

УДК УДК 656.7: 629.7.072

О.М. Рева<sup>1</sup>, В.П. Харченко<sup>2</sup>, О.М. Алексеев<sup>3</sup>,  
С.А. Знаковська<sup>2</sup>, Д.Г. Бабейчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кіровоградський національний технічний університет,

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Київ,

<sup>3</sup>Державна авіаційна служба України

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ / ДЕФЕКТУ РИЗИКОВАНОСТІ РІШЕНЬ З ПРОФІЛАКТИКИ АВІАЦІЙНИХ ПРИГОД

*Проактивні заходи з профілактики авіаційних пригод та інцидентів в діяльності цивільної авіації пов'язані з прийняттям різноманітних рішень, яким незалежно від їх класифікаційних ознак, завжди притаманний певний ризик стохастичного чи нестохастичного характеру. Ці рішення за своїми наслідками поділяються на такі, що дають позитивний результат (прибуток, — ефект) та такі, що призводять до негативних результатів (збитків, — дефект). Запропонована модель оцінювання відповідного ефекту / дефекту цих рішень, яка спирається на класичний критерій Вальда. Її емпірична реалізація в умовах повної невизначеності дозволила отримати практично прийнятні результати.*

**Ключові слова:** безпека польотів, чинники ризику, прийняття рішень та їх ефекти / дефекти, профілактика авіаційних пригод та інцидентів.

### Актуальність

Провідним принципом у роботі цивільної авіації (ЦА) є прагнення до отримання прибутку при обов'язковому забезпеченні належного рівня безпеки польотів (БП). Проте, це прагнення реально обмежується можливістю понести збитки, тобто з'являється явище ризику, під яким, спираючись на праці [1-3], будемо узагальнено розуміти можливість настання небажаної ситуації.

Адже дійсно, орієнтація протягом тривалого часу на переважно екстенсивний розвиток авіації, надмірно висока ступінь централізації управління з пануванням адміністративних методів вели до того, що обґрунтування ефективності діяльності авіаційної транспортної системи (АТС), особливо в умовах планової економіки, і відповідно всі техніко-економічні обґрунтування проєктів, навіть таких, що були пов'язані з профілактикою авіаційних пригод (АП) і інцидентів, не тільки обходилися без аналізу ризиків, але ж часто однією фразою підкреслювали їх абсолютну неризикованість, що призводило до неврахування можливої багатоваріантності розвитку подій. І хоча на теперішній час зазначена «плановість» фактично не існує, ставлення до моніторингу ризиків в діяльності ЦА фактично не змінилося.

Зазначимо, що на теперішній час навіть самі провідні авіаційні держави світу не можуть забезпечити абсолютної БП. Більш того, загально-визнано, що будь-які польоти завжди супроводжуються певним ризиком. Ось чому зовсім не випадково ще на самісенському початку ХХ ст. Уїлбер Райт (Wright), один з перших льотчиків у

світі, зауважив: «Тому, хто бажає бути в абсолютній безпеці, слід сидіти на паркані та спостерігати за птахами».

Таким чином, якщо явище ризику і, як наслідок, в переважній більшості випадків, — АП і інциденти, є об'єктивною реальністю, то його моніторинг, кваліметрія і розробка заходів, особливо проактивних, з їх попередження, є перманентно актуальним завданням. Наведене чітко відповідає політиці ІКАО щодо контролю чинників загроз і помилок і управління БП [3, 4].

### 1. Аналіз досліджень і публікацій

Оскільки в цій статті мова буде йти про оцінювання ризиків стохастичного характеру, то під ризикованою будемо розуміти таку вибрану стратегію управління, що пов'язана з множиною можливих наслідків, причому кожний вихід має певну імовірність виникнення. Мається на увазі, що імовірності начебто зібрані і відомі людині, яка приймає рішення, заздалегідь [2, 5-14 та ін.].

Вважаємо, що найбільш загальне визначення ризику подано в праці [1]: «ризик — це ситуативна характеристика діяльності, що перебуває в невизначеності її виходу і можливих несприятливих наслідках у разі неуспіху». І оскільки ризик — особливе поняття, специфічний предмет для наукового дослідження, тому відповідна наука отримала назву ризикологія і займається саме питаннями виявлення законів та закономірностей можливих полів ризику. При цьому під полем ризику розуміється множина ризиків, що виявилися та реалізувалися; а також системно

організовані відомості про можливі ризики [15]. Ризикологія, як наука, покликана також аналізувати, діагностувати, прогнозувати, програмувати і планувати ризики у будь-якій галузі людської діяльності.

Саме тому ІКАО ввела критерії статистичної оцінки БП [14], а також розробила спеціальне Керівництво з управління безпекою АТС [3], в якому, у тому числі, було введено поняття «трикутника ризику» для оцінювання небезпеки відповідних ситуацій в АТС. При цьому вкажемо, що, враховуючи вплив людського чиннику (ЛЧ) на БП [16, 17], найбільш цікаві пропозиції з реального розв'язання цього «трикутника» для потреб практики пов'язані з відповідністю певних рівнів небезпеки «трикутника ризику» значенням характерних точок функції корисності-безпеки, які, спираючись на [7-9], проф. О.М. Рева та його учні уперше ввели в практику досліджень діяльності операторів «переднього краю» [2, 13, 17-24], довівши зазначену відповідність [2, 13, 23].

Враховуючи рекомендації ІКАО щодо фактичного застосування лінгвістичних змінних для оцінювання ступеня небезпеки [3], у праці [25] в загальних рисах наведено, як можна отримати відповідні функції належності, спираючись на шкалу Купера-Харепера [26, 27]. Практична реалізація цього підходу здійснена під керівництвом проф. В.П. Харченка, коли, враховуючи наслідки помилок авіадиспетчерів були отримані функції належності лінгвістичної змінної «значущість наслідків» та «імовірність пригоди» [28].

