

Чинченко Ю.В., к.т.н.,  
Знаковська Є.А., к.т.н.,  
Остроумов І.В. к.т.н.

## ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВ

Національний авіаційний університет

*Наведено основні принципи багатокритеріальної оцінки альтернатив при прийнятті рішень авіадиспетчерами щодо безпеки польотів при обслуговуванні повітряного руху. Розглянуто типову інформаційну модель, що може бути застосована для опису робочого міста авіадиспетчера при умові використання засобів автоматизації.*

### Вступ

Забезпечення нормативного рівня безпеки польотів є однією з головних задач, що відносяться до компетенції структурних підрозділів Аеронавігаційної системи України. Відповідно до статті 44 Чиказької конвенції цивільної авіації (DOC 7030) – дотримання безпеки польотів є першочерговим напрямком діяльності в авіаційній галузі.

Заходи щодо керування безпекою польотів регулюються відповідними нормативними документами – «Положенням про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті» [1] та «Положенням про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху» [2].

Ці національні нормативні положення розроблені у відповідності до міжнародних стандартів ICAO, викладених у DOC 9859 «Керівництво з керування безпекою польотів» [3] та DOC 9734 «Керівництво з організації контролю за забезпеченням безпеки польотів» [4].

Науковим і практичним питанням забезпечення безпеки польотів присвячена велика кількість досліджень вітчизняних і зарубіжних вчених [5,6]. Значна кількість прикладних проектів виконується Україною у співпраці з Євроконтролем (Європейська організація з безпеки аеронавігації), що спрямовані на виконання положень ESARRs (Eurocontrol safety regulatory requirements) [7-12].

### Актуальність

В теперішній час спостерігається стаке зростання обсягів перевезень в повітряному просторі України. Характерним є суттєве збільшення обсягів транзитних польотів, та, в короткостроковій перспективі, велике значення для Аеронавігаційної системи України має проведення чемпіонату Європи з футболу «Євро-2012».

Тому актуальним питанням є вдосконалення математичного та статистичного забезпечення систем керування безпекою польотів національного провайдера аеронавігаційних послуг «Украерорух» та аеродромних служб.

Важливою задачею, в цьому напрямку, є вдосконалення існуючих методик прийняття рішень щодо забезпечення безпеки польотів методами багатокритеріального оцінювання альтернатив [13].

### Мета роботи

Основною метою роботи є застосування багатокритеріальних методів прийняття рішень до проблем забезпечення безпеки польотів в аеронавігаційній системі України.

Також досліджено та зроблено порівняльну характеристику багатокритеріальних методів підтримки прийняття рішень, а саме простого адитивного зважування, мультиплікативного степеневого зважування, аналітичних ієрархічних процесів, ELECTRE та методу наближення до оптимального рішення [13].

### Постановка задачі

Розглянемо типову інформаційну модель, що може бути застосована для опису робочого міста авіадиспетчера при умові використання засобів автоматизації (рис. 1). Використання автоматизованих систем керування повітряним рухом (АС КНР) дозволяє задіяти такі основні функції на робочому місці авіадиспетчера [14]:

1) прийом радіолокаційної інформації (РЛІ) і пеленгаційної інформації;

2) обробка та відображення РЛІ від первинних і вторинних радіолокаторів в режимі «RBS» і «УВД»;

3) обробка та відображення пеленгаційної інформації;

4) прийом, передача, обробка, збереження і відображення повідомлень про плани польотів, що надходять по мережі АФТН;

5) автоматизоване формування і коригування добових планів для ПС, що пролітають, вилітають або виконують посадку та їх ототожнення з радіолокаційною інформацією;

6) запис, збереження і відтворення інформації від РЛС і радіопеленгаторів, інформації щодо пультових операцій диспетчерів і технічного персоналу на робочому місці зі створенням переносного архіву;

7) автоматичний аналіз і відображення потенційних і поточних конфліктних ситуацій за реальною інформацією та ототожнення з планом польотів;

8) попередження про порушення мінімальної безпечної висоти;

9) приймання або ручне введення, обробка, розподіл і відображення метеоінформації;

10) Автоматизований прийом-передачу ПС на управління між секторами ОНР;

11) організація зв'язку з екіпажами повітряних суден і прослуховування суміжних диспетчерських служб з використанням системи управління радіостанціями;

12) автоматизація відображення та обробки інформації контролю льотного поля.

