації слід застосувати математичний метод розстановки пріоритетів (МРП), відомий також, як «задача про лідера» [19, 20], який пройшов добру апробацію у гуманістичних (у розумінні Л. Заде [21]) системах [16-18, 22-24 та ін.].

Результати застосування МРП для потреб встановлення коефіцієнтів значущості показників РН і РЧ подані у табл. 2.

Таблиця 2
Коефіцієнти значущості якісних показників частоти і небезпеки помилок (фрагмент)

Показник РН / РЧ	Ітерація, на якій отримані шукані коефіцієнти бажаності						
	I	II	…	V	...	X	XI
1	3	4	…	7	...	12	13
$\tilde{R}_К / \tilde{R}_Ч$	0,36	0,4824	…	0,6914	...	0,8225	0,8367
$\tilde{R}_Н / \tilde{R}_І$	0,28	0,2941	…	0,2345	...	0,1536	0,1431
$\tilde{R}_С / \tilde{R}_{ДР}$	0,20	0,1529	…	0,0619	...	0,0217	0,0185
$\tilde{R}_{НЗ} / \tilde{R}_{МІ}$	0,12	0,0588	…	0,0112	...	0,0021	0,0016
$\tilde{R}_М / \tilde{R}_{УМ}$	0,04	0,0118	…	0,0010	...	0,0001	0,0001
Σ	1	1	…	1	...	1	1

Для подальшого застосування беремо значення коефіцієнтів значущості РН і РЧ помилок, встановлені на п'ятій ітерації застосування МРП, оскільки, по-перше, йдеться про нелінійність отриманих їх значень; по-друге, про суттєву диференціацію; по-третє, про високий рівень точності обчислень. Наведене дозволило побудувати відповідну номограму, тобто якісні і кількісні показники РН і РЧ загроз досліджуваних помилок (рис. 2).

До досліджень було залучено m=37 професійних ДУПР, співробітників Льотної академії Національного авіаційного університету та ДП «Украероруx», які, користуючись лінгвістичними шкалами (1), (2), мали висловити свої думки щодо частоти прояву характерних помилок, перелічених у табл. 1, та небезпек їх наслідків. Зразок отриманих результатів ілюструє рис. 3, на якому подані гістограми відповідей стосовно помилки $П_1$ («Порушення фразеології радіообміну»), якої, на думку респондентів, ДУПР припускаються найбільш часто, і помилки $П_{18}$ («Спроба керувати ПС після спрацьовування на ньому системи TCAS в режимі resolution advice»), яка, як вважають ДУПР, є найбільш небезпечною з усього їх спектру.

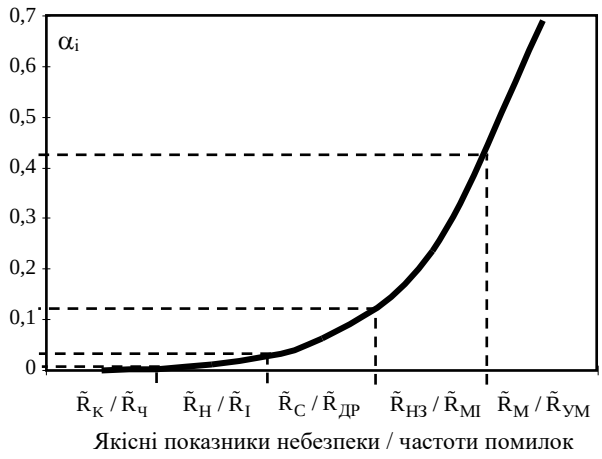

Рис. 2. Номограма відповідності якісних показників небезпеки / частоти помилок і відповідних їм коефіцієнтів значущості

$$\begin{array}{ccccccccc} \tilde{R}_К / \tilde{R}_Ч & & \tilde{R}_Н / \tilde{R}_І & & \tilde{R}_С / \tilde{R}_{ДР} & & \tilde{R}_{НЗ} / \tilde{R}_{МІ} & & \tilde{R}_М / \tilde{R}_{УМ} \\ \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ C_К / C_Ч & + & C_Н / C_І & + & C_С / C_{ДР} & + & C_{НЗ} / C_{МІ} & + & C_М / C_{УМ} = C \\ \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ \frac{C_К / C_Ч}{C} & + & \frac{C_Н / C_І}{C} & + & \frac{C_С / C_{ДР}}{C} & + & \frac{C_{НЗ} / C_{МІ}}{C} & + & \frac{C_М / C_{УМ}}{C} = 1 \\ \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ \alpha_К / \alpha_Ч & + & \alpha_Н / \alpha_І & + & \alpha_С / \alpha_{ДР} & + & \alpha_{НЗ} / \alpha_{МІ} & + & \alpha_М / \alpha_{УМ} = 1 \end{array}$$

Рис. 1. Схема дефазифікації лінгвістичних оцінок частоти і небезпек помилок

Враховуючи досвід досліджень [16-18, 24 та ін.], застосуємо мультиплікативний підхід для отримання інтегративних (цілісних) оцінок коефіцієнтів значущості кожної і-тої помилки по показниках РН ($\alpha_{П_i}^{РН}$) і РЧ ($\alpha_{П_i}^{РЧ}$):

$$\alpha_{П_i}^{РН} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^{m} \alpha_{П_i j}^{РН}}; \quad (4)$$

$$\alpha_{П_i}^{РЧ} = \sqrt[m]{\prod_{j=1}^{m} \alpha_{П_i j}^{РЧ}}. \quad (5)$$

Застосовуючи формули (4), (5) було отримано такі ГСП ДУПР на спектрі характерних помилок:

– по показниках їх небезпек;

$$П_{18} \underset{РН}{\succ} П_5 \underset{РН}{\succ} П_{20} \underset{РН}{\succ} П_{17} \underset{РН}{\succ} П_{15} \underset{РН}{\succ} П_{14} \underset{РН}{\approx} П_{10} \underset{РН}{\succ} П_{12} \underset{РН}{\succ} П_{13} \underset{РН}{\approx} П_9 \underset{РН}{\succ} П_{21} \underset{РН}{\succ} П_{16} \underset{РН}{\succ} П_{19} \underset{РН}{\succ} П_4 \underset{РН}{\approx} П_7 \underset{РН}{\approx} П_1 \underset{РН}{\approx} П_8 \underset{РН}{\approx} П_6 \underset{РН}{\approx} П_{11} \underset{РН}{\approx} П_2 \underset{РН}{\succ} П_3; \quad (6)$$

– по показниках їх частоти:

$$П_1 \underset{РЧ}{\succ} П_{21} \underset{РЧ}{\succ} П_{15} \underset{РЧ}{\succ} П_7 \underset{РЧ}{\succ} П_9 \underset{РЧ}{\succ} П_{12} \underset{РЧ}{\succ} П_4 \underset{РЧ}{\succ} П_{13} \underset{РЧ}{\approx} П_{10} \underset{РЧ}{\approx} П_2 \underset{РЧ}{\approx} П_{11} \underset{LF}{\succ} П_{18} \underset{РЧ}{\approx} П_3 \underset{РЧ}{\approx} П_{14} \underset{РЧ}{\succ} П_{16} \underset{РЧ}{\approx} П_{20} \underset{РЧ}{\succ} П_6 \underset{РЧ}{\approx} П_8 \underset{РЧ}{\approx} П_{17} \underset{РЧ}{\succ} П_5 \underset{РЧ}{\succ} П_{19}, \quad (7)$$

де $\underset{РН}{\succ}$, $\underset{РН}{\approx}$ – позначка відповідно переваги однієї помилки перед іншою по показнику небезпеки, а також адекватність помилок по небезпеці;

$\underset{РЧ}{\succ}$, $\underset{РЧ}{\approx}$ – позначка відповідно переваги однієї помилки перед іншою по показнику частоти прояву, а також адекватність помилок по частоті прояву.

Рисунок 4 ілюструє порівняльну характеристику збігу / не збігу ГСП (6), (7). Для порівняння цих СП був застосований коефіцієнт рангової кореляції Спірмена. Його обчислене значення дорівнює величині $R_S = -0{,}1432$ і не є статистично вірогідним. Таким чином, досліджувані ГСП (6), (7) є такими,

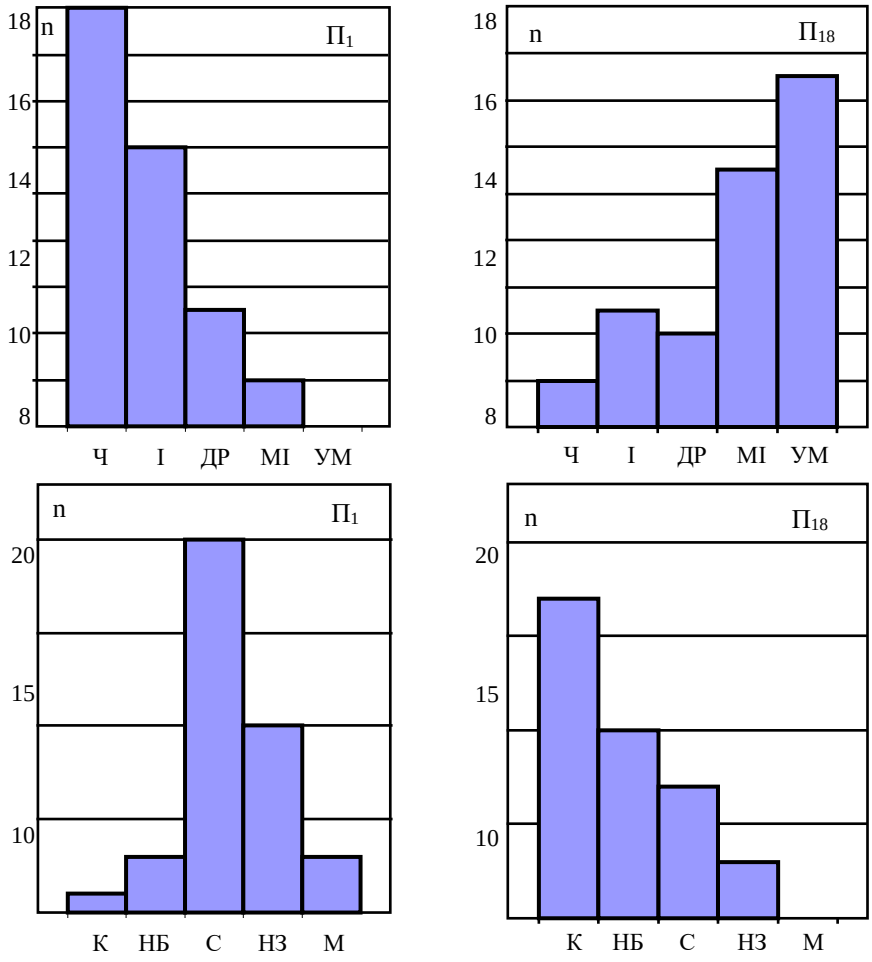

Рис. 3. Гістограма статистики думок випробуваних авіадиспетчерів щодо частоти і небезпек прояву помилок $П_1$ і $П_{18}$

ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

що не збігаються, що відповідає здоровому глузду. Оскільки небезпека помилки, безумовно, не є запорукою частоти її прояву у професійній діяльності і навпаки.