Однією з сучасних, дуже цікавих, на наш погляд, є теорія ризику, що розробляється проф. Санкт-Петербурзького державного технічного університету ЦА, Є.А. Кукльовим, яка розглядає ризик як дискретну подію у вигляді узагальненого ланцюга подій [29-31 та ін.]. В його пропозиціях у разі керованих ризиків враховуються чинники, що збільшують небезпеку, та чинники впливу на ситуацію зі зменшенням небезпеки. При цьому вводиться поняття дефекту ризику, який має визначатися згідно [10], однак відповідні пропозиції для практичного визначення цього дефекту не наведені.

Зазначимо також, що поняття ефекту / дефекту ризику рішень уперше було введено у праці [10]. Однак, на теперішній час відповідна модель розроблена і проведено її вдосконалення, орієнтуючись вже не тільки на критерій Вальда, але ж і на критерій Севиджа, тільки для інвестиційних рішень [32, 33].

### Постановка завдання дослідження.

Отже, з аналізу, що був проведений, та інших джерел витікає, що на сьогодні немає однозначного розуміння сутності ризику і його оцінювання. Це пояснюється, зокрема, як практично по-

вним ігноруванням його вітчизняним законодавством, так і реальною практикою управлінської діяльності в АТС. Крім того, ризик - це складне явище, що має безліч не співпадаючих, а іноді й протилежних реальних джерел. Причому, якщо їх кількість може зростати, скажімо, лінійно, то множина різноманітних сполучень – у геометричній прогресії, тобто можна спостерігати мультиплікацію взаємного впливу чинників і джерел ризику.

Слід відмітити, що на конкретний ризик може здійснювати вплив значна кількість ризиковизначальних чинників. Одні з них є нативними (унікальними, такими, що зберегли визначальний характер і структуру) факторами цього ризику, інші - інтегральними, які впливають одночасно й і на інші ризики.

Зберігається тенденція до розгляду інтегральних чинників ризиків без урахування їх впливу на інші ризики. При цьому ряд дослідників не цілком обгрунтовано намагаються перенести вплив нативних ризиковизначальних чинників конкретних ризиків на цілі групи ризиків. Практично не розглядається можливість діалектичного переходу самого ризику в категорію ризиковизначальних чинників. Хоча зрозуміло, що комплексний підхід до дослідження ризиків, тобто урахування впливу на ризики як ризиковизначальних чинників першого рівня (нативних і інтегральних), так і чинників другого рівня, дозволить підвищити ефективність управління ризиками.

Слід також констатувати факт відсутності моделей, критеріїв оцінювання ефективності заходів-рішень з профілактики АП. Особливо слід зауважити на відсутність підходів до оцінювання цих рішень з позицій ефекту / дефекту їх ризикованості. При цьому, враховуючи, що відповідні заходи відносяться до задач ПР (ЗПР) з векторним показником ефективності [9], то наслідки вибору слід обов'язково пов'язувати з чинниками, що впливають на відповідні процеси. Наведене відкриває перспективи для моделювання і розв'язання відповідних проблемних ситуацій за допомогою матриць рішень і, як наслідок, - за допомогою класичних критеріїв ПР. Справедливість такого підходу підтверджується даними праці [29], на яку ми вже посилляся і де розглядають мінімаксні концепції ризику в оцінці безпеки АТС.

Таким чином, **метою** статті є розробка теоретичної і емпіричної моделі ефектів / дефектів ризикованості рішень з профілактики АП, застосовуючи класичні критерії ПР та методи регресійного аналізу.

### 3. Розробка теоретичної моделі ефектів / дефектів рішень

ПР в АТС при перманентній наявності ризику є складною процедурою. Допущення нехай

навіть малої ймовірності ( $p \in P, p \rightarrow 0$ ) прийняття помилкового рішення керівником не виключає можливості ризику і, як наслідок, погіршення стану БП, навіть із урахуванням обчислення довірчих факторів (емпіричного  $V_v(P)$ , прогностичного  $v^{\omega}(P)$ , емпірико-прогностичного  $v_v^{\omega}(P)$ ). Зміст цих факторів розглядається нами згідно рекомендацій праці [10]. При цьому зазначимо, що повне усунення ризику при ПР практично навіть і не потрібно. Більш того, певна ступінь ризику вводиться свідомо, тому що ПР без ризику, наприклад, із гранично песимістичної позиції, як правило, не вигідно. При цьому розумний ризик варто обов'язково відрізнити від ризику азартного гравця. Саме тому будь-який ризик повинен [6, 34, 35]:

*по-перше*, враховуватися по можливості повно і всебічно, описуватися кількісними характеристиками й обмежуватися;

*по-друге*, у жодному разі не перевищувати рівень, при якому результат досягається з достатньою надійністю.

Враховуючи наведене, розглянемо можливість прийняття ефективного рішення з забезпечення БП при наявності певного ризику, досліджуючи загальну матрицю рішень (табл. 1).

Таблиця 1  
Загальна матриця рішень

$A_i$	Діючі чинник, що впливають на безпеку польотів						$y_{ir}$
	$\lambda_1$	$\lambda_2$	...	$\lambda_j$	...	$\lambda_n$	
1	2	3	4	5	6	7	8
$A_1$	$y_{11}$	$y_{12}$	...	$y_{1j}$	...	$y_{1n}$	$y_{1r}$
$A_2$	$y_{21}$	$y_{22}$	...	$y_{2j}$	...	$y_{2n}$	$y_{2r}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$
$A_i$	$y_{i1}$	$y_{i2}$	...	$y_{ij}$	$y_{in}$	$y_{ir}$	
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$
$A_m$	$y_{m1}$	$y_{m2}$	...	$y_{mj}$	...	$y_{mn}$	$y_{mr}$

ПРИМІТКИ:  $A_i$  – і-та альтернатива у прийнятті рішення;  $i=1, 2, \dots, m$ ;  $\lambda_j$  – j-тий діючий чинник, що впливає на процедуру вибору чи характеризує її;  $j=1, 2, \dots, n$ ;  $y_{ij}$  – чисельна характеристика ефективності реалізації і-тої альтернативи (рішення) в умовах дії j-го чиннику;  $y_{ir}$  – така чисельна характеристика наслідку реалізації і-го рішення, яка найкращим чином його характеризує і визначається відповідним критерієм.

