

О. М. РЕВА, д-р техн. наук, проф.

Б. М. МІРЗОЄВ, канд. техн. наук

П. Ш. МУХТАРОВ

Ш. Ш. НАСІРОВ

НЕЧІТКА МОДЕЛЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО РОЗВ'ЯЗАННЯ “ТРИКУТНИКА РИЗИКІВ” ІСАО В УМОВАХ ПОРУШЕННЯ НОРМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Резюме. З урахуванням превалюючого впливу людського чинника на виникнення абсолютної більшості авіаційних подій і серйозних інцидентів визначено провідну роль такого складника поточної концепції безпеки польотів ІСАО, як “ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов”, що добре пояснює взаємний вплив інших складників цієї парадигми. Складники зазначеного “ставлення” визначаються через показники впливу людського чинника на прийняття рішень авіаційними операторами “переднього краю”, зокрема диспетчерами обслуговування повітряного руху. Такий підхід є закономірним, оскільки: по-перше, професійну діяльність авіадиспетчера нескладно уявити як безперервний ланцюг рішень; по-друге, за статистикою, небажані авіаційні події є наслідком саме хибних рішень; по-третє, абсолютна більшість експертів з авіаційної безпеки вважає, що йдеться не про те, що авіаційні оператори “переднього краю” взагалі не приймають рішень, а про те, що ці рішення несвоєчасні, неправильні, неефективні тощо.

У контексті цієї публікації розглянуто такий складник прийняття рішень, як нечіткі моделі оцінювання ризику, зокрема порушень стандартних експлуатаційних процедур, а саме — норм ешелонування повітряних суден. Застосовуючи модифікатор “дуже” та методологію нечіткої математики, сформовано шкалу (терм-множину) лінгвістичної змінної “рівень небезпек”. Розмірність шкали більша за рекомендовану ІСАО, що дає змогу здійснити більш детальний аналіз небезпек порушень норм ешелонування. З іншого боку, редукція шкали не викликає труднощів за умов застосування нечітких операцій “концентрації”, “розтягнення”, “об’єднання”. Адаптувавши для потреб досліджень відому шкалу Купера–Харпера, було проведено опитування $n = 70$ професійних авіадиспетчерів, співробітників Єдиної системи керування повітряним рухом Азербайджанської Республіки, які висловили своє ставлення до небезпек порушень норм ешелонування повітряних суден $S = 20$ km ACC, APP у вигляді “точки на шкалі параметра”, що сприяло застосуванню так званої матриці підказок для побудови функцій належності лінгвістичної змінної “рівень небезпек” із гладкими спадаючими фронтами.

Встановлено, що всі точки перетину функцій належності сусідніх термів лінгвістичної змінної “рівень небезпек” більші за “точку переходу” Л. Заде, тому відстані між ними, встановлені на континуумі досліджуваної норми ешелонування, “скоріше належать” відповідній лінгвістичній оцінці встановленої шкали небезпек. Редукція зазначеної шкали до розмірності ІСАО сприяла вирішенню відповідного “трикутника ризиків”.

Ключові слова: безпека польотів, людський чинник, авіадиспетчер, повітряне судно, нечіткі моделі порушення норм ешелонування, “трикутник ризиків”.

ВСТУП

Статистика авіаційних подій (АП) і серйозних інцидентів (СІ) переконливо свідчить, що збої в діяльності саме авіаційних операторів (АО) “переднього краю” (авіадиспетчерів (А/Д), членів льотного екіпажу) в абсолютній більшості випадків є превалюючими чинниками цих подій. На жаль, така сумна статистика в найближчому майбутньому може “відсвяткувати” 100-літній ювілей. Адже, попри те, що на сьогодні загальний рівень безпеки польотів (БП) безсумнівно

вищий за той, яким він був, скажімо, 80 років тому, роль людського чинника (ЛЧ) у виникненні АП і СІ фактично не змінилася.

Саме тому ефективна система керування БП (КБП) має бути здатною визначати і виправляти всі можливі системні недоліки в процесах функціонування авіаційної транспортної системи (АТС), особливо ті з них, що впливають на характеристики працездатності АО “переднього краю” та їх ставлення до стандартних експлуатаційних процедур (СЕП).

Ось чому актуальним завданням авіаційних дослідників і фахівців є мінімізація чи запобігання всіх видів людських помилок, що можуть поставити під загрозу БП. Причому правильне розуміння передбачуваних аспектів можливостей та обмежень АО “переднього краю”, зокрема здатності (відповідно до вимог ІСАО) “ментально передбачувати ризик”, та застосування цього розуміння в експлуатаційному середовищі є головними проблемами ЛЧ [1].

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Оскільки діяльність АО “переднього краю” можна розглядати як безперервний ланцюг прийняття рішень (ПР), що виробляються і реалізуються в явних і неявних формах і під впливом багаточисельних чинників найрізноманітнішої природи (зовнішніх / внутрішніх, об’єктивних / суб’єктивних), особливо ризиків стохастичного і нестохастичного характеру, то також актуально варто вважати проблему керування ризиками, а отже, КБП [2; 3]. Адже, дійсно, якщо відповідно до [4–6] під ризиком розуміти можливість настання небажаної події, то з деякими з ризиків потрібно рахуватися, деякі з них можуть бути усунені, а ступінь деяких має бути зменшена до величини, за якої вони стають прийнятними. Тобто йдеться про управління ризиками, що має відбуватися в межах системи КБП (СКБП).

Термін “керування ризиком” передбачає якусь об’єктивну логіку та аналіз, особливо під час оцінювання ризиків. Однак одержання відповідної інформації, необхідної для кількісного аналізу, може виявитися неможливим щодо деяких видів ризику, особливо в авіації, де багато АП і СІ трапляються дуже рідко, а тому про них часто немає жодних історичних або статистичних даних. Визначення прийнятного ступеня ризику в цьому випадку часто є суб’єктивним процесом, який може відрізнятись в умовах різних культур і суспільств [7; 8].

