

УДК 656.7.084.17(08)

О. М. РЕВА<sup>1</sup>, В. А. ШУЛЬГІН<sup>2</sup>, П. Ш. МУХТАРОВ<sup>3</sup>, Б. М. МІРЗОЄВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Україна;

<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Україна;

<sup>3</sup> Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, Азербайджанська Республіка

### НЕЧІТКА МІРА РОЗПІЗНАВАННЯ АВІАДИСПЕТЧЕРАМИ НЕБЕЗПЕКИ ПОРУШЕНЬ НОРМ ЕШЕЛОНУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Виходячи з обґрунтованої тези щодо пріоритетності виявлення ставлення авіаційних операторів «переднього краю» до небезпечних дій або умов професійної діяльності перед іншими положеннями поточної парадигми безпеки польотів ІКАО, запропоновано застосовувати у якості відповідної міри нечіткості ентропію розпізнавання диспетчерами обслуговування повітряного руху ступеня небезпеки порушення норми ешелонування повітряних суден  $S=10$  км. Введено терм-множину лінгвістичної змінної «рівень небезпеки», розмірністю сім термів, для яких побудовані відповідні функції належності та визначена нечітка ентропія термів. Виявлено, що авіадиспетчери найкращим чином розпізнають небезпеку граничних термів, які мають мінімальну ентропію. Застосовуючи нечіткі операції, обернені операціям концентрації та розтягання, а також нечітку операцію об'єднання, початкова шкала небезпеки редукована до рекомендованої ІКАО розмірності. У такому випадку середнє значення нечіткої ентропії термів знижується на 5%, а середньгеометричний показник ентропії – на 6%.

**Ключові слова:** безпека польотів, людський чинник, ставлення авіадиспетчерів до порушень норм ешелонування повітряних суден, міра ефективності розпізнавання небезпек, нечітка ентропія.

#### Актуальність досліджень

Рівень безпеки польотів (БП), який наразі забезпечується у світовій цивільній авіації (ЦА) (рис. 1), досягнутий завдяки рішучості і зусиллям

всього авіаційного співтовариства. Внаслідок цього очікується, що до 2030 р. щорічна кількість пасажирів повітряного транспорту досягне 6 млрд., а кількість вильотів – перевищить 50 млн., тобто практично подвоїться в порівнянні з 2011 р. [1, 2].

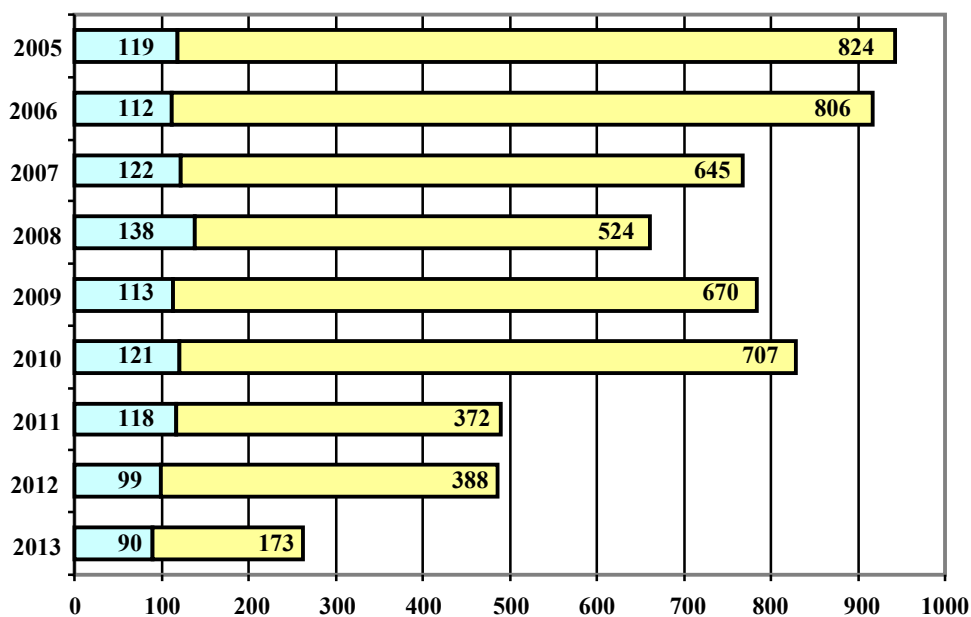


Рис. 1. Динаміка авіаційних пригод та кількості загиблих під час виконання регулярних комерційних перевезень у світовій цивільній авіації:

□ – кількість пригод; □ – кількість загиблих

Вищезазначений прогноз зростання попиту на авіаційні перевезення чинитиме перманентний тиск на всі авіаційні транспортні системи (АТС), більшість яких вже досягли максимальної пропускної спроможності [3]. Тому ІКАО постійно розробляє і удосконалює проактивні, засновані на оцінці ризиків методи, що спрямовані на подальше зменшення кількості АП в світовій ЦА і дозволяють збільшувати об'єм авіаційних перевезень у всіх регіонах при підтримці належного рівня БП [4, 5].