Якщо застосовувати мінімаксний (ММ) критерій Вальда, то з позиції крайньої обережності найкращим розв'язанням табл. 1 буде рішення, яке ми будемо використовувати у якості опорного для оцінки ризику:

$$A_0 = \left\{ A_{i0} \mid A_{i0} \in A \wedge y_{i0} = \max_i \min_j y_{ij} \right\}. \quad (1)$$

При виборі якого-небудь іншого варіанта  $A_i$  ступінь ризикованості можна обчислити у вигляді так названого дефекту варіанта рішення

$A_i$  щодо опорного значення оцінної функції по ММ-критерію [10]:

$$\varepsilon_{i\text{можл.}} = Z_{\text{ММ}} - \min_j y_{ij} \quad (2)$$

Максимальну різницю дефектів при розгляді всіх можливих варіантів рішення  $A_i, i = \overline{1, m}$  можна охарактеризувати як *можливий ризик*:

$$\varepsilon_{\text{можл.}} = \max_i \left( Z_{\text{ММ}} - \min_j y_{ij} \right) - \min_i \left( Z_{\text{ММ}} - \min_j y_{ij} \right) = Z_{\text{ММ}} - \min_i \min_j y_{ij} \quad (3)$$

Тоді *можливий ризик*  $\varepsilon_{\text{можл.}}$  незалежно від інформації про параметри  $y_{ij}$ , наявної за результатами вибірки реалізації рішення, а також від числа цих реалізацій, являє собою максимально можливу величину нереалізованої корисності рішення. При цьому зазначимо, що у випадку малих обсягів  $n$  вибірки (невеликої кількості діючих факторів  $\lambda_j$ ) й числа реалізацій  $\omega$  процесу ПР безпечніше дотримуватися ММ-критерію, тоді як при досить великих значеннях  $n$  і  $\omega$  доцільно орієнтуватися на ВЛ-критерій Байеса-Лапласа:

$$A_0 = \left\{ A_{i0} \mid A_{i0} \in A \wedge y_{i0} = \max_i \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j \wedge \sum_{j=1}^n q_j = 1 \right\} \quad (4)$$

Значимо, що обидва розглянутих критерії узагальнюються НЛ-критерієм Ходжи-Лемана:

$$A_0 = \left\{ A_{i0} \mid A_{i0} \in A \wedge y_{i0} = \max_i \left[ u \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j + (1-u) \min_j y_{ij} \right] \right\}, \quad 0 \leq u \leq 1 \quad (5)$$

Для вдосконаленого варіанта цього критерію оптимальним вважається рішення  $A_i$ , для якого вираз

$$y_{ir} = u_i \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j + (1-u_i) \min_j y_{ij} \Rightarrow \max \quad (6)$$

дає максимальний результат.

У формулі (6) і надалі величини  $q_j, j = \overline{1, n}$  являють собою відомі (по мірі наявності інформації про результати керуючої діяльності з за-

безпечення БП) імовірності реалізації зовнішніх станів  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  або оцінки цих імовірностей, отримуються з вибірки за результатами яких-небудь експериментів, або, принаймні, відносні частоти їхнього розподілу визначені на підставі апріорної інформації. При цьому у якості  $u_i$  доцільно використати емпірико-прогностичний довірчий фактор  $V_n^\omega(P)$ , величина якого автоматично змінюється в границях, встановлених раніше на підставі його властивостей:

$$V_n^\omega(P)_i \underset{n \rightarrow \infty, \omega \rightarrow \infty}{\uparrow} 1, \quad (7)$$

а також 
$$V_n^\omega(P) \underset{n \rightarrow \infty}{\downarrow} 0 \quad (8)$$

та 
$$V_n^\omega(P) \underset{\omega \rightarrow \infty}{\downarrow} 0. \quad (9)$$

З виразів (7)-(9) витікає, що при великому обсязі вибірки і одночасно великій кількості реалізацій  $\omega$  поліпшений НЛ-критерій наближається до нейтрального ВЛ-критерію, а у випадках малого обсягу  $n$  вибірки й (або) числа реалізацій  $\omega$  визначальним стає ММ-критерій. Далі з врахуванням (5) отримуємо:

$$y_{ir} = \overline{M}_n^\omega(P)_i = \sum_{j=1}^n \overline{q}_{n,j,i}^\omega(P) y_{ij}, \quad (10)$$

де  $\overline{M}(P)_i$  – середнє значення, яке відповідає всім трьом типам довірчих факторів.

Зупинимось на визначенні границь застосування НЛ-критерія. Адже справді, при наявності інформації про імовірнісний розподіл зовнішніх станів  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , навіть при малому числі реалізацій  $\omega$ , що, до речі, буде відбито в малості величини довірчого фактору, має сенс вийти за рамки суворого проходження мінімаксному критерію, якщо ЛПР готова в такій ситуації піти на деякий ризик, обумовлений величиною  $\epsilon_{\text{доп.}}$ .