Прийнятність певної міри ризику може також змінюватися з часом, наприклад, коли авіакомпанія розширює свою діяльність шляхом переходу з турбогвинтових літаків на реактивні. Або коли, скажімо, органи обслуговування повітряного руху (ОПР) одержують нові автоматизовані системи (АС) управління повітряними суднами (ПС).

Наведене, з одного боку, одразу ж підвищує інтенсивність польотів [1–3], зокрема шляхом введення більш суворих норм ешелонування ПС (НЕПС).

Однак, зауважимо, що, з іншого боку, головним недоліком усіх зазначених нововведень є те, що АО “переднього краю”, зокрема А/Д відводиться роль “ідеального виконавця” нових

СЕП (НЕПС) і абсолютно не враховується його ставлення до цих нововведень.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

ІСАО вважає, що першим кроком у процесі керування ризиком є проведення об’єктивної оцінки загроз БП. Зазвичай оцінка загрози передбачає визначення ступеня ймовірності (шансу) ризику небезпечної події, серйозність наслідків цієї події та ступінь схильності до ризику (що в дійсності є одним із вимірювань ймовірності (шансу) небажано події). Другим кроком є оцінка відповідного ризику і визначення того, чи готова авіаційна організація погодитися з потенційними негативними наслідками ризику в порівнянні з очікуваними вигодами. Третій крок включає виявлення загроз та їх усунення. І якщо якась із виявлених загроз не може бути усунена, то четвертим кроком буде пошук способів зниження ступеня загрози шляхом зниження ймовірності (шансів) їх реалізації або зниження серйозності їх наслідків у разі реалізації цих погроз. У деяких випадках ступінь ризику може бути зменшений шляхом розробки засобів і заходів безпечного вирішення загрози [9].

З метою забезпечення заходів із керування ризиками ІСАО ввела в практику оцінки загроз і небезпек “трикутник ризиків”, де розглядаються три його градації: неприйнятний, допустимий, прийнятний. Рішення “трикутника” здійснюються, спираючись на поєднання якісних показників безпеки і частоти настання небажаної події (табл. 1–3) [2].

Зазначені в табл. 1, 2 якісні показники — суть лінгвістичні шкали, які можна представити

Таблиця 1

Якісні (лінгвістичні) категорії ймовірності (шансів) чинників ризику для безпеки польотів (ІСАО)

Категорія ризику	Характеристика	Ступінь (величина)
1	2	3
Часто	Може відбутися багато разів (відбувалося часто)	5
Іноді	Може відбутися час від часу (відбувалося нечасто)	4
Вельми рідко	Малоймовірно, але можливо, що відбудеться (відбувалося рідко)	3
Малоймовірно	Вельми мала ймовірність, що відбудеться (немає інформації, що відбулося)	2
Украй мало-ймовірно	Можливість настання події майже виключена	1

як терм-множини (ТМ — множини термінів) відповідних лінгвістичних змінних (ЛЗ):

- для оцінки рівнів небезпек (РН) чинників ризику:

$$T^M(PH) = \begin{matrix} \tilde{R}_K \\ \tilde{R}_C \end{matrix} + \begin{matrix} \tilde{R}_{НБ} \\ \tilde{R}_{НЗ} \end{matrix} + \begin{matrix} \tilde{R}_M \\ \tilde{R}_M \end{matrix} + \begin{matrix} \text{катастрофічний} \\ \text{суттєвий} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{небезпечний} \\ \text{незначний} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{мізерний} \\ \text{мізерний} \end{matrix} \quad (1)$$

- для оцінки рівня частоти (РЧ) чинників ризику:

Таблиця 2

Якісні (лінгвістичні) категорії серйозності чинників ризику для безпеки польотів (ІСАО)

Серйозність події	Характеристика наслідку	Ступінь (величина)
1	2	3
Катастрофічна	– Знищення устаткування; – численні людські жертви	A
Небезпечна	– Суттєве зменшення “запасу міцності безпеки”, фізичний стрес або таке робоче навантаження, що немає впевненості в правильному і вірному виконанні виробничим персоналом своїх задач; – серйозні тілесні ушкодження; – значний збиток устаткуванню	B
Суттєва	– Суттєве зменшення “запасу міцності безпеки”, виробничий персонал неповною мірою здатний подолати несприятливі виробничі умови із-за збільшення робочого навантаження або внаслідок умов, що знижують ефективність його праці; – серйозний інцидент; – тілесні ушкодження	C
Незначна	– Незручність; – виробничі обмеження; – застосування правил на випадок аварійної ситуації; – незначний інцидент;	D
Мізерна	– Малозначущі наслідки	E

$$T^M(PЧ) = \begin{matrix} \tilde{R}_Ч \\ \tilde{R}_{МВ} \end{matrix} + \begin{matrix} \tilde{R}_I \\ \tilde{R}_{УМ} \end{matrix} + \begin{matrix} \tilde{R}_{ДР} \\ \tilde{R}_{УМ} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{часто} \\ \text{+ малоімовірно} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{іноді} \\ \text{+ у край} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{дуже} \\ \text{+ малоімовірно} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{рідко} \\ \text{+ малоімовірно} \end{matrix} \quad (2)$$

де “+” — позначка операції логічного об’єднання термів у шкалу;

\tilde{R}_i — позначка терму (лінгвістичної оцінки) РН або РЧ відповідної шкали.

Проте, запропонований ІСАО підхід має ряд недоліків [3; 10; 11]:

1) самі шкали побудовані без урахування головних положень теорії вимірювань, теорії ЛЗ і нечітких множин;

2) якісним показникам не поставлені у відповідність кількісні, тобто не побудовані відповідні функції належності (ФН);

3) віднесення того чи іншого поєднання лінгвістичних показників безпеки та частоти небажаної події до встановлених рівнів ризику не обґрунтовані тощо.