Спираючись на формулу обчислення коефіцієнта множинної рангової кореляції – коефіцієнта конкордації Кендала [10], пропонується застосовувати такий показник ступеня невизначеності розрізнення ДУПР небезпек помилок [12, 18, 25]:

$$R^* = \frac{R}{R_{max}} = \frac{\sum_i \left(r_i^3 - r_i \right)}{r_n^n - r_n}, \qquad (8)$$

де $n = 21$ – кількість помилок, що упорядковуються у СП;

R – показник нерозрізненості помилок у конкретній СП;

R_{max} – показник максимальної нерозрізненості (максимальної невизначеності думок), коли усі помилки вважаються однаковими за значущістю (небезпечністю):

$$\Pi_1 \approx \Pi_2 \approx \Pi_3 \approx ... \approx \Pi_{20} \approx \Pi_{21}. \qquad (9)$$

Показник R^* змінюється у межах $R^* = \overline{0,1}$. Якщо усі помилки розрізнені і суворо впорядковані, тобто у СП відсутні «пов'язані» (middle) ранги, то $R^*=0$, оскільки в цьому випадку відповідно до формули (8) й $R=0$. Однак, якщо усі досліджувані помилки нерозрізнені за небезпекою, тобто виконується умова (9), то:

$$R = R_{max} = n^3 - n = 21^3 - 21 = 9240, \qquad (10)$$

а показник нерозрізненості помилок має максимальне значення: $R^*=1$.

Природно, що наведені міркування справедливі і для оцінювання ступеня нерозрізненості помилок за частотою їх прояву.

Отже, спираючись на СП (6), (7) та користуючись формулами (8) – (10) матимемо:

– показник нерозрізненості помилок за небезпекою їх наслідків:

$$R^*_{РН} = \frac{R_{РН}}{R_{max}} = 3,77 \cdot 10^{-2};$$

– показник нерозрізненості помилок за частотою їх прояву:

$$R^*_{Рч} = \frac{R_{Рч}}{R_{max}} = 1,23 \cdot 10^{-2}.$$

Таким чином, випробувані ДУПР розпізнають небезпеку помилок у три рази гірше, ніж частоту їх прояву.

Інтегративна (цілісна) оцінка значущості кожної і-тої помилки α_{Π_i} знаходиться мультиплікативно, шляхом знаходження середньо геометричного:

$$\alpha_{\Pi_i} = \sqrt{\alpha^{РН}_{\Pi_i} \cdot \alpha^{Рч}_{\Pi_i}}, \qquad (11)$$

що сприяє отриманню такої остаточної групової СП випробуваних авіадиспетчерів на спектрі характерних помилок:

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

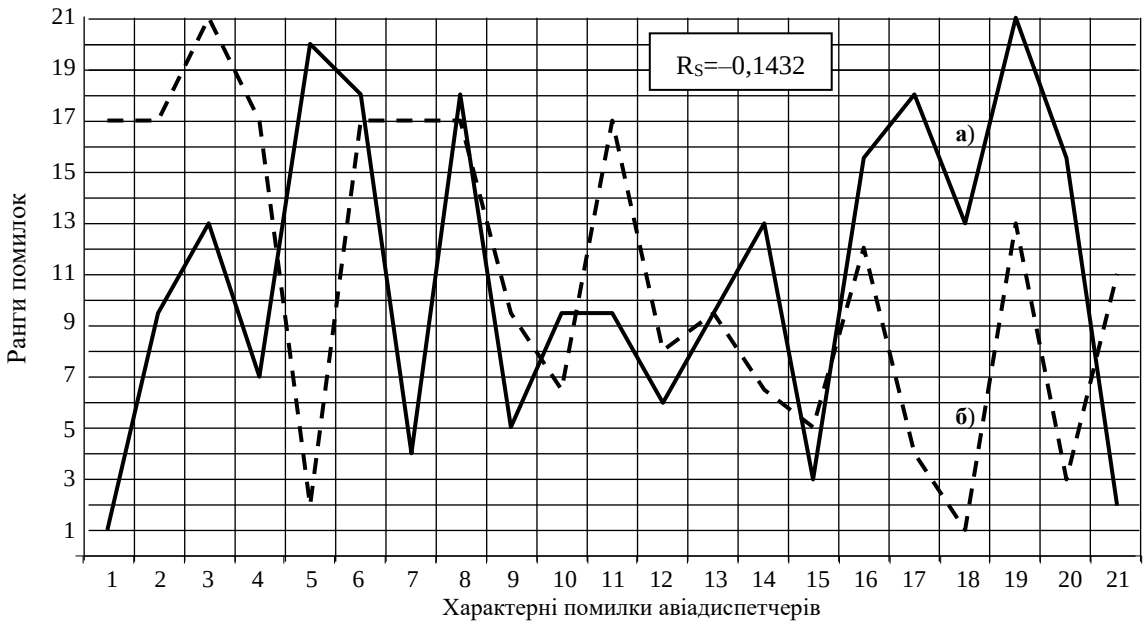

Рис. 4. Порівняльний аналіз значущості помилок у групових системах переваг авіадиспетчерів по показниках частоти прояву і небезпеки

де $\succ_g$, $\approx_g$ – позначки відповідно переваги і адекватності помилок за значущістю у ГСП.