Для деяких зовнішніх умов з більшою імовірністю реалізації, можуть спостерігатися варіанти рішення, які дають помітний вигравш у порівнянні з оптимальним варіантом по ММ-критерію. З метою оцінки конкурентоздатності таких рішень для кожного варіанта  $A_i$  введемо спеціальну величину, що дорівнює сумі мінімального результату  $\min_j y_{ij}$ ,  $j = \overline{1, n}$  і ефекту ризику:

$$\min_j y_{ij} + \epsilon_i. \quad (11)$$

Величина  $\epsilon_i$  за своїм змістом повинна відповідати обмеженню:

$$\epsilon_i = \min(\epsilon_{i \text{ можл.}}, \epsilon_{\text{доп.}}). \quad (12)$$

Тим самим гарантується, що значення дефекту  $i$ -го варіанту рішення стосовно оптимуму, отриманому по ММ-критерію (2), а також величини припустимого ризику  $\epsilon_{\text{доп.}}$  не буде перетворене величиною  $\epsilon_i$ . Тоді максимальний ризик при розгляді всіх варіантів інвестиційного рішення  $A_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  згідно формули (2) дорівнює:

$$\epsilon = \max_i \epsilon_i = \max_i \min(\epsilon_{i \text{ можл.}}, \epsilon_{\text{доп.}}). \quad (13)$$

На відміну від виразу (6) для НЛ-критерію, будемо виходити з такої оцінки результату:

$$\mu_i := V_n^\omega(P)_i \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j + (1 - V_n^\omega(P)_i) \min_j (y_{ij} + \epsilon_i). \quad (14)$$

Позначимо через  $A^*(\epsilon)$  множину всіх варіантів рішення, що забезпечують максимум величини  $\mu_i$ :

$$A^*(\epsilon) := \left\{ A_i / \mu_i = \max_i \mu_i \right\}, \quad \max_i \mu_i = \mu^*. \quad (15)$$

Для роз'яснення суті критерію, обумовленого виразами (14) і (15), розглянемо два крайніх випадки. Якщо  $\epsilon_{\text{доп.}} = 0$ , то згідно (12), і якщо  $\epsilon_i = 0$ , тоді згідно з (14) одержуємо знову вираз для поліпшеного НЛ-критерію:

$$\mu_i = u_i \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j + (1 - u_i) \min_j y_{ij}, \quad (16)$$

де  $u_i = V_n^\omega(P)_i$ .

Якщо  $\epsilon_{\text{доп.}} \geq \epsilon$ , то, згідно (11),  $\epsilon_i = \epsilon_{i \text{ можл.}}$ , а вираз (14) з врахуванням (2) фактично перетворюється в нейтральний ВЛ-критерій:

$$\mu_i = u_i \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j + (1 - u_i) Z_{\text{ММ}}, \quad (17)$$

причому ваговий коефіцієнт  $u_i$  дорівнює довірчому чиннику  $u_i = V_n^\omega(P)_i$ .

Розглянемо випадок, коли  $u_i = V_n^{\omega}(P)_i = 0$ . Ця величина дорівнює нулю у випадку, коли  $n=0$ , тобто немає ніякої інформації про розподіл ймовірностей реалізації зовнішніх станів  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  або при  $\omega = 1$ , тобто коли рішення приймається вперше. Тоді вираз (13) перетворюється до виду:

$$\mu_i \Big|_{u_i=0} = \min_i (y_{ij} + A_i) \rightarrow \max. \quad (18)$$

Збільшення результату  $\epsilon_{ij}$  до величини  $(y_{ij} + \epsilon_i)$ , яка згідно (12) і (2), може досягати  $Z_{MM}$ , дозволяє згідно (15) включити в розгляд кілька додаткових варіантів рішення. Подальшим раціональним кроком буде застосування BL-критерію для цих варіантів:

$$\mu^{**} := \max_{\{i \in A_i \in A^*(\epsilon)\}} \sum_{j=1}^n y_{ij} q_j. \quad (19)$$

Тим самим з множини  $A^*(\epsilon)$  варіантів рішень, результати яких максимізуються виразом (13), перевагу слід віддавати тим варіантам, що мають максимальний середній результат. До них, у першу чергу, відносяться такі варіанти  $A_i$ , у яких зовнішні стани  $\lambda_j$ , що забезпечують високі значення результату  $y_{ij}$ , характеризуються більшими ймовірностями реалізації.

Наведені міркування для випадку  $u_i = V_n^{\omega}(P)_i$  справедливі й для значень  $u_i$ , близьких до нуля. Якщо ж значення  $u_i = V_n^{\omega}(P)_i$  близьки до одиниці, то критерій (14) і сам по собі наближається до BL-критерію:

$$\sum_j y_{ij} q_j \rightarrow \max_i. \quad (20)$$

Будемо вважати PR *ризиком реалізації випадку*, коли його варіант  $A_i$  при зовнішньому стані  $\lambda_j$ ; дає результат менше очікуваного. Цю очікувану величину приймемо в якості опорної для оцінки ризику, причому для більшої ясності необхідно розділяти опорні величини на *залежні* й *незалежні* від зовнішніх факторів [9, 11].

У якості опорної величини  $y_z$ , незалежної від зовнішніх факторів, може фігурувати будь-яка дійсна величина, але відповідно до змісту її визначення вона може перебувати тільки в діапазоні:

$$\min_i \min_j y_{ij} \leq y_z \leq \max_i \max_j y_{ij}. \quad (21)$$

Для конкретного варіанту  $A_i$  величина:

$$\epsilon_i := y_z - \min_j y_{ij} = \max_i (y_z - y_{ij}) \quad (22)$$

називається *можливим дефектом вибору варіанта рішення*  $A_i$ . Оскільки негативні значення  $\epsilon_i$  згідно (22) не є дефектом, розглянемо, з урахуванням звичайного позначення позитивної частини  $x^+$  дійсного числа  $x$  через  $x := \max(x, 0)$ , величину:

$$\epsilon_i^+ := \max(\epsilon_i, 0) = (y_z - \min_j y_{ij})^+ \quad (23)$$

і назвемо цей варіант рішення вільним від дефекту (варіант рішення  $A_i$ , коли  $A_i^+ \geq 0$ ).

Тоді при  $y_z > \max_i \max_j y_{ij}$  будь-який варіант

PR буде мати дефект, а при  $y_z = \min_i \min_j y_{ij}$  всі варіанти будуть вільними від дефекту.