У праці [12] задекларовано необхідність побудови ТМ ЛЗ “РН” і “РЧ” чинників ризику, запропонованих ІСАО, виду (1), (2) і на їх основі — відповідних ФН. Однак, при цьому не вказано, з одного боку, при якому саме аргументі з фізично вимірюваним і зрозумілим змістом варто будувати шукані ФН, а з іншого — у чому саме полягатиме особливість їх об’єднання в інтегральний показник за допомогою методу Дюбуа–Прадта [13; 14].

Наведена проблема вирішена у працях [5; 10; 15–17 та ін.], а саме:

- по-перше, було обґрунтовано архітектуру взаємодії складників поточної парадигми БП ІСАО, де на чільне місце поставлено “ставлення авіаційного персоналу до небезпечних дій або умов” (рис. 1);
- по-друге, зазначене “ставлення” — суть показників впливу ЛЧ на ПР, одним з яких є нечіткі оцінки (моделі) ризику (НОР);

Таблиця 3

Матриця ризиків як модель запропонованого ІСАО рішення “трикутника ризиків”

Рівні “трикутника ризиків”	Індекс оцінки ризику	Пропоновані критерії
1	2	3
НЕПРИПУСТИМА ЗОНА	5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3C	Неприйнятний за наявних умов
ПРИПУСТИМА ЗОНА	5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C	Прийнятний на основі заходів зі зменшення ризику. Може бути потрібним рішення керівництва
ПРИЙНЯТНА ЗОНА	3D, 2E, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E	Прийнятний

обґрунтуванні актуальності наших досліджень. Тому метою цієї публікації є побудова нечітких моделей оцінки ставлення професійних А/Д до небезпек порушення НЕПС $S = 20 \text{ km}$ і вирішення за їх допомогою “трикутника ризиків” ІСАО.

ПОБУДОВА НЕЧІТКИХ МОДЕЛЕЙ НЕБЕЗПЕК ПОРУШЕННЯ НОРМИ ЕШЕЛОНУВАННЯ $S = 20 \text{ KM}$ ДЛЯ РІШЕННЯ “ТРИКУТНИКА РИЗИКІВ”

Досліджувана НЕПС відповідає відстані між літаками, що крокують одним ешелонам встановленими маршрутами ОПР в диспетчерських районах АСС (Area Control Center — районний диспетчерський центр), APP (APP Approach Control — диспетчерське обслуговування заходу на посадку). І якщо зазначена НЕПС витримується А/Д у процесі ОПР, тобто реальна відстань між ПС дійсно не гірша за нормативну ($S \geq 20 \text{ km}$), то йдеться про належне забезпечення БП. У протилежному випадку, коли норматив не виконується, тобто $S < 20 \text{ km}$, то виникають ризики потенційно-конфліктних і навіть катастрофічних ситуацій, небезпеку яких потрібно обов’язково оцінити.

Для аналізу відповідних небезпек порушень досліджуваної НЕПС нами з урахуванням відповідних критеріїв, поданих у працях [5; 18; 19], було введено спеціальну шкалу, яка представляє ТМ ЛЗ “РН”:

$$T^M(PH) = \begin{matrix} \tilde{R}_{ДВ} & & \tilde{R}_B \\ \text{дуже високий} & + & \text{високий} \\ \tilde{R}_{BC} & & \tilde{R}_C \\ \text{вище за середній} & + & \text{середній (звичайний)} \\ \tilde{R}_{HC} & & \tilde{R}_H & & \tilde{R}_{ДН} \\ \text{нижче за середній} & + & \text{низький} & + & \text{дуже низький} \end{matrix} \quad (3)$$

Прийнята нами шкала більша за розмірністю шкали (1), запропонованої ІСАО, однак дозволяє провести більш детальний аналіз порушень. З іншого боку, під час її формування були застосовані нечіткі операції [5; 13]:

- концентрації:

$$\mu_{\tilde{R}_{ДВ}}(S) = \mu_{\tilde{R}_B}^2(S); \quad (4)$$

- розтягнення:

$$\mu_{\tilde{R}_{ДН}}(S) = \mu_H^{0,5}(S) \quad (5)$$

- об’єднання:

$$\mu_{\tilde{R}_i \cup \tilde{R}_j}(S) = \text{MAX}(\mu_{\tilde{R}_i}(S), \mu_{\tilde{R}_j}(S)). \quad (6)$$

де $\mu_{\tilde{R}_k}(S)$ — ФН, тобто число з інтервалу $[0, 1]$, що вказує на ступінь належності конкретної дистанції S між ПС до нечіткого терму (лінгвістичного показника РН) \tilde{R}_k .

Тоді за необхідність редукції шкали (3) до розмірності шкали ІСАО (1) виконуються нечіткі операції, зворотні операціям (4) і (5), а також операція (6).

До досліджень було залучено 70 професійних А/Д. Використовуючи модифіковану нами під завдання досліджень шкалу Купера–Харпера [20] (рис. 2), вони мали показати своє ставлення до порушень досліджуваної НЕПС, користуючись шкалою РН (3).

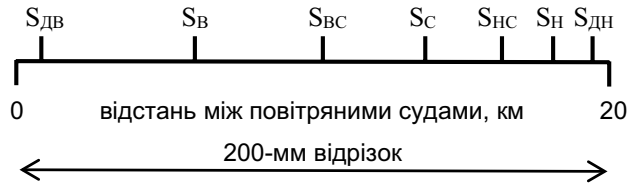


Рис. 2. Ілюстрація процедури застосування шкали Купера–Харпера для збору експертної інформації щодо небезпек порушення норми ешелонування $S = 20 \text{ km}$

Таким чином, збір експертної інформації організований нами у вигляді “точки на шкалі параметра” [5; 10; 19], що зумовило вибір так званої матриці підказок [21] для побудови ФН ЛЗ “РН”, представлених на рис. 3 а. Їх аналіз проведемо, спираючись на точку переходу Л. Заде [22]: $\mu_{\tilde{R}_k}(S) = 0,5$.