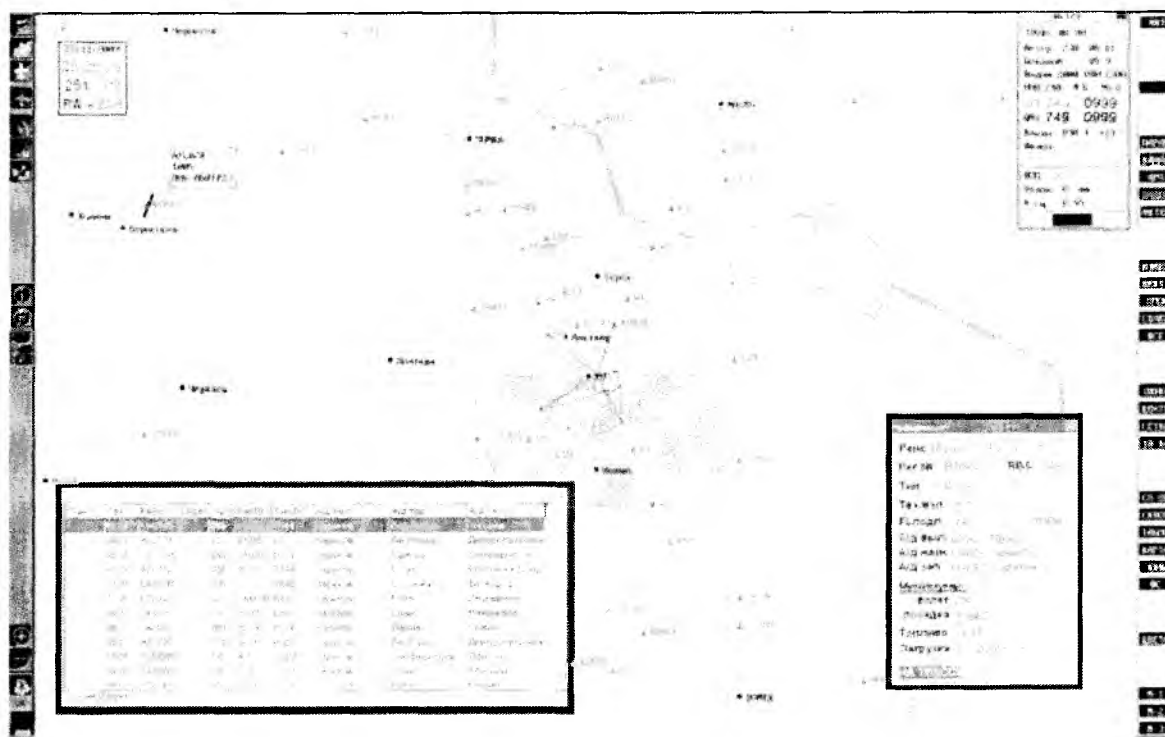


Рис. 1. Інформаційна модель, що відображається на екрані робочого місця авіадиспетчера

При прийнятті рішень щодо ОНР, авіадиспетчер виконує багатокритеріальне оцінювання альтернатив із застосуван-

ням наявної інформаційної моделі динамічної повітряної обстановки. При цьому важливо дотримуватись нормативного

рівня безпеки польотів, що обчислюється за допомогою сукупності нормативних значень відповідних показників [3,4].

### Декомпозиція задач багатокритеріального оцінювання альтернатив при підтримці прийняття рішень авіадиспетчерами

Методи підтримки прийняття рішення авіадиспетчерів, що основані на багатокритеріальному оцінюванні альтернатив, класифікуються за сутністю підходів, за якими вони побудовані. Спільною необхідною умовою є побудова функції цінності  $(r_1, r_2, \dots, r_m)$ , що є скалярною функцією, заданою на кортежах оцінок  $(r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{mi})$  альтернатив за критеріями  $c_1, c_2, \dots, c_m$ :

$$\forall i, j \left[ \left\{ s(r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{mi}) > s(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}) \rightarrow A_i > A_j \right\} \& \left\{ s(r_{1i}, r_{2i}, \dots, r_{mi}) = s(r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj}) \rightarrow A_i \sim A_j \right\} \right].$$

Метод простого адитивного зважування дозволяє вирішити задачу оцінювання шляхом впорядкування за зростанням сум  $s_i$  оцінок  $r_{ij}$  альтернатив за критеріями, зваженими коефіцієнтами  $w_j$  відносної ваги цих критеріїв

$$s_i = \sum_{j=1}^m w_j r_{ij}.$$

Мультиплікативне степеневе зважування відрізняється від простого адитивного зважування тим, що альтернативи впорядковуються у відповідності до величин добутоків степенів оцінок альтернатив за різними критеріями

$$p_i = \prod_{j=1}^m r_{ij}^{w_j}.$$

Сутність методу аналітичних ієрархічних процесів подібна до методу простого адитивного зважування з урахуванням того, що оцінки альтернатив за критерієм є показниками відносної ваги цих альтернатив за цим критерієм.