У зв'язку з наведеним все більшу актуальність набуває проактивне врахування впливу людського чинника (ЛЧ) на БП шляхом виявлення ставлення авіаційних операторів (АО) «переднього краю» (диспетчерів обслуговування повітряного руху (ОПР),

членів льотного екіпажу) до небезпечних дій або умов професійної діяльності, а також до виконання стандартних експлуатаційних процедур (Standart Operational Procedures, - SOP's). Адже дійсно, якщо звернутися до моделі SHELL, запропонованої ІКАО для дослідження проблем ЛЧ [6-8], то складові поточної парадигми ІКАО в області БП, сформульовані усі [5], чітко уявляються через призму стиковки / нестиковки блоків «суб'єкт - процедури» моделі SHELL (рис. 2) [9]. При цьому слід обов'язково мати на увазі, що професійна діяльність АО «переднього краю» зазвичай розглядається як безперервний ланцюг рішень, що виробляються і реалізуються в явних і неявних формах та під впливом різноманітних чинників специфічної природи і характеру [8, 10-13].

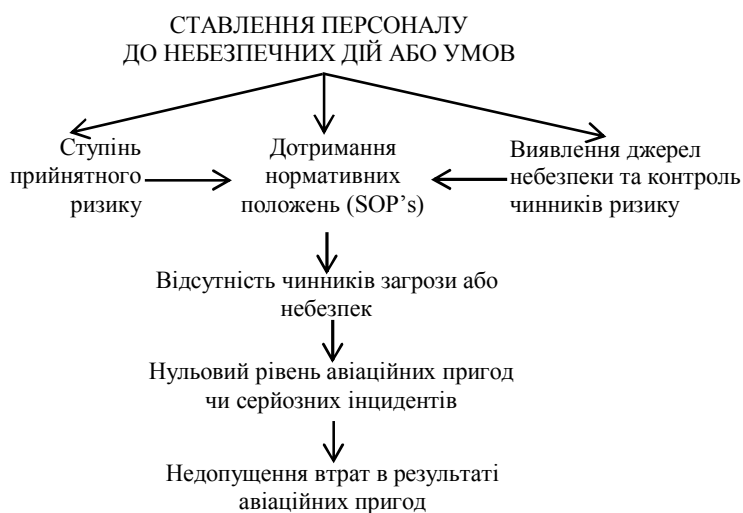


Рис. 2. Подання взаємодії складових концепцій безпеки ІКАО через призму стиковки / нестиковки блоків «суб'єкт - процедури» моделі SHELL

## 1. Аналіз досліджень і публікацій

З аналізу наукових джерел [14-23 та ін.] та досвіду особистих досліджень авторів цієї публікації [8, 9, 24-33 та ін.] витікає, що, застосовуючи методологію системного аналізу та теорії прийняття рішень (ПР), ставлення АО до небезпечних дій або умов професійної діяльності зручно встановлювати, спираючись на такі показники та характеристики, як:

- рівень домагань (РД), як фундаментальне утворення особистості АО, яке є ефективнішим показником її самооцінки;

- основна домінанта ПР, що характеризує схильність, несхильність, байдужість до ризику і визначає мотивацію на досягнення успіху чи запобігання невдачі;

- нечіткі моделі ПР, які дозволяють співвіднести якісні і кількісні показники професійної діяльності.

Перелічені показники та характеристики професійної діяльності АО «переднього краю» були проактивно досліджені в процесі ПР досвідченими професійними диспетчерами ОПР (ДОПР) та курсантами (студентами)-диспетчерами щодо встановлення робочого навантаження, ПР під час порушень норм ешелонування повітряних суден (ПС), а також ПР курсантами-пілотами в особливих випадках польоту (відмова авіаційного двигуна).