Тобто, якщо деяка дистанція S матиме значення ФН $\mu(S) > 0,5$, то вона “швидше належить” деякому терму (лінгвістичній характеристиці РН) \tilde{R}_k , а якщо — ні, тобто $\mu(S) \leq 0,5$, то “скоріше не належить” даному терму.

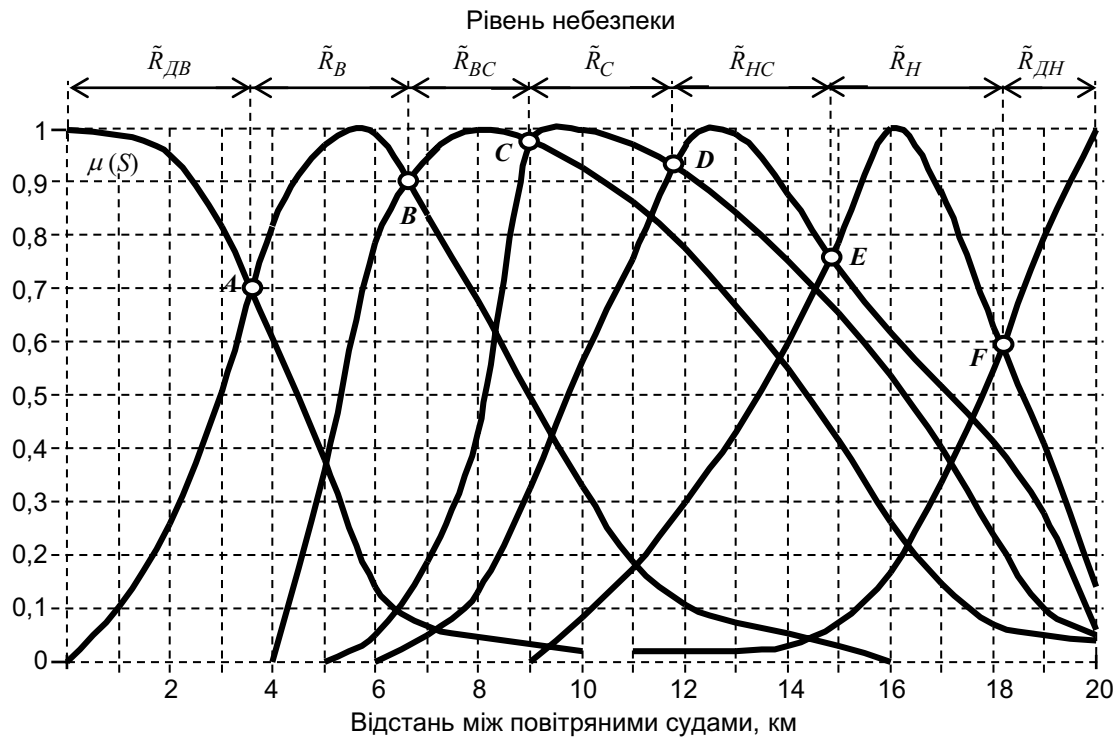
З аналізу ординат досліджуваних точок на рис. 3 впливає, що всі вони мають значення ФН, які перевищують “точку переходу”:

$$\begin{aligned} \mu(S_A = 3,49 \text{ km}) &= 0,70 > 0,5 \\ \mu(S_B = 6,58 \text{ km}) &= 0,90 > 0,5 \\ \mu(S_C = 8,90 \text{ km}) &= 0,97 > 0,5 \\ \mu(S_D = 11,64 \text{ km}) &= 0,94 > 0,5 \\ \mu(S_E = 14,79 \text{ km}) &= 0,76 > 0,5 \\ \mu(S_F = 18,08 \text{ km}) &= 0,59 > 0,5 \end{aligned}$$

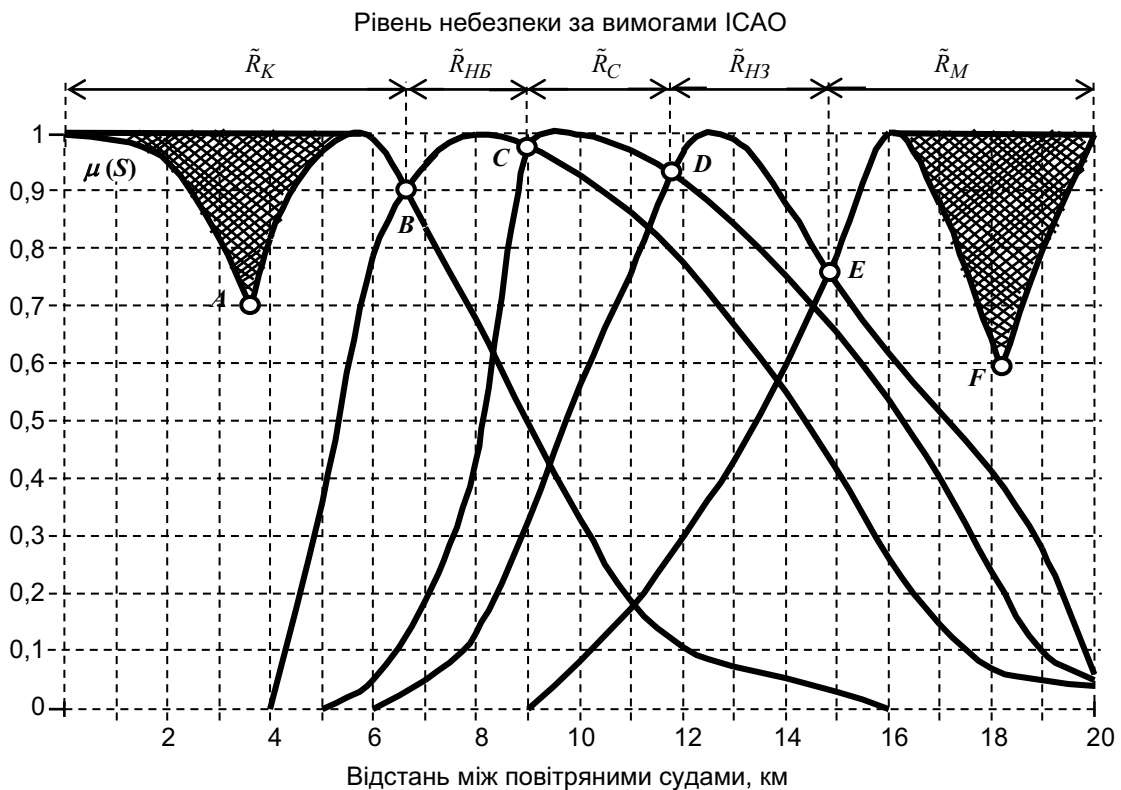
По-перше, це означає, що випробувані А/Д чітко уявляють і розрізняють усі РН порушень досліджуваної НЕПС $S = 20 \text{ km}$, що визначаються шкалою (3). По-друге, інтервали між перетинанням ФН сусідніх термів дають фізичне уявлення про виниклий РН (табл. 4).