Відповідно до методу *ELECTRE*, критеріям  $c_1, c_2, \dots, c_m$  оцінки альтернатив присвоюють коефіцієнти значущості  $v_1, v_2, \dots, v_m$ . Потім для кожної пари альтернатив  $(A_i, A_j)$  обчислюється індекс незгоди  $\partial(A_i, A_j)$  та індекс згоди  $v(A_i, A_j)$ , що обчислюється наступним чином:

$$v(A_i, A_j) = \frac{\sum_{c_h \in C_{ij}^+} w_h}{\sum_{h=1}^m w_h}$$

де  $C_{ij}^+$  – підмножина критеріїв, за якими альтернатива  $A_i$  переважає альтернативу  $A_j$ .

Індекс незгоди є менш очевидним та обчислюється за допомогою виразу:

$$\partial(A_i, A_j) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } C_{ij}^- = \emptyset; \\ \max_{c_h \in C_{ij}^-} \frac{[w_h | s_h(A_i) - s_h(A_j)]}{d_h}, & C_{ij}^- \neq \emptyset, \end{cases}$$

де  $C_{ij}^-$  – підмножина критеріїв, за якими альтернатива  $A_i$  поступається альтернативі  $A_j$ ;  $s_h(A_i)$ ,  $s_h(A_j)$  – оцінки альтернатив  $A_i$ ,  $A_j$  за критерієм  $c_h$  відповідно;

$$d_h = \max_{A_i, A_j \in A} [w_h | s_h(A_i) - s_h(A_j)|].$$

Порівняльна характеристика методів простого адитивного зважування, мультиплікативного степеневого зважування, методу аналітичних ієрархічних процесів та *ELECTRE* дає можливість зробити висновок, що впорядкування альтернатив авіадиспетчерами за допомогою цих методів відрізняється незначною мірою.

Усі методи порівнювались з методом простого адитивного зважування, тому що він – найпростіший та найчастіше застосовується на практиці. Таким чином, для цілей ОПП припустимо використовувати їх одночасно. Проте вони не призначені для визначення «об'єктивної істини», а лише допомагають авіадиспетчеру докладніше вивчити проблему і є засобом підтримки цього процесу.

При використанні в діяльності авіадиспетчерів багатокритеріальних методів підтримки прийняття рішень, часто кіль-

кість порівнюваних об'єктів (ПС, нормативів ешелонування, альтернатив та критеріїв) перевищує психофізіологічні можливості людини-оператора.

Як відомо [15], вони обмежені кількістю  $7 \pm 2$  об'єктів, що одночасно оброблюються людиною. Тому виникає проблема декомпозиції задачі прийняття рішення авіадиспетчером при багатокритеріальному оцінюванні множини об'єктів.

Розглянемо спосіб опису множини альтернатив  $A = \{A_i, i = (1, k)\}$ . Задача експертів визначити множину  $Q = \{Q_t, t = (1, T)\}$  ознак та для кожної ознаки – множину  $Q_{it} = \{q_{it}, i = (1, k_t)\}$ , його значень, таким чином, щоб виконувалась необхідна умова ізоморфного відображення множини альтернатив  $A$  на множину  $U = \{q_{11} \times q_{21} \times \dots \times q_{kT}\}$  кортежів, кожен з яких є декартовим добутком множин значень ознак

$$\prod_{t=1}^T k_t \geq k.$$

Наступним етапом прийняття рішень авіадиспетчерів є формування критеріїв оцінки альтернатив. Слід визначити, що в загальному випадку  $C_i \cap C_j \neq \emptyset$ , де  $C_i, C_j$  – множини критеріїв для оцінювання значень ознак  $Q_i, Q_j$  відповідно.

Позначимо підмножину обраних авіадиспетчером критеріїв  $C_j$ . Ця множина розділяється на  $T$  підмножин  $C_{jt}, C_{j2}, \dots, C_{jT}$ , що визначаються виразом

$$C_{jt} = C_j \cap C_{jt} = (1, T)$$

де  $C_{jt}$  – підмножина обраних авіадиспетчером критеріїв, що використовується для оцінювання важливості для нього значень  $t$ -ої ознаки альтернатив.