Зауважимо, що застосування мультиплікативного підходу виду (11) в порівнянні з адитивним підходом сприяє отриманню більш обережних, а отже і надійних результатів.

Показник нерозрізненості помилок в узагальненій по показниках частоти і небезпек помилок СП (12) дорівнює величині:

$$R_g^* = \frac{R_g}{R_{max}} = 0,91 \cdot 10^{-2}.$$

Таким чином, у ГСП (12), агрегованій по показниках частоти і небезпек помилок, ступінь нерозрізненості цих помилок у 1,35 разів краще, ніж у ГСП (6) і у 4,14 разів краще, ніж у ГСП (7). Що свідчить про ефективність запропонованого авторами підходу до реалізації рекомендацій ІСАО щодо урахування в процесах управління БП частоти і небезпек небажаних подій.

Отримані в наведений спосіб наукові результати слід застосовувати при організації тренажерної підготовки авіадиспетчерів, а також здійснення заходів з управління БП в аеронавігаційних системах.

Висновки

Виходячи з отриманих і поданих у цій публікації нових наукових результатів з превентивного оцінювання загроз БП від помилок ДУПР, вкажемо на такі найбільш важливі положення.

1. Уперше, досліджуючи помилки ДУПР у професійній діяльності, застосовано критерії ІСАО для одночасного комплексного оцінювання загроз характерних помилок і по показниках їх небезпек, і по частоті прояву.

2. Виходячи з очевидності ранжирування лінгвістичних показників РН і РЧ, запропонованих ІСАО, застосовано математичний МРП для встановлення коефіцієнтів значущості цих показників РН і РЧ помилок, тобто здійснено їх дефазифікацію. Обґрунтовано доцільність застосування коефіцієнтів, отриманих на п'ятій ітерації

3. Обґрунтовано застосування мультиплікативного підходу до інтегративної оцінки загроз помилок по показниках частоти і небезпек, який, на відміну від адитивного, сприяє отриманню більш обережних, а отже, і надійних результатів.

4. Досліджено думки m=37 професійних ДУПР щодо частоти і небезпек помилок за критеріями ІСАО. Встановлено, що на їх думку найбільш небезпечно є помилка $П_{18}$ («Спроба керувати ПС після спрацьовування на ньому системи TCAS в режимі resolution advice»), а найбільш часто ДУПР припускаються помилки $П_1$ («Порушення фразеології радіообміну»).

5. Встановлено, що ГСП, отримані для небезпек і частоти помилок не збігаються.

6. Введено нормований показник нерозрізненості помилок. Визначено, для оцінювання небезпек помилок він складає величину $R_{РН}^* = 3,77 \cdot 10^{-2}$ і у три рази гірше за показник нерозрізненості їх частоти, який дорівнює: $R_{РЧ}^* = 1,23 \cdot 10^{-2}$.

7. Мультиплікативно отримані інтегративні показники значущості кожної помилки і, як наслідок, агрегована по частоті і небезпекам помилок ГСП, в якій ступінь нерозрізненості значущості помилок встановлює величину $R_g^* = 0,91 \cdot 10^{-2}$, що у 1,35 разів краще, ніж у ГСП на показниках частоти помилок, і у 4,14 разів краще, ніж у ГСП на небезпеках помилок. Що свідчить про ефективність запропонованого підходу до реалізації рекомендацій ІСАО щодо урахування в процесах управління БП частоти і і небезпек небажаних подій.

8. Таким чином, можна зробити узагальнений висновок, що усі задачі цієї публікації вирішені, а отже її мета досягнута. Вважаємо, що подальші дослідження слід проводити у таких напрямах (не ранжируючи):

– розроблення антидотів – запобіжників помилок;

– застосування «дерева подій» для розроблення методології аналізу розвитку проблемної ситуації у зоні відповідальності за умов, якщо ДУПР припускаються тієї чи іншої помилки,

– виявлення можливості впливу кроскультурних чинників та ставлення до загроз помилок тощо.

Література

1. Рева, А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : Проактивное исследование влияния [Текст] : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.

2. Investigation Of Human Factors In Accidents And Incidents [Electronic resource] // Human Factors Digest No. 7 : Cir. ICAO 240-AN/144. – Montreal, Canada, 1993. – Access mode: https://skybrary.aero/bookshelf/books/2037.pdf. – 14.05.2019.

3. Global Aviation Safety Plan (GASP) 2017-2019 [Electronic resource] : Doc. ICAO 10104. – Montreal, Canada, 2016. – Access mode: https://www.icao.int/safety/Pages/GASP.aspx. – 14.05.2019.

4. Accident prevention manual [Electronic resource] : Doc. ICAO 9422-AN/923. – Montreal, Canada, 1984. – Access mode: https://www.worldcat.org/title/accident-prevention-manual-doc-9422-an923/oclc/850781874. – 14.05.2019.