Зрозуміло, що розглянуті методи, моделі та показники, які сприяють саме проактивному врахуванню ЛЧ в процесах ПР, не обмежують всього спектра методів досліджень ставлення АО до небезпечних дій та умов професійної діяльності. Адже дійсно, тільки стосовно нечітких моделей слід зауважити, що ефективність уявлення ДОПР ступеня небезпеки порушень норм ешелонування ПС (НЕПС) оцінюється, насамперед, орієнтуючись на так звану «точку переходу» Л. Заде [34], якій відповідає зна-

чення функції належності (ФН) певної лінгвістичної змінної (ЛЗ) з корисністю 0,5. Як можна побачити з рис. 3, усі точки перетину ФН сусідніх термів ЛЗ «рівень небезпеки (РН) порушення НЕПС», побудованих відповідно до прийнятої шкали

$$T^M(RN) = \begin{matrix} \bar{R}_{НВ} & & \bar{R}_{ДВ} \\ \text{надзвичайно високий} + \text{дуже високий} + \\ \bar{R}_B & & \bar{R}_C & & \bar{R}_H \\ \text{+ високий} + \text{середній (звичайний)} + \text{низький} + \\ & \bar{R}_{ДВ} & & \bar{R}_{НН} & \\ & \text{+ дуже низький} + \text{незвичайно низький} \end{matrix} \quad (1)$$

мають значення ФН, що перевищують точку переходу:

- $\mu(S_A = 2,62 \text{ km}) = 0,52 > 0,5;$
- $\mu(S_B = 4,97 \text{ km}) = 0,86 > 0,5;$
- $\mu(S_C = 6,38 \text{ km}) = 0,87 > 0,5;$
- $\mu(S_D = 7,38 \text{ km}) = 0,82 > 0,5;$
- $\mu(S_E = 8,55 \text{ km}) = 0,80 > 0,5;$
- $\mu(S_F = 9,59 \text{ km}) = 0,52 > 0,5.$

Таким чином, можна зробити висновок, що випробувані ДОПР (70 осіб – співробітників Головного центру Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки) добре уявляють собі ступінь небезпеки порушень НЕПС, тому відстані між точками перетину сусідніх термів на рис. 3 «скоріше належать» відповідним термам шкали (1).

Більш того, з аналізу наукових джерел [19-23 та ін.] витікає різноманіття відповідних нечітких мір. Оглядаючи їх спектр, вважаємо доцільним орієнтуватися на нечітку ентропію, оскільки її вимірність для оцінки як ефективності шкали відповідності тактико-технічних характеристик тренажера і літака початкового навчання, так і ефективності шкали оцінки точності пілотування переконливо доведена у працях [24, 35].

## 2. Постановка завдання досліджень

Виходячи з результатів вищепроведеного аналізу, метою цієї публікації є поглиблене дослідження нечіткої моделі ПР, яка відображає думки ДОПР щодо небезпеки порушення НЕПС  $S=10 \text{ km}$  шляхом визначення нечіткої ентропії розпізнавання ними зазначеної небезпеки.

## 3. Визначення нечіткої ентропії як міри небезпеки порушень норм ешелонування повітряних суден

Як відомо, ентропія будь-якої системи вимірює ступінь безладу компонентів системи щодо імовірності стану [10, 19, 20]. Якщо розглядати  $N$  станів  $E_1, E_2, \dots, E_N$  деякої системи, з якими зв'язані відповідні імовірності  $p_1, p_2, \dots, p_N$ , то тоді ентропія системи визначається виразом:

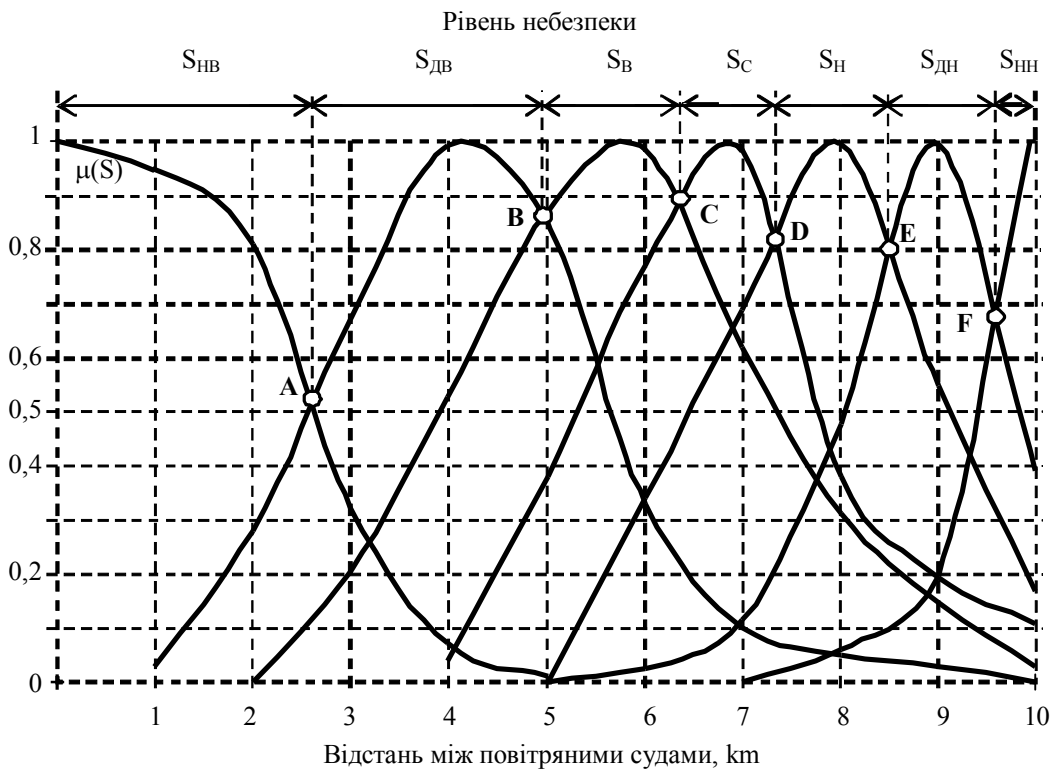


Рис. 3. Функції належності лінгвістичної змінної «Рівень небезпеки» як нечіткої моделі ставлення диспетчерів обслуговування повітряного руху до порушення норми ешелонування  $S = 10 \text{ km}$

$$H(p_1, p_2, \dots, p_N) = -\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i. \quad (2)$$

Нескладно довести, що:

1)  $H=0$ , тобто ентропія мінімальна, якщо

$$\forall \begin{cases} p_r = 1 \\ r \in \{1, 2, \dots, N\}: p_i = 0; \\ i \neq r \end{cases} \quad (3)$$

2)  $H=1$ , тобто ентропія максимальна, якщо

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}. \quad (4)$$

Якщо ми скористаємося формулою [19, 35]

$$H(p_1, p_2, \dots, p_N) = -\frac{1}{\ln N} \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i, \quad (5)$$

то ентропія буде змінюватися в нормованому інтервалі  $[0, 1]$ , тобто:

$$H_{\min} = 0, \quad H_{\max} = 1. \quad (6)$$

Розглянемо, спираючись на [19], як застосувати ці поняття для оцінки нечіткості деякої підмножини.

Таким чином, якщо маємо нечітку підмножину, то спираючись на значення ФН, можна ввести такий показник:

$$\pi_{\tilde{R}_j}(x_i) = \frac{\mu_{\tilde{R}_j}(x_i)}{\sum_{i=1}^{N_j} \mu_{\tilde{R}_j}(x_i)}, \quad (7)$$

де  $\mu_{\tilde{R}_j}(x_i)$  – значення ФН  $j$ -тої оцінки ЛЗ «РН» шкали (1), що отримано для  $i$ -го інтервалу НЕПС;

$N_j$  – кількість значень ФН  $j$ -тої оцінки ЛЗ «РН», що були отримані в процесі досліджень.

Тоді загальну формулу, яка дозволяє обчислити ентропію по нечіткості розрізнення кожної оцінки шкали (1), можна подати у такому вигляді:

$$\begin{aligned} H(\pi_{\tilde{R}_j}(x_1), \pi_{\tilde{R}_j}(x_2), \dots, \pi_{\tilde{R}_j}(x_{N_j})) &= \\ &= -\frac{1}{\ln N_j} \sum_{i=1}^{N_j} \pi_{\tilde{R}_j}(x_i) \cdot \ln \pi_{\tilde{R}_j}(x_i) = \\ &= \frac{1}{\ln N_j \sum_{i=1}^{N_j} \mu_{\tilde{R}_j}(x_i)} \left[ \sum_{i=1}^{N_j} \mu_{\tilde{R}_j}(x_i) \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot \left( \ln \sum_{i=1}^{N_j} \mu_{\tilde{R}_j}(x_i) \right) - \sum_{i=1}^{N_j} \left( \mu_{\tilde{R}_j}(x_i) \cdot \ln \mu_{\tilde{R}_j}(x_i) \right) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Враховуючи формули (7), (8) для зручності подальших перетворень та обчислень, подамо рис. 3 у вигляді матриці значень ФН (табл. 1).