Таким чином, шляхом введення  $T$  ознак альтернатив здійснюється декартова декомпозиція задачі прийняття рішення авіадиспетчером на  $T$  задач оцінки показників  $v_{jt}$  важливості  $t$ -их значень ознак  $Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_T$  альтернатив за результатами оцінювання експертами відносно критеріїв  $c_g \in C_j, i = (1, T)$ , та оцінювання авіадиспетчером відносної

значущості  $w_g$  критеріїв  $c_g \in C_{jt}$  з підмножини критеріїв, що були ним відібрані.

Величини  $v_{jt}$  є значеннями певної функції значущості  $f(d_{tgr}, w_g)$ , від якої визначається семантикою критеріїв, відібраних для оцінювання значень ознак альтернатив.

Якщо множина цих критеріїв незалежна за параметрами, то  $f(d_{tgr}, w_g)$  є адитивною функцією виду

$$v_{jt} = \sum_{c_g \in C_{jt}} d_{tgr} w_g.$$

Так як кожна альтернатива однозначно описується кортежем значень ознак, то показник відносної значущості  $l$ -ої альтернативи, що описується кортежем  $U_l = \{q_{1l} \times q_{2l} \times \dots \times q_{kl}\}$ , обчислюється за формулою

$$v_l = \prod_{c_g \in C_j} \sum_{c_g \in C_{jt}} d_{tgr} w_g.$$

Розглянемо критерії безпеки ( $C_{jt}, C_{jt}$ ), що повинні застосовуватись при прийнятті рішень авіадиспетчера [14]:

- ідентифікація потенціальних відмов, а саме, які фактори могли б сприяти некоректному функціонуванню системи (її елементів) чи призводити до нього;
- ідентифікація потенційної небезпеки, а саме, що може трапитись в результаті некоректного функціонування системи (її елементів);
- оцінка серйозності небезпеки, а саме, наскільки серйозними можуть бути наслідки некоректного функціонування системи (її елементів);
- визначення цілі безпеки – якісних та кількісних факторів, що визначають максимальну частоту чи ймовірність, при якій небезпека може бути очікуваною та трапитись;

- визначення прийнятності ризику, асоційованого із впроваджуваною системою чи змінами до неї.

Таким чином, при виконанні основних функцій на робочому місці авіадиспетчера необхідно враховувати ці критерії

безпеки польотів ( $C_{21}, C_{11}$ ), обсяги застосування яких може бути обґрунтовано за допомогою наведеної вище загальної методики.

На заключному етапі, зазначається основна мета проведення оцінки безпеки та конкретні цілі з урахуванням того, що всі зміни в системі ОПР чи її конкретних елементах мають бути проаналізовані за напрямками ключових позицій процедури оцінки безпеки, що наведені на рис. 2.

Конкретними прикладами характеристик, які підлягають опису можуть бути поточні можливості обладнання зв'язку, навігації та спостереження; функціональність, характеристики та обмеження системи ОПР, опис наявного обладнання на робочому місці, опис поточного рівня кваліфікації авіадиспетчерів, опис поточних процедур, характеристики конфігурації повітряного простору.