5. Ставлення авіаційних операторів «переднього краю» до небезпечних дій або умов професій-

ISSN 1727-7337 (print)
ISSN 2663-2217 (online)

ної діяльності – головний чинник забезпечення безпеки польотів [Текст] / О. М. Рева, С. П Борсук, Ш. Ш. Насіров та ін. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016) : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., 24-26 травня 2016 р. – Херсон : ХДМА, 2016. – С. 90-97.

6. New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation [Text] / O. Reva, S. Borsuk, B. Mirzayev et all // 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.

7. Borsuk, S. P. New Methods for Air Traffic Controller Main Solution Taking Dominant Determination Concerning Their Attitude to Risk [Text] / S. P. Borsuk // Logistics and Transport. – 2017. – no. 1. – P. 25-29.

8. Теоретичне обґрунтування системно-інформаційної кваліметрії людського чинника в аеронавігаційних системах [Текст] / О. М. Рева, С. П. Борсук, Ш. Ш. Насіров та ін. // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО-2017 : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф., 28-29 вересня 2017 року. - Херсон : ХДМА, 2017. – С. 127-132.

9. Ergonomic Assessment of Instructors' Capability to Conduct Personality-Oriented Training for Air Traffic Control (ATC) Personnel [Text] / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin et all // 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.

10. Надежность и эффективность в технике [Текст] : справочник в 10 т. - Т. 3: Эффективность технических систем ; под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.

11. Насиров, Ш. Ш. Пілотне визначення систем переваг авіадиспетчерів Азербайджану на характерних помилках в процесі управління повітряним рухом [Текст] / Ш. Ш. Насиров // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2010. – № 7 (74). – С. 124-134.

12. Эмпирические модели оценки риска-неопределенности групповых систем предпочтений авиадиспетчеров [Текст] / А. Н. Рева, Ш. Ш. Насіров, Б. М. Мірзоєв та інші // Elmi təstiələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin. – Baki, iyul – sentyabr 2012. – Cild. 14, № 3. – C. 46-60.

13. Рева, О. М. Медіана Кемені як групова система переваг авіадиспетчерів на множині характерних помилок [Текст] / О. М. Рева, В. В. Камишин, Ш .Ш. Насиров // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2012. – № 4 (91). – С. 106-115.

14. Рева, А. Н. Эффективность методов определения групповых систем предпочтений диспетчеров на опасности характерных ошибок, совершаемых в процессе управления воздушным движениемы [Текст] / А. Н. Рева, Ш. Ш. Насіров, Б. М. Мирзоев // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2018. – № 6 (150). – С. 93-103.

15. Safety Management Manual (SMM) [Electronic resource] : Doc ICAO 9859 – AN/460. - Fourth Edition (advance unedited). - Montreal, Canada, 2018. – Access mode: https://www.icao.int/Pages/PageNotFoundError.aspx?reques-tUrl=https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition.alltext.en.pdf. – 1.05.2019.

16. Рева, О. М. Інтегративний підхід до оцінювання помилок авіадиспетчерів по показниках небезпеки і частоти [Текст] / О. М. Рева, В. А. Шульгін, Ш. Ш. Насіров // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT - 2018) : збірка матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції, 29-31 травня 2018 року. – Херсон : ХДМА, 2018. – С. 47-51.

17. Дефаззификация лингвистических показателей нежелательных событий для получения их интегративной оценки (на примере характерных ошибок авиадиспетчеров) [Текст] / А. Н. Рева, Ш. Ш. Насиров, Б. М. Мирзоев та інші // XXIII Міжнародний конгрес двигунобудівників : тези доп., Коблево, 4-9 вересня 2018 р. – Х. : Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2018. – С. 74.

18. Прийняття рішень: системи переваг авіадиспетчерів на показниках частоти і небезпек характерних помилок [Текст] / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин та інші // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2019) : збірка наукових праць XV Міжнародної наукової конференції, присвяченої 90-річчю академіка Юрія Кривоноса, Залізний Порт, 21-25 травня 2019 р., - Херсон : ФОП Вишемирський В. С. – С. 159-161.

19. Берж, К. Теория графов и ее применение [Текст] / К. Берж ; пер. с. франц. – М. : ИЛ, 1962. – 320 с.

20. Блюмберг, В. А. Какое решение лучше? Метод расстановки приоритетов [Текст] / В. А. Блюмберг, В. Ф. Глущенко. – Л. : Лениздат, 1982. – 160 с.

21. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде ; под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского ; пер. с англ. Н. И. Ринго. – М. : Мир, 1976. – 165 с.

22. Насиров, Ш. Ш. Визначення коефіцієнтів важливості характерних помилок авіадиспетчерів в процесі управління повітряним рухом [Текст] / Ш. Ш. Насиров // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2011. – № 9 (86). – С. 195-201.

23. Процедура фазифікації / дефазифікації балів шкал оцінювання [Текст] / В. В. Камишин, О. М. Рева, Л. М. Макаренко та інші // Електроніка та системи управління. – К. : НАУ, 2012. – № 3. – С. 53–62.

24. Reva, O. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirabi-lity Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution [Text] / O. Reva, S. Borsuk, V. Kharchenko // Logistics and Transport. – Poland, Wroclaw. The International

University of Logistics and Transport, 2015. – No. 1 (25). – P. 63-69.