Як витікає з табл. 1, ФН терма «надзвичайно високий РН»  $\tilde{R}_{НВ}$  має чотири значення ( $N_{НВ}=4$ ). Тоді, користуючись формулою (7) та даними передостаннього рядка табл. 1, нескладно провести такі

обчислення:

$$\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_1) = \frac{1}{1,62} = 0,62;$$

$$\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_2) = \frac{0,33}{1,62} = 0,20;$$

$$\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_3) = \frac{0,21}{1,62} = 0,13;$$

$$\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_4) = \frac{0,07}{1,62} = 0,04;$$

$$\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_5) = \frac{0,01}{1,62} = 0,01.$$

Таблиця 1  
Ентропія термів лінгвістичної змінної  
«рівень небезпеки порушення норми ешелонування  
повітряних суден»  $S = 10 \text{ km}$

$\Delta S_i, \text{ km}$	Значення функцій належності $\mu_{R_j}$ термів						
	$\tilde{R}_{НВ}$	$\tilde{R}_{ДВ}$	$\tilde{R}_В$	$\tilde{R}_С$	$\tilde{R}_Н$	$\tilde{R}_{ДН}$	$\tilde{R}_{НН}$
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	1	0,03	0	0	0	0	0
1-2	0,33	0,28	0	0	0	0	0
2-3	0,21	0,67	0,21	0	0	0	0
3-4	0,07	1	0,59	0,04	0	0	0
4-5	0,01	0,85	0,86	0,38	0	0	0
5-6	0	0,33	1	0,69	0,34	0,03	0
6-7	0	0,1	0,62	1	0,69	0,09	0
7-8	0	0,05	0,45	0,38	1	0,48	0,07
8-9	0	0,03	0,21	0,23	0,55	1	0,20
9-10	0	0	0,03	0,23	0,17	0,39	1
$\Sigma$	1,62	3,34	3,97	2,95	2,75	1,99	1,27
$H(\tilde{R}_j)$	0,66	0,91	0,89	0,87	0,92	0,75	0,58

Застосовуючи подані результати обчислень та формулу (8), отримуємо таке значення нечіткої ентропії уявлення досвідченішими ДОПР, які були залучені до випробувань, ступеня (міри) розрізнення на досліджуваній НЕПС  $S = 10 \text{ km}$  «надзвичайно високого РН» її порушення:

$$\begin{aligned} H(\pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_j)) &= \\ &= -\frac{1}{\ln N_{НВ}} \sum_{j=1}^{N_{НВ}=5} \pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_j) \cdot \ln \pi_{\tilde{R}_{НВ}}(\Delta S_j) = \\ &= -\frac{1}{\ln 5} (0,62 \ln 0,62 + 0,20 \ln 0,20 + 0,13 \ln 0,13 + \\ &\quad + 0,04 \ln 0,04 + 0,01 \ln 0,01) = 0,66. \end{aligned}$$

За аналогією обчислені та подані в останньому рядку табл. 1 значення нечіткої ентропії розрізнення й інших оцінок РН шкали (1). Як можна побачити, найменшу ентропію (найбільшу міру розрізненості) мають найкраща та найгірша оцінки прийнятої шкали оцінювання РН порушення НЕПС, що свідчить про прагнення-мотивацію випробуваних на їх досягнення / запобігання.

Разом з тим, враховуючи, що ІКАО для оцінювання РН пропонує шкалу меншої розмірності

$$T^M(PH) = \begin{matrix} \tilde{R}_K & \tilde{R}_{НБ} \\ \text{катастрофічний} & + \text{небезпечний} \\ \tilde{R}_C & \tilde{R}_{НЗ} & \tilde{R}_M \\ \text{+ суттєвий} & + \text{незначний} & + \text{мізерний,} \end{matrix} \quad (9)$$

проведемо перетворення з редукції шкали (1). При цьому пам'ятатимемо, що формування шкали (1) здійснювалося за допомогою модифікаторів «дуже», «надзвичайно», «незвичайно». Це означає, що певні сусідні терми ЛЗ «РН», об'єднані у терм-множину відповідної шкали, визначалися за допомогою нечітких операцій «концентрації» та «розтягання»:

$$\mu_{\tilde{R}_{ДВ}}(S) = \mu_{\tilde{R}_B}^2(S); \quad (10)$$

$$\mu_{\tilde{R}_{ДН}}(S) = \mu_{\tilde{R}_H}^{\frac{1}{2}}(S). \quad (11)$$

Внаслідок зазначеного нескладно провести зворотні вирази (10) і (11) перетворення для редукції шкали (1) на два терми. А застосування нечіткої операції «об'єднання»

$$\mu_{\tilde{R}_i \cup \tilde{R}_j}(S) = \text{MAX}(\mu_{\tilde{R}_i}(S), \mu_{\tilde{R}_j}(S)) \quad (12)$$