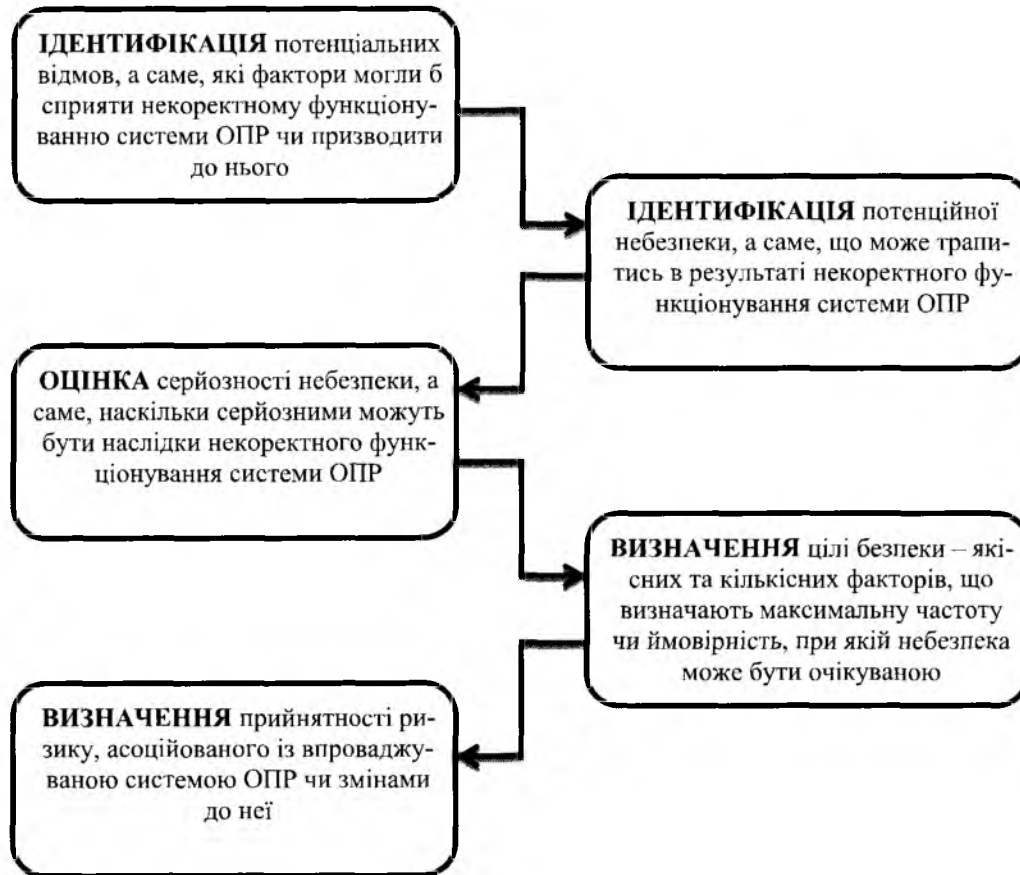


Рис. 2. Послідовність етапів процедури оцінки безпеки польотів при ОПР

З метою конкретизації та послідовності процесів оцінки безпеки слід застосувати сім основних етапів:

1) огляд системи (середовища), в якому буде функціонувати новий елемент системи ОРПР;

2) оцінка можливої загрози:

- обладнання (програмне забезпечення);
- операційне середовище, включаючи фізичні умови, структуру повітряного простору, маршрути ОПР;

3) оцінка серйозності події;

4) оцінка ймовірності виникнення події;

5) визначення ризику;

6) зменшення ризику;

- повторний перегляд системи чи її елементів;

- модифікація операційних процедур;

- зміни посадових обов'язків персоналу;

- підготовка персоналу щодо готовності на реагування у випадку виникнення загрози (процедури).

7) оформлення документації з висновками.

### **Висновки**

Запропонована методика дозволяє обґрунтувати кількість критеріїв безпеки польотів ( $C_1, C_2$ ), що застосовуються авіадиспетчерами при прийнятті рішень в ході обслуговування повітряного руху на робочому місті. Також визначаються критерії ( $v_{r_1}$ ), що є найбільш значущими та інформативними для людини, що приймає рішення.

В результаті це зумовлює підвищення загальної надійності та безпеки Аеронавігаційної системи за рахунок оптимізації процесів прийняття рішень авіаційним персоналом.

### **Список літератури**

1. Положення про систему управління безпекою польотів на авіаційному транспорті. Наказ Державіаслужби №895 від 25.11.2005 р. – К.: Державіаслужба, 2005. – 36 с.

2. Положення про нагляд за безпекою польотів у системі організації повітряного руху. Наказ Мінтрансу №320 від 31.05.2010 р. – К.: Мінтранс, 2010. – 34 с.

3. DOC 9859. Керівництво з керування безпекою польотів. – Монреаль: ICAO, 2009. – 318 с.

4. DOC 9734. Керівництво з організації контролю за забезпеченням безпеки польотів. – Монреаль: ICAO, 2006. – 51 с.

5. Энциклопедия безопасности авиации / М.С. Кулик, В.П. Харченко, Ю.В. Чинченко и др. – К.: Техника, 2008. – 1000 с.

6. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.

7. ESARR 1. Safety oversight in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2009. – 22 p.

8. ESARR 2. Reporting and assessment of safety occurrences in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2009. – 30 p.

9. ESARR 3. Use of safety management systems by ATM service providers. – Brussels: Eurocontrol, 2000. – 17 p.

10. ESARR 4. Risk assessment and mitigation in ATM. – Brussels: Eurocontrol, 2001. – 22 p.

11. ESARR 5. ATM services' personnel. – Brussels: Eurocontrol, 2002. – 24 p.

12. ESARR 6. Software in ATM functional systems. – Brussels: Eurocontrol, 2010. – 20 p.

13. Методы и системы поддержки принятия решений / В.Г. Тоценко. – К.: Наукова думка, 2002. – 382 с.

14. Керівництво з проведення оцінки безпеки в системі організації повітряного руху України. Наказ Державіаслужби №478 від 05.07.2006 р. – К.: Державіаслужба, 2006. – 53 с.

15. Cir. 241. Человеческий фактор при управлении воздушным движением. – Монреаль: ICAO, 1993. – 39 с.