25. Теоретические модели групповых систем предпочтений авиадиспетчеров, базирующиеся на классических критериях принятия решений [Текст] / А. Н. Рева, В.В. Камышин, Ш. Ш. Насиров и др. // Elmi məstmuələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin. – Baki (in Azerbaijan), iyul – sentyabr 2012. – Vol. 14, no. 3. – P. 37-45.

References

1. Reva, A. N., Tumyishev, K. M., Bekmuhambetov, A. A. *Chelovecheskiy faktor i bezopasnost poletov: Proaktivnoe issledovanie vliyaniya : monografiya* [Human factor and safety : Proactive impact research : monograph]. Almaty, 2006. 242 p. (in Kazakhstan)

2. *Investigation Of Human Factors In Accidents And Incidents. Human Factors Digest No. 7 : Cir. ICAO 240-AN/144*. Montreal, Canada, 1993. Available at: https://skybrary.aero/bookshelf/books/2037.pdf (accessed 14.05.2019).

3. *Global Aviation Safety Plan (GASP) 2017-2019 : Doc. ICAO 10104.* Montreal, Canada, 2016. Available at: https://www.icao.int/safety/Pages/GASP.aspx (accessed 14.05.2019).

4. *Accident prevention manual: Doc. ICAO 9422-AN/923*. Montreal, Canada, 1984. Available at: https://www.worldcat.org/title/accident-prevention-manual-doc-9422-an923/oclc/850781874 (accessed 14.05.2019).

5. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Shtulgin, V. A., Mirzoev, B. M., Mukhtarov, P. Sh., Nasirov, Sh. Sh. Stavlennia aviatsiinykh operatoriv «perednoho kraiu» do nebezpechnykh dii abo umov profesiinoi diialnosti – holovnyi chynnyk zabezpechennia bezpeky polotiv [The attitude of the "front edge" aviation operators to dangerous actions or conditions of professional activity – the main factor of flights safety]. *Materialy 8 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti (MINTT-2016)»* [Proc. 8th International scientificpractical conference «Modern information and innovative technologies in transport MINTT-2016)»]. May 24-26, Kherson, State Marine Academy Publ., 2016, pp. 90-97. (In Ukraine).

6. Reva, O., Borsuk, S., Mirzayev, B., Mukhtarov, P. New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation. *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation*, July 27–31, 2016, Walt Disney World, Florida, USA, pp. 137-147.

7. Borsuk, S. P. New Methods for Air Traffic Controller Main Solution Taking Dominant Determination Concerning Their Attitude to Risk. *Logistics and Transport*, 2017, no. 1, pp. 25-29.

8. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Nasirov, Sh. Sh., Seleznov, G. M. Teoretychne obgruntuvannia systemno-informatsiinoi kvalimetrii liudskoho chynnyka v aeronavihatsiinykh systemakh [A theoretical grounding of system-informative qualimetry of human factor is in the aeronavigation systems]. *Materiali 8 Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti, tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia SEUTTOO-2017»* [Proc. 8th International scientific-practical conference «Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their maintenance MEITTEM-2017»]. Kherson, Kherson State Marine Academy Publ., 2017, pp. 127-132. (In Ukraine).

9. Reva, O., Borsuk, S., Shulgin, V., Nedbay, S. 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*, July 24–28, 2019, Washington D.C., USA, pp. 783-793.

10. *Nadezhnost i effektivnost v tekhnike: Effektivnost tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in technology: a guidebook of 10 volumes. vol. 3. Efficiency of technical systems]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 328 p. (in Russia)

11. Nasirov, Sh. Sh. Pilotne vyznachennia system perevah aviadyspetcheriv Azerbaidzhanu na kharakternykh pomylkakh v protsesi upravlinnia povitrianym rukhom [Pilot definition of the systems of the preferences of the air traffic controllers of the Azerbaijan on the characteristic errors in managerial process by an air traffic]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2010, no. 7 (74), pp. 124-134. (In Ukraine).

12. Reva, A. N., Nasirov, Sh. Sh., Mirzoev, B. M., Nedbay, S. V. Empiricheskie modeli otsenki riska-neopredelennosti gruppovyih sistem predpochteniy aviadispetcherov [Empiric models of estimation of risk-vagueness of the group systems of preferences of air traffic controllers]. *Elmi məcmuələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademi-yasinin*, Baki, iyul – sentyabr 2012, vol. 14, no. 3, pp. 46-60. (in Azerbaijan)

13. Reva, O. M., Kamyishin, V. V., Nasirov, Sh. Sh. Mediana Kemeni yak hrupova systema perevah aviadyspetcheriv na mnozhyni kharakternykh pomylo [A median of Kemeni as group system of advantages of air traffic controllers is on the plural of characteristic errors]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2012, no. 4 (91), pp. 106-115 (In Ukraine).

14. Reva, A. N., Nasirov, Sh. Sh., Mirzoev, B. M. Jeffektivnost' metodov opredelenija gruppovyh sistem predpochtenij dispetcherov na opasnosti harakternyh oshibok, sovershaemyh v processe upravlenija vozdushnym dvizheniem [Efficiency of determination methods of controllers' preferences group systems based on the danger of characteristic errors in the process of air traffic control]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2018, no. 6 (150), pp. 93-103.

15. *Safety Management Manual (SMM) [Text] : Doc ICAO 9859 – AN/460. Fourth Edition (advance unedited)*. Montreal, Canada, 2018. Available at: https://www.icao.int/Pages/PageNotFoundError.aspx?reques-tUrl=https://www.icao.int/safety/SafetyManagement/Documents/Doc.9859.3rd%20Edition.alltext.en.pdf (accessed 14.05.2019).