сприяє також об'єднанню відповідних ФН на рис. 3. Провівши вказані перетворення та обчислення згідно формул (7), (8), було отримано кількісні показники нечіткої ентропії розпізнавання випробуваними ДОПР безпеки порушень досліджуваної НЕПС відповідно до шкали ІКАО (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінки нечіткої ентропії ступеня небезпеки порушень норми ешелонування повітряного простору S = 10 km відповідно до шкали ІКАО

$\tilde{R}_j$	$\tilde{R}_K$	$\tilde{R}_{НБ}$	$\tilde{R}_C$	$\tilde{R}_{НЗ}$	$\tilde{R}_M$
$H(\tilde{R}_j)$	0,74	0,80	0,87	0,91	0,48

Як можна побачити з табл. 2, і після редукції початкової шкали лінгвістичної оцінювання РН до розмірності ІКАО найменшу ентропію (найбільше уявлення щодо розрізненості РН порушення НЕПС S = 10 km) мають найкраща та найгірша оцінки РН відповідно до шкали ІКАО, що знову ж свідчить про прагнення-мотивацію випробуваних на їх досягнення / запобігання.

### Висновки

Узагальнюючи отримані та подані у цій статті нові наукові результати, вкажемо на такі найбільш суттєві положення.

1. Враховуючи важливість проблеми виявлення ставлення АО «переднього краю», зокрема ДОПР до небезпечних умов та дій у професійній діяльнос-

ті, проведено поглиблений аналіз нечітких моделей ПР щодо безпеки порушень НЕПС S = 10 km.

2. Орієнтуючись на необхідність проактивного виявлення в ДОПР навичок розпізнавання РН з позицій непрямой самооцінки можливості їх усунення, встановлена нечітка ентропія термів відповідно до пропонованої шкали РН та шкали РН ІКАО.

3. Виявлено, що незалежно від розмірності шкали оцінювання РН при порушенні НЕПС найменшу ентропію, тобто найбільше уявлення щодо розрізненості РН, мають найкраща та найгірша оцінки РН, що свідчить про прагнення-мотивацію випробуваних ДОПР на їх досягнення / запобігання.

4. Подальші дослідження слід проводити з визначення нечіткої ентропії та інших нечітких мір розпізнавання ДОПР РН порушення усього спектру НЕПС, що застосовуються під час організації ОПР.

### Література

1. Состояние безопасности полетов в мире [Текст]. – Монреаль, Канада, 2011. – 61 с.
2. Состояние безопасности полетов в мире [Текст]. – Монреаль, Канада, 2013. – 50 с.
3. Прогноз развития воздушного транспорта до 2025 года [Текст] : Cir. ICAO 313 – AT / 134. – Монреаль, Канада, 2007. – 60 с.
4. Глобальный план обеспечения безопасности полетов [Текст]. – Монреаль, Канада, 2007. – 70 с.
5. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) [Текст]. – Монреаль, Канада, 2013. – 75 с.
6. Фундаментальные концепции человеческого фактора [Текст] // Человеческий фактор : сб. м-лов № 1. – Циркуляр ИКАО 216 AN / 131. – Монреаль, Канада, 1989. - 34 с.
7. Давиденко, М. Ф. Последний рубеж обороны (Человеческий фактор: фундаментальные концепции ИКАО) [Текст] / М. Ф. Давиденко, А. Н. Рева // Авиакомпания. – М., 1995 (пробный номер). – С. 23-28.
8. Рева, А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : (Проактивное исследование влияния) [Текст] : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумьшев, А. А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумьшев. – Алматы, 2006. – 242 с.
9. Рева, О. М. Визначення рівнів домагань студентів-диспетчерів на континуумі норми ешелонування 10 кілометрів [Текст] / О. М. Рева, С. П. Борсук // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT - 2015) : матеріали VII Міжнар. наук.-практ. конф., – Херсон, 26-28 травня 2015 р. – Херсон : ХДМА, 2015. – С. 23-27.
10. Шеридан, Т. Б. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором [Текст]: пер. с англ. / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.