Таким чином, можна вважати виконаним одне з завдань цієї публікації.

Для здійснення редукції шкали (3) до розмірності шкали (1) слід з парами крайніх тер-



а)



б)

Рис. 3. Функції належності лінгвістичної змінної «рівень небезпек» як нечіткі моделі ставлення авіадиспетчерів до порушень норми ешелонування $S = 20 \text{ km}$: а) для запропонованої шкали рівнів небезпек; б) для шкали ICAO

Кількісно-якісний аналіз рівнів небезпек в умовах порушення норми ешелонування
 $S = 20 \text{ km}$

Оцінка рівня небезпеки	якісна	\tilde{R}_{DB}	\tilde{R}_B	\tilde{R}_{BC}	\tilde{R}_C	\tilde{R}_{HC}	\tilde{R}_H	\tilde{R}_{DH}
	кількісна, км		$S \leq 3,49$	$< S \leq 6,58$	$< S \leq 8,90$	$< S \leq 11,64$	$< S \leq 14,79$	$< S \leq 18,08$

мів (\tilde{R}_{DB} і \tilde{R}_B , а також \tilde{R}_H і \tilde{R}_{DH}) провести нечіткі операції, зворотні концентрації (4) і розтягання (5), а також скористатися нечіткою операцією об'єднання (6) [5; 13; 15; 18; 19 та ін.] (рис. 4).

$$\begin{array}{ccccc}
 \tilde{R}_C & \tilde{R}_{OB} \cup \tilde{R}_B & \tilde{R}_C & \tilde{R}_H \cup \tilde{R}_{OH} & \tilde{R}_{HH} \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 \tilde{R}_K & \tilde{R}_O & \tilde{R}_C & \tilde{R}_{H3} & \tilde{R}_M
 \end{array}$$

Рис. 4. Схема редукції шкали оцінки рівнів небезпек до розмірності, рекомендованої ICAO

Провівши необхідні нечіткі перетворення, отримаємо нову нечітку модель оцінки А/Д РН порушення НЕПС $S = 20 \text{ km}$ (рис. 3 б).

З огляду на досвід досліджень [5; 10; 11 та ін.] та графу 1 табл. 3, нескладно отримати рішення “трикутника ризиків” ICAO (рис. 5).

Таким чином, мету дослідження варто вважати досягнутою. Причому варто констатувати,

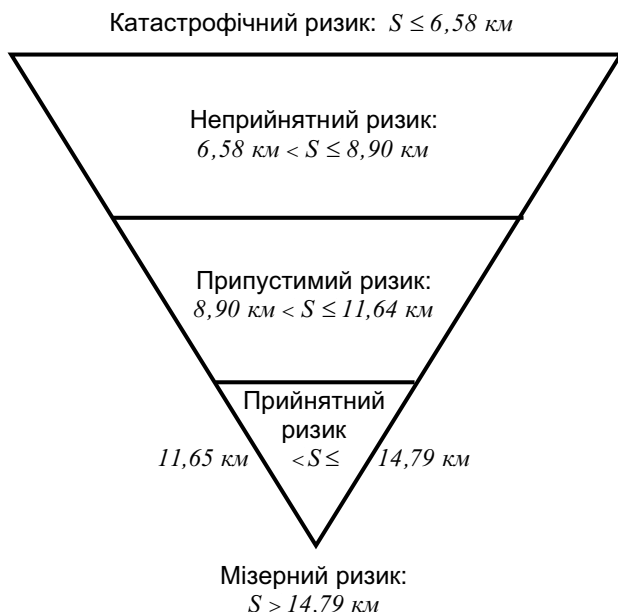


Рис. 5. Емпірична модель рішення “трикутника ризиків” ICAO для умов порушення норми ешелонування $S = 20 \text{ km}$

що, отримані результати є методичним забезпеченням проактивного контролінгу заходів щодо забезпечення БП і проведення професійної підготовки А/Д в АНС.

З іншого боку, варто враховувати ставлення А/Д до припустимого ризику порушення НЕПС, який майже вдвічі менший за досліджувану норму. Це відкриває перспективи для інтенсифікації повітряного руху, безумовно, за умов обладнання робочих місць А/Д більш досконалим устаткуванням. Про те, що вони до цього морально готові, переконливо свідчать отримані результати досліджень.

ВИСНОВКИ

1. Представлені в цій публікації нові наукові результати свідчать, що вперше в практиці проактивного контролінгу та забезпечення БП в АНС вирішено “трикутник ризиків” ICAO за допомогою нечітких моделей ставлення професійних А/Д до безпеки порушення НЕПС $S = 20 \text{ km}$, встановленої для ПС, що прямують за одним маршрутом і знаходяться на одному ешелоні в диспетчерському районі ОПР АРР ТМА. Причому, на відміну від результатів інших дослідників, ідеться про вирішення “трикутника” в добре зрозумілих для користувача і фізично вимірюваних показниках відстані між ПС.