Метою управління БП є виявлення причинно-наслідкових зв'язків, де можуть бути використані однакові методи, які не завжди призводять до позитивного результату. Найчастіше причина полягає в нестачі апріорної інформації про чинники ризику або в некоректності застосовності того чи іншого методу (алгоритму) до оброблюваних даних. Уточнення ж моделі, як правило, відбувається вже в процесі обробки даних експертами або у випадках наявності достатньої апріорної інформації, що не завжди буває можливим в разі автоматизованої обробки інформації та необхідності швидкого PR. Таким чином, на першому етапі ефективніше запропонувати експерту модель, отриману найбільш універсальним методом, для її подальшого уточнення або взагалі PR про її концептуальну зміну. Невід'ємним етапом у побудові моделі є її оцінка - оцінка якості моделі. Добре відомим і широко застосовуваним засобом оцінювання якості моделі є функція ризику.

Незважаючи на досить широке застосування регресійного аналізу в багатьох прикладних областях знань задача оцінювання ризику регресійної моделі і до теперішнього часу залишається актуальною. Це пов'язано з відсутністю універсального методу оцінювання якості моделі, побудованої за вибірках обмеженого обсягу в умовах повної невизначеності. Для задачі розпізнавання образів необхідно розробити підхід до **емпіричного** оцінювання ризику методом чисельного моделювання, який дає практично прийнятні оцінки.

Більш того, метод побудови емпіричних довірчих інтервалів потенційно дозволяє використовувати не тільки розглянуті емпіричні

функціонали якості, але й інші характеристики вибірки та методу навчання. Скажімо, одним позитивним моментом цього є можливість побудови рішення у різномісних просторі змінних в класі логічних вирішальних функцій.

**4. Розробка емпіричної моделі і оцінка ефектів / дефектів рішень з профілактики авіаційних пригод**

Під емпіричної оцінкою будемо розуміти величину, отриману оцінюванням мінімальної довірчої ймовірності по деяких евристично обраних множинах розподілів. Якщо ця множина вибрана досить «широко», то отримана оцінка буде близька до істинної. Можливість довіри такій оцінці може бути аргументована такими міркуваннями. Якщо цілеспрямованим евристичним пошуком не вдалося побудувати розподіл, при якому довірча ймовірність була б менше заданої величини, то можна очікувати, що і в реальному випадку розподіл виявиться таким, що оцінка залишиться справедливою.

Нехай  $D_x$  – простір значень змінних, які використовуються для прогнозу, а  $D_y$  – простір значень прогнозуємих змінних,  $C$  – множина всіх ймовірнісних мір на заданій  $\sigma$ -алгебрі підмножин множини

$$D = D_x \cdot D_y.$$

При кожному  $c \in C$  маємо такий імовірнісний простір:

$$\langle D, B, P_c \rangle,$$

де  $B$  –  $y$ -алгебра;

$P_c[D]$  – імовірнісна міра,

$c$  – стратегія природи.

Тоді вирішальною функцією є відповідність

$$f: D_x \rightarrow D_y$$

з деякого класу вирішальних функцій  $\Phi$ .

Якість ПР оцінюється заданною функцією втрат

$$L: Y^2 \rightarrow [0, \infty).$$

Функція втрат задає ціну помилки як міру невідповідності ПР  $f_x$  та істинного значення  $y$ . При цьому під ризиком будемо розуміти середні втрати:

$$R(c, f) = \int_G L(y, f(x)) dP_c[D]. \quad (24)$$

Значення ризику залежить від стратегії природи, тобто  $c$ -розподілу, який в загальному випадку є невизначеним.

Нехай маємо, що

$$v = \left\{ (x^i, y^i) \in D \mid i = \overline{1, N} \right\} \quad (25)$$

– випадкова незалежна вибірка з розподілу  $P_c[D]$ .

Емпіричний ризик визначемо як середні втрати на вибірці:

$$R(v, f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L(y^i, f(x^i)). \quad (26)$$

Оцінка ризику по контрольній вибірці визначається так:

$$R^*(v^*, f) = \frac{1}{N^*} \sum_{i=1}^{N^*} L(y_i^*, f(x_i^*)), \quad (27)$$

де  $v^* = \left\{ (x_i^*, y_i^*) \in D, i = \overline{1, N^*} \right\}$  – «нова» випадкова незалежна вибірка з розподілу  $P_c\{D\}$ .

Нехай  $Q: \{v\} \rightarrow \Phi$  – алгоритм побудови вирішальних функцій, а  $f_{Q, v} \in \Phi$  – функція з класу вирішальних функцій  $\Phi$ , побудована по вибірці  $v$  алгоритмом  $Q$ . Функціонал ковзаючого іспиту визначається як:

$$R(v, f) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N L(y^i, f_{Q, v_i}(x^i)), \quad (28)$$

де  $v_i = v / \left\{ (x^i, y^i) \right\}$  – вибірка, що отримується з  $v$  видаленням  $i$ -го спостереження.

Задача побудови вирішальної функції (моделі) полягає у виборі відповідного алгоритму  $Q$  та в оцінюванні ризику ПР. Довірчий інтервал для  $R$  задамо у вигляді  $[0, R(v)]$ . Тут ми обмежуємося односторонніми оцінками, оскільки на практиці для ризику важливі саме оцінки зверху. Таким чином, в даному випадку побудова довірчого інтервалу еквівалентно вибору функції  $R(v)$ , яку будемо називати оцінкою ризику. При цьому має виконуватись умова:

$$\forall c: P(R \leq \tilde{R}(v)) \geq \eta,$$

де  $\eta$  – задана довірча ймовірність.