11. Jensen, R. S. *Aeronautical Decision Making for Instrumental Pilot [Text]* / R. S. Jensen, J. Andrien, R. Lawton. DOT / FAA / PM-86/42.
12. Плотников, Н. И. *Зарубежная практика профессиональной подготовки летного персонала [Текст]* / Н. И. Плотников. – М. : ЦНИГА, 1989. – 42 с.
13. Эдвардс, У. *Принятие решений [Текст]* // *Человеческий фактор. В 6-и т. Т. 3. Моделирование деятельности, профессиональное обучение и отбор операторов. – Ч. 1. – Модели психической деятельности* / У. Эдвардс. – М. : Мир, 1991. – С. 5-89.
14. Фон Нейман, Дж. *Теория игр и экономическое поведение [Текст]* / Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. – М. : Наука, 1970. – 708 с.
15. Фишберн, П. *Теория полезности для принятия решений [Текст]* / П. Фишберн. – М. : Наука, 1978. – 352 с.
16. Козелецкий, Ю. *Психологическая теория решений [Текст]* : пер. с польск. / Ю. Козелецкий ; под ред. Б. В. Бирюкова. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.
17. Кини, Р. Л. *Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения [Текст]* : пер. с англ. / Р. Л. Кини, Х. Райфа ; под ред. И. Ф. Шахнова. – М. : Радио и связь, 1981. – 560 с.
18. Шеридан, Т. Б. *Системы человек-машина : Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором [Текст]* : пер. с англ. / Т. Б. Шеридан, У. Р. Феррел ; под ред. К. В. Фролова. – М. : Машиностроение, 1980. – 400 с.
19. Кофман, А. *Введение в теорию нечетких множеств [Текст]* : пер. с франц. / А. Кофман ; под ред. С. И. Травкина. – М. : Радио и связь, 1982. – 432 с.
20. *Нечеткие множества в задачах управления и искусственного интеллекта [Текст]* / А. Н. Аверкин, И. З. Батыршин, А. Ф. Блишун, В. Б. Силов, В. Б. Тарасов ; под ред. Д. А. Поспелова. – М. : Наука, 1986. – 312 с.
21. *Нечеткие множества и теория возможностей : последние достижения [Текст]* : пер. с англ. / под ред. Р. Р. Ягера. – М. : Сов. радио, 1986. – 408 с.
22. *Надежность и эффективность в технике [Текст]* / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова // *Справ. в 10 т. – Т. 3. Эффективность технических систем* – М. : Машиностроение, 1988. – 328 с.
23. Сявавко, М. С. *Математика прихованих можливостей [Текст]* : навч. посіб. / М. С. Сявавко. – Острог : Вид-во Нац. ун-ту «Острозька академія», 2011. – 396 с.
24. Рева, А. Н. *Эргономические основы первоначальной профессиональной подготовки пилотов [Текст]* : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.14 ; защищена 26.09.1996 / Рева Алексей Николаевич. – К., 1996. – 376 с.
25. *Нечіткі моделі ергономічної кваліметрії точності пілотування [Текст]* : моногр. / О. М. Рева, В. В. Камшин, В. А. Шульгін, С. В. Недбай ; за ред. О. М. Рева. – Рівне : Овід, 2010. – 106 с.
26. *Актуальные направления разработки проактивных моделей решения «треугольника рисков» ИКАО [Текст]* / А. Н. Рева, С. П. Борсук, П. Ш. Мухтаров [и др.] // *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : матеріали IV Всеукр. наук.-практ. конф. – Херсон, 9-11 жовтня 2013 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 334-338.*
27. *Рівень домагань авіадиспетчерів на показниках робочого навантаження [Текст]* / О. М. Рева, Б. М. Мірзоєв, П. Ш. Мухтаров [и др.] // *Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2013. – № 8 (105). – С. 273-281.*
28. *Рева, А. Н. Отношение пилотов к риску в принятии решений при отказе двигателя [Текст]* / А. Н. Рева, М. К. Байжуманов, Н. Р. Садуакасова // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINNT-2014) : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. – Херсон, 27-29 травня 2014 р. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2014. – С. 78-81.*
29. *Рева, А. Н. Нечеткая оценка риска нестыковки блоков «человек - процедуры» модели SHELL ИКАО [Текст]* / А. Н. Рева, С. П. Борсук // *Интеллектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту : матеріали Міжнар. наук. конф., присвяченої пам'яті професора Ф. Б. Рогальського, с. Залізний Порт Херсонської обл., 28-31 травня 2014 р., – Херсон : ХНТУ, 2014. – С. 153-155.*
30. *Мухтаров, П. Ш. Основные доминанты в принятии решений авиадиспетчером при оценке полезности-безопасности нормы эшелонирования воздушного пространства [Текст]* / П. Ш. Мухтаров // *Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2014. – № 9 (106). – С. 143-150.*
31. *Пілотні оцінки рівнів домагань студентів-пілотів на показниках висоти при відмові авіадвигуна [Текст]* / О. М. Рева, В. А. Шульгін, О. М. Медведенко, Н. Р. Садуакасова // *Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві : матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., присвяченої 180-річчю Херсонської державної морської академії, Херсон, 18-19 вересня 2014 р. – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 131-135.*
32. *Features of ICAO «risk triangle» solution of human factors complicated standards of the airspace separation [Text]* / 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, – K. : NAU, 2014. – P. 9.272-9.276.*
33. *Borsuk, S. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirability Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution [Text]* / S. Borsuk, O. Reva, V. Kharchenko // *Logistics and Transport. – 2015. – No 1 (25). – P. 63-69.*