2. Отримані результати викликають абсолютну довіру, оскільки всі точки перетину ФН сусідніх термів, відповідних визначеним РН, мають значення даних функцій, що перевищують “точку переходу” Л. Заде. Це свідчить про чітку диференціацію випробуваними А/Д всього континууму досліджуваної НЕПС з погляду їх оцінки якісними (лінгвістичними) характеристиками безпеки.

3. Випробувані А/Д морально готові до інтенсифікації повітряного руху на досліджуваній НЕПС $S = 20 \text{ km}$, про що переконливо свідчить їх ставлення до припустимого ризику її порушення, який, на їхню думку, майже удвічі менший за протяжність зазначеної норми.

4. Подальші дослідження доцільно проводити в напрямках рішення “трикутника ризиків” для всього діючого спектру НЕПС, причому з урахуванням не лише поздовжнього, а і бокового, і вертикального ешелонування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual : Doc. ICAO 9806–AN/763. — First Edition. — Montreal, Canada, 2002. — 138 p.
- Safety Management Manual (SMM) : Doc ICAO 9859–AN/460. — Fourth Edition (advance unedited). — Montreal, Canada, 2018. — 170 p.
- Safety Management: ICAO Annex 19 to the Convention of International Civil Aviation. — Second Edition. — Montreal, Canada, 2016. — 44 p.
- Корченко О. Г. Прикладні системи оцінювання ризиків /О. Г. Корченко, С. В. Казмірчук, Б. Б. Ахметов. — Київ : ЦП “Компринт”, 2017. — 435 с.
- Системно-інформаційна методологія проактивної кваліметрії впливу людського чинника на прийняття рішень в аеронавігаційних системах : монографія / О. М. Рева, С. П. Борсук, В. В. Камишин, В. А. Шульгін, В. Д. Пархоменко, В. О. Липчанський ; за наук. ред. О. М. Реви. — Київ : УкрІНТЕІ, 2019. — 166 с.
- Рева А. Н. Теоретическая модель выявления основной доминанты деятельности авиационного оператора в условиях риска / А. Н. Рева, П. Ш. Мухтаров, С. В. Недбай // *Elmi məsnuələr : Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin*, — Bakı, Oktyabr — Dekabr 2012. — No. 4. — С. 6473.
- Кросскультурные факторы и безопасность полетов // Человеческий фактор: сборник материалов № 16: Cir. ICAO 302 — AN / 375. — Монреаль, Канада, 2004.
- Перевірка гіпотези щодо впливу крос культурних чинників на ставлення авіадиспетчерів до небезпек помилок / О. М. Рева, В. В. Камишин, А. М. Невиніцин, В. А. Шульгін, Ш. Ш. Насіров // *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві — освіта, наука, практика : тези доп. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 9–12 верес. 2020 р.)*. — Херсон : ХДМА, 2020. — С. 165–174.
- Threat and Error Management (TEM) in Air Traffic Control : Cir. ICAO 314 — AN / 178. — Montreal, Canada, 2008. — 30 p.
- Features of ICAO “risk triangle” solution of human factors complicated standards of the airspace separation / A. Reva, B. Mirzayev, P. Mykhtarov, Sh. Nasirov // *Aviation in the XXI-st century: The sixth world congress. Safety in Aviation and Space Technologies (September, 23–25, 2014, Kyiv, Ukraine)*. — Kyiv : NAU, 2014. — P. 9.272–9.276.
- Актуальные направления разработки проактивных моделей решения “треугольника рисков” ИКАО / А. Н. Рева, В. И. Вдовиченко, С. П. Борсук, В. А. Шульгін, Б. М. Мирзоев, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насіров // *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : IV Всеукр. наук.-практ. конф. (Херсон, 9–11 жовт. 2013 р.)*. — Херсон : ХДМА, 2013. — С. 334–338.
- Чинченко Ю. В. Оцінювання загроз та ризиків на робочих місцях авіадиспетчерів за допомогою нечітких множин / Ю. В. Чинченко // *Вісник НАУ*. — 2011. — № 2. — С. 44–49.
- Kaufman A. Introduction a la théorie des sous-ensembles flous / A. Kaufman. — Paris : Masson, 1977. — 334 p.
- Dubois D. Théorie des possibilités. Applications à la représentation des connaissances en information tique / Dubois Didier, Prade Henri. — 2-e edition revue et augmenté. — Paris : Masson, 1988. — 248 p.
- 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. Мирзоев, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насіров // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Херсон, 24–26 трав. 2016 р.)* — Херсон : ХДМА, 2016. — С. 90–97.
- New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation / O. Reva, S. Borsuk, B. Mirzayev, P. Mukhtarov // *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation (Florida, USA, July 27–31, 2016)*. — Florida, USA, 2016. — P. 137–147.
- Проактивне визначення впливу досвіду управління повітряним рухом на ставлення до ризику / О. М. Рева, С. П. Борсук, Б. М. Мирзоев, П. Ш. Мухтаров // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. — 2018. — № 5 (149) — С. 80–87. <http://doi.org/10.32620/aktt.2018.5.12>.
- Борсук С. П. Свойства модификаторов составных термов лингвистических переменных / С. П. Борсук // *Електроніка та системи управління*. — 2012. — № 3 (33). — С. 152–157.
- Рева О. М. Нечіткі моделі ергономічної кваліметрії точності пілотування : монографія / О. М. Рева, В. В. Камишин, В. А. Шульгін, С. В. Недбай; за ред. О. М. Реви. — Рівне : Овід, 2010. — 106 с.
- Cooper G. E. Understanding and inter-pretting pilot opinion / G. E. Cooper // *Aeronautical Engineering Review*. — 1957. — No. 3. — P. 47–51.
- Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. — Рига : Зинатне, 1990. — 184 с.
- Zadeh L. A. Outline of a new approach to the analyses of complex system and decision processes / L. A. Zadeh // *IEEE Trans. System Man Cybernetics*. — 1973. — Vol. 3, № 1. — P. 28–44.