Зазначимо, що відомі на даний момент оцінки ризику будуються не як функції безпосередньо вибірки, а через композицію

$$\tilde{R} = R_c(\tilde{R}(v)),$$

як функції значень деякого емпіричного функціонала  $\tilde{R}(v)$ , під яким будемо розуміти емпіричний ризик. Емпіричний функціонал є точеною оцінкою ризику, на основі якої будується інтервальна оцінка.

Розглянемо функцію побудови ризику рангової регресії. Нехай  $y = f(x)$  – вирішальна функція, яка є деякою апроксимацією цільової залежності  $f \in \Phi$ . Визначимо ризик таким чином:

$$R(c, f) = \max_{\Lambda \in \Psi_x} |P(x \in \Lambda, y > f(x)) - P(x \in \Lambda, y < f(x))| \quad (29)$$

де  $\psi \subseteq \Lambda_x$  – деяка підмножина  $\Lambda_x - \delta$  алгебри підмножин і  $D_x$ .

Якщо  $\psi = \Lambda_x$ , то

$$R(c, f) = \int_{D_x} |\beta^+(x) - \beta^-(x)| dP,$$

де  $\beta^+(x) = P(y < f(x) | x)$ ;

$\beta^-(x) = P(y > f(x) | x)$ .

Як варіант, в якості ризику можна використати відстань Монжа між  $\beta^+, \beta^-$ .

Завжди існує  $f^*(x)$ , для якої ризик дорівнює нулю. Це умовна медіана, яка є оптимальною вирішальною функцією відносно заданого ризику.

Враховуючи, що  $\beta^+ - 1 - \beta^-$  функцію ризику уявимо в такому вигляді:

$$R(c, f) = \int_{D_x} |2\beta(x) - 1| dP, \quad (30)$$

де  $\beta(x)$  – порядок квантиля  $f(x)$ .

Без обмеження узагальненості будемо розглядати  $f \in \Phi$  - клас лінійних функцій. Пріоритетною стороною розглянутого рангового ризику є те, що рішення, що отримуються за його допомогою, є стійкими до великих випадкових викидів.

Тепер за даними статистики чинників аварійності за останні 10 років побудуємо порядок знайдення вибіркового функціоналу ризику і емпіричне рішення ризику [41].

Алгоритмом Q за вибіркою  $v$  обсягу  $N$  будемо емпіричну функцію  $f$  із класу лінійних функцій  $\Phi$ . Якість побудованої функції будемо оцінювати по емпіричному ризику:

$$\tilde{R}_f = \sum_{i=1}^M \sum_{x \in P_x^i} |2\tilde{\beta}(x) - 1| \tilde{p}(x), \quad (31)$$

де  $\tilde{p}(x) = \frac{N_i}{N}$ ;  $N_i = |D_x^i|$ ;

$$\tilde{\beta} = \frac{N_i^+}{N_i}; \quad N_i^+ = |D_i^+|;$$

$$D_i^+ = \{(x, y) \in V_N | y < f(x), x \in D_x^i, y \in D\}.$$

Тоді оптимальною вирішальною функцією в заданому класі відносно рангового критерію буде функція такого виду:

$$\tilde{f}(x) = \arg \min_{f \in \Phi} \tilde{R}_f.$$

З метою вивчення властивостей емпіричного рангового ризику будемо розглядати довільний алгоритм побудови лінійної залежності, процедуру і спосіб розбиття вихідного ознакового простору

$$D(x) = \bigcup D_x^i$$

Тим самим ми практично охоплюємо всілякі способи відновлення лінійних залежностей. А оцінки емпіричного ризику, отримані в такий спосіб, будуть практично оптимальними.

Для знаходження оцінки емпіричного ризику звернемося до контрольної вибірки і отримуємо:

$$v^* = \left\{ (x_i^*, y_i^*) \in D, i = \overline{1, N^*} \right\}$$

як незміщену оцінку ризику. При цьому ризик по контрольній вибірці задається аналогічно емпіричному ризику, але для елементів контрольної вибірки.

Можна розглянути приклад, що ілюструє пріоритетну властивість лінійної регресії

$$Y = -1,5572x + 0,7926R^2 = 0,7926,$$

що побудована за допомогою рангового методу в умовах малого обсягу вибірки ( $N = 5$ ), рівномірно розподіленої випадкової складової зі середньоквадратичним відхиленням рівним 0,1 і з 20% викидами.

Справжня лінійна функціональна залежність у прикладі подається простим рівнянням виду:

$$f(x) = 0,5.$$

Незважаючи на неоднозначність рішення, в прикладі рангові регресійні функції, менш відрізняються від істинної. Принаймні, відновлена за вибіркою функція досить близька, в метриці  $L^2$  або  $C$ , до істинної є елементом множини рішень, що мають однакові значення емпіричної функції ризику.

У табл. 2 подані значення точкових оцінок емпіричної функції ризику, що побудовані статистичним моделюванням. Як витікає з її даних,

отримані результати моделювання показують, що при поганих розподілах оцінка «рангового» ризику практично дорівнює значенню ризику, отриманого на контролі, як на розподілі. Цей результат дає нам підставу застосовувати емпіричну оцінку ризику як досить хорошу при побудові рангової регресії у випадку невідомого розподілу.

Таблиця 2  
Оцінка емпіричного ризику

$E\tilde{R}$	$ER^*$	$\delta^2$
1	2	3
0,12	0,36	0,1
0,16	0,29	0,2
0,17	0,25	0,3
0,21	0,27	0,4

### Висновки

Резюмуючи отримані і подані в цій статті нові наукові результати, відмітимо, що розглядаючи ризик як можливість отримання небажаних результатів діяльності, які досягаються внаслідок недостовірності, неповноти, недостатності, недовизначеності, неадекватності, неоднозначності, невідомості, невизначеності, відсутності достатньо повної інформації про подію чи явище, та неможливості прогнозувати розвиток подій. Причому ризик виникає як і за умов вибору з кількох альтернатив, так і з однієї-однієї (фатальна ситуація вибору).