16. Reva, O. M., Shulhin, V. A. Nasirov, Sh. Sh. Intehratyvnyj pidxid do ocinyuvannya pomylok aviadyspetcheriv po pokaznykax nebezpeky i chastoty [An integrative approach to assessing air traffic controllers' errors by hazard and frequency]. *Suchasni informacijni ta innovacijni texnolohiyi na transporti (MINNT - 2018)* : Collection of Proceedings of the X International Scientific and Practical Conference, May 29-31, 2018, Kherson, KSMA Publ., 2018, pp. 47-51. (In Ukraine)

17. Reva, A. N., Nasyrov, Sh. Sh., Myrzayev, B. M., Nedbay, S. V. Defazzifikatsiya lingvisticheskih pokazateley nezhelatelnyih sobyitiy dlya polucheniya ih integrativnoy otsenki (na primere harakternyih oshibok aviadispetcherov) [Defuzzification of linguistic indicators of undesirable events for receiving their integration evaluation (on the example of characteristic errors of air traffic controllers)]. *XXIII Mizhnarodnyj konhres dvyhunobudivnykiv* [XXIII International propulsion engineering congress]. Abstracts., Koblevo, September 4-9, 2018, NAU KhAI Publ., pp. 74 (In Ukraine)

18. Reva, O. M., Kamishyn, V. V., Nasirov, Sh. Sh., Nevynitsyn, A. M Pryiniattia rishen: systemy perevah aviadyspetcheriv na pokaznykakh chastoty i nebezpek kharakternykh pomylok [Decision-Making: System of Preferences of Air Traffic Controllers on Indicators of Frequency and Danger of Characteristic Errors]. *Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI'2019) : Abstracts of XIV International scientific conference, dedicated to the 90th anniversary of Academician Yuri Krivonos*, Zheleznii Port, May 21-25, 2019, Kherson, FOP Vyshemirsky Publ., pp. 159-161. (In Ukraine)

19. Berzh, K. *Teoryya hrafov y ee prymenenye* [Graph Theory with Application, translation from French]. Moscow, FL, 1962. 320 p. (in Russia)

20. Blyumberg, V. A., Glushchenko, V. F. *Kakoe reshenie luchshe? Metod rasstanovki prioritetov* [What is the best solution? Method of arrangement of priorities]. Leningrad, Lenizdat Publ., 1982, 160 p. (in Russia.)

21. Zadeh, L. *Ponyatye lynhvystycheskoj peremennoj y eho prymenenye k prynyatyyu pryblyzhennыx reshenyj* [The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning]. Moscow, Myr Publ., 1976. 165 p. (in Russia)

22. Nasyrov, Sh. Sh. Vyznachennia koefitsiientiv vazhlyvosti kharakternykh pomylok aviadyspetcheriv v protsesi upravlinnia povitrianym rukhom [Determination of coefficients charakteristik errors of air traffic controllers in the process of air traffic control]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2011, no. 9 (86), pp. 195-201. (In Ukraine)

23. Kamyshyn, V. V., Reva, O. M., Makarenko, L. M., Medvedenko, O. M. Protsedura fazyfikatsii / defazyfikatsii baliv shkal otsiniuvannia [The procedure of phasification / dephasing of scoring points]. *Elektronika ta systemy upravlinnia – Electronics and control systems*, Kyiv, NAU Publ., 2012, vol. 3, pp. 53–62. (In Ukraine)

24. Reva, O., Borsuk, S., Kharchenko V. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirability Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution. *Logistics and Transport, Poland, Wroclaw. The International University of Logistics and Transport*, 2015, no. 1 (25), pp. 63-69.

25. Reva, A. N., Kamishyn, V. V., Nasyrov, Sh. Sh., Alekseev, D. S. Teoreticheskie modeli gruppovyih sistem predpochteniy aviadispetcherov, baziruyuschiesya na klassicheskih kriteriyah prinyatiya resheniy [Theoretical models of the group systems of preferences of air traffic controllers, being based on the classic criteria of decision making]. *Elmi məcmuələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin*, Baki, iyul - sentyabr 2012, vol. 14, no. 3, pp. 37-45. (in Azerbaijan)

Надійшла до редакції 05.08.2019, розглянута на редколегії 14.10.2019

ПРЕВЕНТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЗНАЧИМОСТИ ХАРАКТЕРНЫХ ОШИБОК АВИАДИСПЕЧЕРОВ

А. Н. Рева, В. В. Камышин, А. Н. Невиницын, С. В. Недбай

Обосновано, что главным фактором, поясняющим влияние авиационных операторов «переднего края» на взаимодействие составляющих концепции безопасности полетов ICAO является их «отношение к опасным действиям или условиям». К этому «отношению» отнесены и системы предпочтений на показателях и характеристиках профессиональной деятельности. Исходя из рекомендаций ICAO и статистики авиационных происшествий и серьезных инцидентов, возникающих при управлении воздушным движением, был сформирован спектр из n=21 характерных ошибок авиадиспетчеров, который наиболее полно и всесторонне иллюстрирует их неправильные решения. Ориентируясь на лингвистические показатели ICAO, определяющие уровни частоты и опасности нежелательных событий, обосновано проведение их дефаззификации путем применения взвешенных коэффициентов значимости ошибок для определения индивидуальных и групповых систем предпочтений. Коэффициенты определены на пятой итерации применения математического метода расстановки приоритетов. К эксперименту было привлечено m=37 профессиональных авиадиспетчеров. Для обобщения их мнений о частоте и опасности ошибок был реализован мультипликативный подход, который в отличие от аддитивного позволяет получить более осторожные результаты. Построены групповые системы испытуемых авиадиспетчеров по показателям частоты и опасности характерных ошибок, которые не совпадают. Введен показатель неразличимости. установлено, что его значение для исследования частоты ошибок в групповой системе предпочтений равняется величине $R^*_{LF} = 1{,}23 \cdot 10^{-2}$, а для анализа опасности ошибок – в