REFERENCES

- (2002). Human Factors Guidelines for Safety Audits Manual: Doc. ICAO 9806–AN/763. First Edition. Montreal, Canada, 138 p.
- (2018). Safety Management Manual (SMM): Doc ICAO 9859–AN/460. Fourth Edition (advance unedited). Montreal, Canada, 170 p.
- (2016). Safety Management: ICAO Annex 19 to the Convention of International Civil Aviation. Second Edition. Montreal, Canada, 44 p.
- Korchenko, O. H., Kazmirchuk, S. V., & Akhmetov, B. B. (2017). Prykladni systemy otsiniuvannia [Applied assessment systems]. Kyiv, 435 p.
- Reva, O. M., Borsuk, S. P., Kamyshyn, V. V., Shulhin, V. A., Parkhomenko, V. D., & Lypchanskyi, V. O. (2019). Systemno-informatsiina metodolohiia proaktyvnoi kvalimetrii vplyvu liudskoho chynnyka na pryiniattia rishen v aeronavihatitsiinykh systemakh [System-informational methodology of proactive qualimetry of the influence of the human factor on decision-making in aeronautical systems]. Kyiv, 166 p. [in Ukr.].
- Reva, A. N., Mukhtarov, P. Sh., & Nedbay, S. V. (2012). Teoreticheskaya model vyyavleniya os-

- novnoy dominanty deyatel'nosti aviatsionnogo operatora v usloviyakh riska [Theoretical model for identifying the main dominant activity of an aviation operator under risk conditions]. *Elmi məcmuələr: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasinin*. 4, 64–73. [in Russ.].
7. (2004). Krosskulturnye faktoryi i bezopasnost poletov [Cross-cultural factors and flight safety]. *Chelovecheskiy faktor* [Human factor]. No. 16: Cir. ICAO 302–AN/375. Montreal, Canada [in Russ.].
 8. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Nevynitsyn, A. M., Shulhin, V. A., & Nasirov, Sh. Sh. (2020). Perevirka hipotezy shchodo vplyvu kros kulturnykh chynnykiv na stavlennia aviadyspetcheriv do nebezpek pomyl'ok [Testing the hypothesis about the influence of cross-cultural factors on the attitude of air traffic controllers to the dangers of errors]. *Bezpeka zhyttiedialnosti na transporti ta vyrobnytstvi – osvita, nauka, praktyka (VII Mizhnar. nauk.-prakt. konf.)* [Life safety in transport and production – education, science, practice: theses of the add. (VII International science and practice conf.)]. Kherson, P. 165–174. [in Ukr.].
 9. (2008). Threat and Error Management (TEM) in Air Traffic Control: Cir. ICAO 314–AN/178. Montreal, Canada, 30 p.
 10. Reva, A., Mirzayev, B., Mykhtarov, P. & Nasirov, Sh. (2014). Features of ICAO “risk triangle” solution of human factors complicated standards of the air-space separation. *Aviation in the XXI-st century: The sixth world congress. Safety in Aviation and Space Technologies (September, 23–25, 2014, Kyiv, Ukraine)*. Kyiv, P. 9.272–9.276.
 11. Reva, A. N., Vdovychenko, V. Y., Borsuk, S. P., Shulhin, V. A., Myrzoiev, B. M., Mukhtarov, P. Sh., & Nasyrov, Sh. Sh. (2013). Aktualnye napravleniya razrabotky proaktyvnykh modelei resheniya “treuholnyka ryzkov” YKAO [Current directions for developing proactive models for solving the ICAO “risk triangle”]. *Suchasni enherhetychni ustanovky na transporti, tekhnologii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia* [Modern energy installations on transport, technologies and equipment for their maintenance (4th All-Ukrainian science and practice conf.)]. Kherson, P. 334–338. [in Ukr.].
 12. Chynchenko, Yu. V. (2011). Otsiniuvannia zahroz ta ryzykiv na robochykh mistsiakh aviadyspetcheriv za dopomohoiu nechitkykh mnozhyn [Threat and risk assessment in air traffic control workplaces using fuzzy sets]. *Visnyk NAU* [Bulletin of NAU]. 2, P. 44–49. [in Ukr.].
 13. Kaufman, A. (1977). *Introduction a la théorie des sous-ensembles flous*. Paris, 334 p.
 14. Dubois, D., & Prade, H. (1988). i Théorie des possibilités. Applications à la représentation des connaissances en information tique. 2-e edition revue et augmenté. Paris, 248 p.
 15. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Shulhin, V. A., Mirzoiev, B. M., Mukhtarov, P. Sh., & Nasirov, Sh. Sh. (2016). Stavlennia aviatsiinykh operatoriv “perednoho kraiu” do nebezpechnykh dii abo umov profesinoi diialnosti — holovnyi chynnyk zabezpechennia bezpeky polotiv [The attitude of “front-line” aviation 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, P. 90–97. [in Ukr.].
 16. Reva, O., Borsuk, S., Mirzayev, B., & Mukhtarov, P. (2016). New Approach to Determination of Main Solution Taking Dominant of Air Traffic Controller During Flight Level Norms Violation. *Advances in Human Aspects of Transportation: Proceedings of the AHFE 2016 International Conference on Human Factors in Transportation*. Florida, USA. P. 137–147.
 17. Reva, O. M., Borsuk, S. P., Myrzoiev, B. M., & Mukhtarov, P. Sh. (2018). Proaktyvne vyznachennia vplyvu dosvidu upravlinnia povitrianykh rukhom na stavlennia do ryzyku [Proactively identifying the impact of air traffic control experience on risk attitudes]. *Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnologii* [Aerospace engineering and technology]. 5 (149), 80–87. <http://doi.org/10.32620/akt.2018.5.12> [in Ukr.].
 18. Borsuk, S., P. (2012). Svoystva modifikatorov sostavnykh termov lingvisticheskikh peremennykh [Properties of modifiers of compound terms of linguistic variables]. *Elektronika ta systemy upravlinnia* [Electronics and control systems]. 3 (33), 152–157. [in Russ.].
 19. Reva, O. M., Kamyshyn, V. V., Shulhin, V. A., & Nedbai, S. V. (2010). Nechitki modeli erhonomichnoi kvalimetrii tochnosti pilotuvannia [Fuzzy models of ergonomic piloting accuracy quality]. Rivne, 106 p. [in Ukr.].
 20. Cooper, G. E. (1957). Understanding and inter-pretng pilot opinion. *Aeronautical Engineering Review*. 3, 47–51.
 21. Borisov, A. N., & Krumberg, O. A., & Fedorov, I. P. (1990). Prinyatie resheniy na osnove nechetkikh modeley: Primery ispolzovaniya [Decision Making Based on Fuzzy Models: Case Studies]. Riga, 184 p. [in Russ.].
 22. Zadeh, L. A. (1973). Outline of a new approach to the analyses of complex system and decision processes. *IEEE Trans. System Man Cybernetics*. 3 (1), 28–44.