Визначено, що ризик, по-перше, повинен враховуватися по можливості повно, описуватися кількісними характеристиками й обмежуватися, а по-друге, у жодному разі не перевищувати рівень, при якому результат досягається з достатньою надійністю. Причому на конкретний ризик може здійснювати вплив значна кількість ризиковизначальних чинників. Одні з них є нативними (унікальними) факторами цього ризику, інші - інтегральними, які впливають одночасно і на інші ризики.

Ризики в діяльності з профілактики АП та підвищення рівня БП, незалежно від їх класифікаційних ознак, поділяються на такі, що дають позитивний результат (прибуток – ефект) та такі, що призводять до негативних результатів (збитків – дефект). Введено поняття можливого ризику, яким вважається максимальна різниця дефектів при розгляді всіх можливих варіантів рішення. Категорії ефектів / дефектів та інших характеристик ризику встановлені, спираючись на рішення, отримані зі звичайної матриці рішень, шляхом використання класичних критеріїв Вальда, Байеса-Лапласа та Ходжи-Лемана.

Подальшими напрямками моделювання ризиків в процесах профілактики АП та збільшення БП слід вважати такі:

- визначення опорних величин ризику;
- визначення та обчислення емпіричного, прогностичного та емпірико-прогностичного довірчих факторів;
- провести додатковий аналіз ефектів / дефектів ризику з використанням критерію Севиджа.

### Література

1. Психология: Словарь / под общ. ред. А.В. Петровского, М.Г. Рошевского. – П.: Политиздат, 1990. – 494 с.
2. Рева О.М. Проактивне управління ризиками за людським фактором у цивільній авіації [Текст] / О.М. Рева, С.І. Осадчий, О.М. Медведенко, Ю.М. Фоменко // Залізничний транспорт України: науково-практ. ж., 2008. – № 6. – С. 54-59.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов [Текст]: Док. ИКАО 9859 AN/474. – Монреаль, Канада, 2009.
4. Контроль факторов угрозы и ошибок (КВО) при управлении воздушным движением [Текст]: Циркуляр ИКАО 314-AN/178. – Монреаль, Канада, 2008.
5. Де Гроот М. Оптимальные статистические решения [Текст]: пер. с англ. А.Л. Рухина / М. де Гроот; под ред. Ю.В. Линника, А.М. Кагана. – М.: Мир, 1974. – 483 с.
6. Райфа Х. Анализ решений (Введение в проблему выбора в условиях неопределенности) [Текст]: пер. с англ. / Х. Райфа. – М.: Наука, 1977. – 408 с.
7. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений [Текст]: пер. с польск. Г.Е. Минца, В.Н. Поруса / Ю. Козелецкий; под ред. Б.В. Бирюкова. – М.: Прогресс, 1979. – 504 с.
8. 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.
9. Надежность и эффективность в технике: справ. в 10 т. – Т.3. Эффективность технических систем [Текст] / общ. ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
10. Мушик Э. Методы принятия технических решений [Текст]: пер. с нем. В.М. Ивановой / Э. Мушик, П. Мюллер. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
11. Рева О.М. Прийняття рішень в умовах небезпеки і ризику [Текст]: конспект лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень» / О.М. Рева, Т.Ф. Шмельова. – Кіровоград: ДІАУ, 1998. – 52 с.
12. Рева О.М. Загальна характеристика процесів прийняття рішень в гуманістичних системах [Текст]: Тексти лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень» для студентів денної форми



навчання спеціальності 7.050108 «Маркетинг». - Кіровоград: КІК, 2001. - 32 с.

13. Фоменко Ю.М. Трикутник ризику в системному аналізі професійної діяльності авіадиспетчерів [Текст] / Ю.М. Фоменко // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. пр. - К.: КНАУ, 2006. - № 3. - С.147-151.

14. Медведенко О.М. Критерії безпеки польотів в моніторингу авіаційних подій (Аналітичний огляд) [Текст] / О.М. Рева, О.М. Медведенко // Авіаційно-космічна техніка і технологія: Наук.-техн. ж. - Харків: Харківський національний аерокосмічний університет «ХАІ», 2008. - № 8 (57). - С. 204-212.

15. Буянов В.П. Рискологія (управление рисками) [Текст] / В.П. Буянов, К.А. Кирсанов, Л.М. Михайлов. - М.: Экзамен, 2003. - 384 с.

16. Изучение роли человеческого фактора при авиационных происшествиях и инцидентах [Текст] // Человеческий фактор: Сборник материалов № 7. - Циркуляр ИКАО 240-AN/144.- Монреаль, Канада, 1993. - 76 с.

17. Рева А.Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния) [Текст]: монографія / А.Н. Рева, К.М. Тумьшев А.А. Бекмухамбетов / науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумьшев. - Алматы: КазГУ, 2007. - 242 с.

18. Рева А.Н. Оценка предрасположенности студентов-пилотов к риску при принятии решений [Текст] / А.Н. Рева, Д.В. Нестеренко, Г.А. Харченко, В.А. Снигур // тез. докл. XLII студ. науч.-техн. конф. - К.: КМУ ГА, 1994. - С.25.

19. Рева О.М. Людський фактор: парадокс психологічної домінанти діяльності пілота в умовах стохастичного ризику [Текст] / О.М. Рева // Проблеми аеронавігації: тематич. зб. наук. пр.- Вип. 3. Удосконалення процесів діяльності та професійної підготовки авіаційних операторів.- Кіровоград: ДЛАУ, 1997. - С.40-49.

20. Рева О.М. Парадокс психологічної домінанти діяльності авіадиспетчера в умовах стохастичного ризику [Текст] / О.М. Рева, Т.Ф. Шмельова // Проблеми розвитку систем аеронавігаційного обслуговування воздушних судів (Аеронавігація і авіоніка - 98): м-лы междунауч.-техн. конф.- К.: КМУГА, 1998. - С.135.