три раза худших и равняется $R^*_{LD} = 3{,}77 \cdot 10^{-2}$. Интегративный (целостный) показатель значимости каждой ошибки мультипликативно обобщает ее коэффициенты значимости по показателям частоты и опасности. Что дало возможность построить конечную групповую систему предпочтений, в которой степень неразличимости ошибок равняется $R^*_g = 0{,}91 \cdot 10^{-2}$, что свидетельствует про эффективность предложенного подхода к реализации рекомендаций ICAO по учету в процессах управления безопасностью полетов частоты и опасности нежелательных событий. Полученные результаты предлагается променять для создания методологии анализа «дерева событий» в системе управления безопасностью полетов.

Ключевые слова: безопасность полетов; человеческий фактор; авиадиспетчер; принятие системы предпочтений; характерные ошибки; частота проявления и угрозы для безопасности полетов; коэффициенты значимости; мультипликация; интегративная оценка; показатель неразличимости.

PREVENTIVE ASSESSMENT OF THE INTEGRATED SIGNIFICANCE OF AIR TRAFFIC CONTROLLERS' CHARACTERISTIC ERRORS

O. Reva, V. Kamyshin, A. Nevynitsyn, S. Nedbay

It is substantiated that the main factor explaining the impact of "front-line" aviation operators on the interaction of ICAO flight safety concept components is their "attitude to dangerous activities or conditions". To this "attitude" is assigned a preference system based on indicators and characteristics of professional activity. Based on ICAO recommendations and statistics on accidents and serious incidents during the organization of air traffic, a spectrum of n = 21 characteristic errors of air traffic controllers was formed, which most fully and comprehensively illustrates their erroneous decisions. Focusing on the linguistic indicators of ICAO to determine the levels of frequency and danger of adverse events, it is reasonable to carry out their defuzzification by using weighted error significance factors to determine individual and group preference systems. The coefficients are determined at the fifth iteration of the application of the mathematical method of prioritization. m=37 of professional air traffic controllers were involved in the experiment. To summarize their opinions regarding the frequency and danger of errors, a multiplicative approach was implemented, in contrast to the additive approach, more accurate results are obtained. The group systems of preferences of the tested air traffic controllers were constructed in terms of the frequency and dangers of characteristic errors that do not coincide. Indistinguishability indicator was introduced. It is found that its value for the study of the frequency of errors in the group system of advantages is equal to the value $R^*_{LF} = 1{,}23 \cdot 10^{-2}$, and for the analysis of the risks of errors - three times worse and equal $R^*_{LD} = 3{,}77 \cdot 10^{-2}$. An integrative (holistic) indicator of the significance of each error summarizes its coefficients of significance for the frequency and hazard indicators and is multiplicative. Which made it possible to build the ultimate group benefits system. The degree of indistinction of the significance of errors in it is equal $R^*_g = 0{,}91 \cdot 10^{-2}$, which testifies to the effectiveness of the proposed approach to the implementation of the recommendations of ICAO on the consideration in the processes of safety management of the frequency of flights and from the top of adverse events. It is proposed to use the obtained results to create a methodology for analyzing the "event tree" in flight safety management systems.

Keywords: flight safety; human factor; air traffic controllers; decision making; system of preferences; characteristic errors; frequency and hazard of consequences; coefficients of significance; multiplication; integrative assessment.

Рева Олексій Миколайович – д-р техн. наук, професор, головний науковий співробітник Державної наукової установи «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, Україна.

Камишин Володимир Вікторович – д-р пед. наук, канд. техн. наук, ст. наук. співр., виконуючий обов'язки директора Державної наукової установи «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», Київ, Україна.

Невиніцин Андрій Миколайович – канд. техн. наук, доцент, декан факультету обслуговування повітряного руху Льотної академії Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна.

Недбай Сергій Валерійович – менеджер з безпеки Льотної школи «Кондор», Київ, Україна.

Oleksii Reva – Doctor of technical sciences, professor, Principal researcher at Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information, Kyiv, Ukraine, e-mail: ran54@meta.ua; ORCID Author ID: 0000-0002-5954-290X.

Volodimir Kamyshin – Doctor of Education, Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior researcher, Acting director of Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information, e-mail: kvv@ukrintei.ua, ORCID Author ID: 0000-0002-8832-9470.

Andrii Nevynitsyn – Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Dean of the Faculty of Air Traffic Services Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi, Ukraine, e-mail: nevatse@ukr.net; ORCID Author ID: 0000-0001-7000-4929.

Serhiy Nedbay – Safety Manager, Flight school "Condor", Kyiv, Ukraine, e-mail: s.nedbay@outlook.com, ORCID Author ID: 0000-0001-6141-7609.