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

35. Шульгін, В. А. Нечітка ентропія як міра розпізнавання пілотами оцінок точності пілотування / В. А. Шульгін // Авіаційно-космічна техніка і технологія. – 2013. – № 10 (107). – С. 231-235.

Надійшла до редакції 08.02.2015, розглянута на редколегії 17.06.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., засл. діяч науки і техніки України, зав. каф. проектування авіаційних двигунів С. В. Єпіфанов, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", Харків.

### НЕЧЕТКАЯ МЕРА РАСПОЗНАВАНИЯ АВИАДИСПЕТЧЕРАМИ ОПАСНОСТИ НАРУШЕНИЙ НОРМ ЭШЕЛОНИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

*А. Н. Рева, В. А. Шульгин, П. Ш. Мухтаров, Б. М. Мирзоев*

Исходя из обоснованного тезиса о приоритетности выявления отношения авиационных операторов «переднего края» к опасным действиям или условиям профессиональной деятельности перед другими положениями текущей парадигмы безопасности полетов ИКАО, предложено применять в качестве соответствующей меры нечеткую энтропию распознавания диспетчерами обслуживания воздушного движения степени опасности нарушения нормы эшелонирования воздушных судов  $S=10$  km. Предложено терм-множество лингвистической переменной «уровень опасности», размерностью семь термов, для которых построены соответствующие функции принадлежности и определена нечеткая энтропия термов. Обнаружено, что авиадиспетчеры наилучшим образом распознают опасность граничных термов, которые имеют минимальную энтропию. Применяя нечеткие операции, обратные операциям концентрации и растяжения, а также нечеткую операцию объединения, начальная шкала опасности редуцирована к рекомендованной ИКАО размерности. В таком случае среднее значение нечеткой энтропии термов снижается на 5%, а среднегеометрический показатель энтропии – на 6%.

**Ключевые слова:** безопасность полетов, человеческий фактор, отношение авиадиспетчеров к нарушениям норм эшелонирования воздушных судов, мера эффективности распознавания опасностей, нечеткая энтропия.

### ILLEGIBLE MEASURE OF HAZARD IDENTIFICATION OF SEPARATION NORM OF AIRCRAFTS BY AIR TRAFFIC CONTROLLERS

*A. N. Reva, V. A. Shulgin, P. Sh. Mukhtarov, B. M. Mirzayev*

On the basis of grounded thesis about exposure priority of relations of aviation operators of “leading edge” to hazardous activity or conditions of professional activity in front of other conditions of current ICAO flight safety paradigm, was offered to apply illegible entropy of identification of hazard level of violation norm of separation of aircrafts for  $S=10$  km by air traffic controllers in the quality of relevant measure. Was offered term - quantity of linguistic variable “hazard level”, with dimension of 7 terms for which relevant functions of belongings and was defined illegible entropy of terms. Was defined that air traffic controllers will identify hazard of boundary terms that have minimum entropy. By applying illegible operations, opposite operations of concentration and expansion, as well as illegible operation of association, elementary scale of hazard is reduced to the recommended level of ICAO. In this case average value of illegible term entropy is lowered to 5% but average compound indicator of entropy is 6%.

**Key words:** flight safety, human factor, air traffic controllers' relation to separation norm of violation of aircrafts, level of efficiency of hazard identification, illegible entropy.

**Рева Олексій Миколайович** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. дистанційного навчання, Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна, e-mail: ran54@meta.ua.

**Шульгін Валерій Анатолійович** – канд. техн. наук, доц. Національного авіаційного університету; декан факультету льотної експлуатації Кіровоградської льотної академії, e-mail: VAShulgin@ukr.net.

**Мухтаров Пейман Ширин-огли** – інструктор тренажерного центру Головного центру Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки, м. Баку, e-mail: Peyman.Mukhtarov@gmail.com.

**Мірзоев Бала Мушгюль-огли** – д-р філософії по техніці, начальник Головного центру Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки, м. Баку, e-mail: BalaMirzayev@azans.az.