O. M. REVA, D. Sc. in Engineering, Full Professor
B.M. MIRZAYEV, PhD in Engineering
P. Sh. MUKHTAROV
Sh. Sh. NASIROV

FUZZY DECISION-MAKING MODEL FOR SOLVING THE ISAO “RISK TRIANGLE” IN CONDITIONS OF VIOLATION OF AIRCRAFT SEPARATION NORMS

Abstract. Taking into account the prevailing influence of the human factor on the occurrence of the vast majority of aviation events and serious incidents, the leading role of such a component of the current ISAO flight safety concept as “the attitude of aviation personnel towards dangerous actions or conditions” has been determined, which well explains the mutual influence of other components of this paradigm. In turn, the components of this relationship are determined through indicators of the influence of the human factor on decision-making by frontline aviation operators, in particular air traffic controllers. This approach is logical, since, firstly, the professional activity of an air traffic controller is easy to imagine as a continuous chain of decisions; secondly, according to

statistics, unwanted aviation events are the result of false decisions; thirdly, the vast majority of aviation security experts believe that the point is not that “front line” aviation operators do not make decisions at all, but that these decisions are untimely, incorrect, ineffective, etc.

In the context of this publication, such a component of decision making is considered as fuzzy risk assessment models, in particular violations of standard operating procedures, namely aircraft separation standards.

Using the modifier “very” and the methodology of fuzzy mathematics, a scale (term set) of the linguistic variable “danger level” was formed. The dimension of the scale is larger than that recommended by ISAO, which allows for a more detailed analysis of the dangers of violations of separation standards. On the other hand, scale reduction does not cause difficulties in the conditions of using fuzzy operations of “concentration”, “stretching”, “merging”.

Having adapted the well-known “Cooper-Harper scale” for research needs, a survey was conducted of professional air traffic controllers $m = 70$, employees of the Unified Air Traffic Control System of the Republic of Azerbaijan, who expressed their attitude to the dangers of violations of the separation norms of ACC, ARR aircraft $S = 20$ km in the form of a “point on the parameter scale”, which contributed to the use of the so-called “hint matrix” for constructing membership functions of the linguistic variable “hazard level” with smooth falling fronts.

It has been established that all points of intersection of the membership functions of neighboring terms of the linguistic variable “hazard level” are greater than the “transition point” of L. Zadeh, therefore the distances between them, established on the continuum of the studied separation norm, “rather belong” to the corresponding linguistic assessment of the established scale. The reduction of this scale to the ISAO dimension contributed to the solution of the corresponding “risk triangle”.

Keywords: flight safety, human factor, air traffic controller, aircraft, fuzzy models of violation of separation standards, “risk triangle”.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Рева Олексій Миколайович — д-р техн. наук, проф., завсектору електронного врядування відділу управління та адміністрування Національного авіаційного університету, просп. Любомира Гузара, 1, м. Київ, Україна, 03058; +38 (067) 238-31-77; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

Мірзоєв Бала Мушгюль-огли — канд. техн. наук, начальник Головного центру Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, Баку, Азербайджанська Республіка; BalaMirzayev@azans.az

Мухтаров Пейман Ширин-огли — доцент кафедри “Аеронавігація” Національної академії авіації, Баку, Азербайджанська Республіка; peyman.mukhtarov@gmail.com.

Насіров Шахин Шахвели-огли — керівник польотів Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, Баку, Азербайджанська Республіка, міжнародний експерт з АТС; pshahinsn222@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Reva Oleksii — D. Sc. in Engineering, Professor, Head of the electronic government department in the management and administration division of National Aviation University; Lubomir Guzar Avenue, 1, Kyiv, Ukraine, 03058; +38 (067) 238-31-77; ran54@meta.ua; ORCID: 0000-0002-5954-290X

Mirzayev Bala Mushhiul-ogly — PhD in Engineering, Head of the Main Air Traffic Office of the In-tegrated ATC System Center of the State Enterprise AZANS, Azerbaijan Republic; BalaMirzayev@azans.az

Mukhtarov Peyman Shyrin-ogly — Associate Professor, Department of Air Navigation, National Academy of Aviation, Baku, Republic of Azerbaijan; peyman.mukhtarov@gmail.com.

Nasirov Shahin Shahveli-ogly — flight director of the Unified Air Traffic Control System of the state enterprise AZANS, Baku, Republic of Azerbaijan, international expert on ATS; pshahinsn222@gmail.com