21. Рева О.М. Методи апріорного виявлення відношення авіаційного оператора, як людини, що приймає рішення, до ризику [Текст]: конспект лекцій з курсу «Основи теорії прийняття рішень» - Кіровоград: ДЛАУ, 1999. - 45 с.

22. Рева О.М. Усталеність основної домінанти діяльності авіадиспетчера в умовах стохастичного ризику [Текст] / О.М. Рева, Г.М. Селезньов // Застосування авіації в народному господарстві: м-ли конф. / за ред. С.Ф. Колесниченко. - Кіровоград: ДЛАУ, 2001.- С.129-135.

23. Рева О.М. Проактивне оцінювання ставлення льотного персоналу до ризику та безпеч-

ної діяльності [Текст] / О.М. Рева // Вісник НАУ: наук. ж. - К.: КНАУ, 2007. - № 2. - С.36-42.

24. Рева О.М. Алгоритми визначення типу ставлення авіаційного оператора до ризику [Текст] / О.М. Рева, С.І. Корж, П.Ш. Мухтаров, С.В. Недбай // Людський чинник у транспортних системах: м-ли II Міжнар. наук. конф. (ЛЧТС), - Київ, 2-3 червня 2010 р., - К., 2010. - С.30-31.

25. Бабак В.П. Безпека авіації [Текст] / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін.; за ред. В.П. Бабака. - К.: Техніка, 2004. - 584 с.

26. Cooper G.E. Understanding and interpreting pilot opinion [Текст] / G.E. Cooper // Aeronautical Engineering Review, 1957.- N 3.- P.P.47-51.

27. Методы инженерно-психологических исследований в авиации [Текст] / Ю.П. Доброленский, Н.Д. Завалова, В.А. Пономаренко, В.А. Туваев; под ред. Ю.П. Доброленского. - М.: Машиностроение, 1975.- 280 с.

28. Райчев С.Г. Влияние ошибок авиадиспетчера на уровень безопасности воздушного движения Болгарии: автореф. дис. канд. техн. наук за спеціальністю 05.22.13 - «Навігація і управління повітряним рухом» /Райчев С.Г.- К.: НАУ, 2008.

29. Куклев Е.А. Использование минимаксной концепции риска при оценке безопасности транспортных систем [Текст] / Е.А. Куклев // Проблемы транспорта, АТР. - СПб., 2001. - С.57-62.

30. Куклев Е.А. Оценивание уровня безопасности полетов в гражданской авиации в рискованных ситуациях на основе цепей случайных событий [Текст] / Е.А. Куклев // Наука и техника транспорта. - 2003 - №2. - С.4-14.

31. Куклев Е.А. Прогнозирование появления авиационных происшествий на основе цепей случайных событий [Текст] / Е.А. Куклев // Сб. докл. междунауч. симпозиума «МАКС - 99» (ЦАГИ), август 1999.

32. Рева О.М. Модель ефектів / дефектів ризиків інвестиційних процесів [Текст] / О.М. Рева, Л.М. Амірсеїдова // Технічний прогрес та ефективність виробництва: Вісник НТУ «ХПІ», 2009. - Вип. 34. - С.103-110.

33. Рева О.М. Критерій Севіджа у вдосконаленні моделей ефектів-дефектів ризику інвестиційних проектів [Текст] / О.М. Рева, Л.М. Амірсеїдова, О.Б. Павлів, Н.Н. Гусейнова // Наук. праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки. - Вип. 18. - Ч. I. - Кіровоград, 2010. - С.17-22.

34. Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач [Текст] / В.В. Подиновский, И.Д. Ногин. - М.: Наука, 1982. - 254 с.

35. Перегудов Ф.И. Введение в системный анализ [Текст]: учеб. пособ. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. - М.: Высш. шк., 1989. - 367 с.

36. Алексеев О.М. Автоматизация процессов управления безопасностью полетов в аеронавігаційній

системі: Дис. кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.13 - «Навігація і управління повітряним рухом». – К.: НАУ, 2009 – 275 С. (захист відбувся 01.11.09, К., НАУ).

Надійшла до редакції 01.06.2012

**А.Н. Рева, В.П. Харченко, О.Н. Алексеев, Е.А. Знаковская, Д.Г. Бабейчук. Определение эффекта / дефекта рискованности решений по профилактике авиационных происшествий**

*Проактивные меры по профилактике авиационных происшествий и инцидентов в деятельности гражданской авиации, связанные с принятием разнообразных решений, которым независимо от их классификационных признаков, всегда присущ определенный риск стохастического или нестохастического характера. Эти решения по своим последствиям делятся на такие, которые дают положительный результат (прибыль, - эффект) и такие, приводящих к негативным результатам (убытков, - дефект). Предложенная модель оценки ожидаемого эффекта / дефекта этих решений, которая опирается на классический критерий Вальда. Ее эмпирическая реализация в условиях полной неопределенности позволила получить практически приемлемые результаты.*

**Ключевые слова:** безопасность полетов, факторы риска, принятие решений и их эффекты / дефекты, профилактика авиационных происшествий и инцидентов.

**O.M. Reva, V.P. Charchenko, O.M. Alekseev, E.A. Znakovska, D.G. Babeichuk. Determination of effect/defect of riskiness of decisions on aviation incidents prevention**

*Proactive measures to preventing aviation accidents and incidents in civil aviation activities associated with the adoption of various decisions that regardless of classification features is always some risk inherent stochastic nature or non stochastic. These decisions by its consequences are those that give a positive result (profit - effect) and those that resulted, are counseled to negative outcomes (losses - defect). The model evaluation of the relevant effect /defect of these decisions, which is based by the classic Wald criterion. Its empirical implementation in full of uncertainty allowed to obtain practically acceptable results.*

**Keywords:** flight safety, risk factors, decisions making and their effects / defects, prevention of aviation accidents and incidents.