

АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 629.7.07

В.П. Харченко, д-р техн. наук, проф.
Ю.В. Чинченко, канд. техн. наук, доц.
Д.Г. Бабейчук, заст. голови Державіатрансу України
С.Г. Райчев, асп.

ОЦІНЮВАННЯ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМІ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Визначено перелік напрямів, які потрібно аналізувати під час оцінювання безпеки в системі організації повітряного руху України. Розглянуто методики ICAO та Eurocontrol з виявлення й аналізу рівня ризику зіткнення повітряних кораблів при побудові чи реорганізації маршрутів повітряного руху.

The areas, which should be analyzed at estimation of safety of Air Traffic Management system of Ukraine are determined. The methodology of ICAO and Eurocontrol to reveal and analyze the ACFT collision risk level at composing or re-organization of ATS routes is considered.

Вступ

Оцінювання безпеки має ґрунтуватися на основних підходах і процедурах у сфері нагляду за безпекою польотів у системі організації повітряного руху (ОПР) відповідно до стандартів та рекомендованої практики ICAO і регулятивних вимог Eurocontrol [1–7].

Відповідно до міжнародних стандартів нове обладнання і технологічні процедури, що безпосередньо впливають на ефективність ОПР, мають бути предметом всебічного оцінювання безпеки, включаючи оцінку небезпек та ризиків і відповідно розроблення заходів щодо їх зменшення.

Актуальною є проблема створення чіткої та дієвої методики оцінювання безпеки польотів у системі ОПР України для потреб національного провайдера аеронавігаційних послуг Укрероруху.

Напрями оцінювання безпеки польотів

У системі ОПР визначимо основні напрями, які потребують оцінювання безпеки польотів та ризику [2]:

- упровадження нових систем, зміни в системах ОПР, зв'язку, спостереження або інших важливих з погляду безпеки системах;
- початок експлуатації нових типів повітряних кораблів (ПК);
- зміни в системі професійної підготовки та перепідготовки персоналу з ОПР;
- нові операційні процедури, види обслуговування (процедури прибуття та вильоту, польоти у зонах очікування та ін.);
- реорганізація повітряного простору (зміна структури маршрутів, розподіл на сектори, введення обмежень польотів);
- зміна мінімумів ешелонування в повітряному просторі;

– зведення нових аеродромних споруд, модифікація експлуатаційних процедур на аеродромі (пошуку та рятування, пожежного забезпечення та ін.).

Методи ідентифікації небезпек

Функціональна оцінка можливих небезпек у системі ОПР являє собою впорядкований процес, що ініціюється на початку впровадження змін в аеронавігаційній системі. Ідентифікувати можливі небезпек потрібно на ранніх стадіях реалізації проектів з реорганізації аеронавігаційної системи.

Процедури ідентифікації небезпек передбачають аналіз усіх чинників, за якими можливі відмови в системі ОПР [2]:

- обладнання та програмне забезпечення (інтерфейс «людина – машина»);
- внутрішнє (мікроклімат робочого місця) та зовнішнє (динамічна повітряна обстановка, метеорологічні умови та ін.) оточення на робочому місці авіаційного диспетчера;
- людський фактор;
- операційні процедури забезпечення функціональності та технічної підтримки.

Методи ідентифікації небезпек та ризиків в аеронавігаційній системі охоплюють три основні підходи:

- 1) історичний – аналіз наявної інформації про події, пов'язані з порушенням процедур щодо безпеки польотів (аварії, катастрофи та інциденти) за кожним елементом аеронавігаційної системи;
- 2) аналітичний – проведення досліджень групою експертів на різних етапах упровадження змін в аеронавігаційній системі;
- 3) систематичний – виконання заходів, спрямованих на оцінювання можливих відмов в аерона-

вігаційній системі та зосередження на аналізі критичності відмов та функціональності системи, а також на ймовірних небезпеках.

Аналітичний метод ґрунтується на проведенні нарад спеціалістів, які опанували методики експертної оцінки безпеки польотів.

Експерти формують перелік категорій небезпеки, що пов'язані зі змінами в аеронавігаційній системі, а також систематизують конфліктні сценарії розвитку подій.

Зважаючи на той факт, що ідентифікація небезпек – один із найбільш важливих етапів оцінювання безпеки, виокремлюють ще один альтернативний метод аналізу виникнення негативних факторів, що можуть призвести до інцидентів або катастроф. Цей метод має назву «дерево події» і застосовується як допоміжний для ідентифікації небезпек та оцінюванні ризиків.

Метод ґрунтується на перевірці можливих випадкових обставин та системних бар'єрів, що можуть виявлятися в разі небезпеки виникнення інцидентів чи катастроф. Це допомагає відобразити більш реалістичну оцінку наявних небезпек та ризиків і забезпечити зменшення ймовірності виникнення негативних ситуацій шляхом розміщення відповідних бар'єрів.

Дерево події можна використовувати і після катастрофи для з'ясування причин, імовірності повторення і визначення напрямів, де потрібно доповнити систему бар'єрами для уникнення повторення подібної аварійної ситуації.

Оцінювання значущості результатів ідентифікації небезпеки

З метою забезпечення більш досконалого підходу до оцінювання рівня серйозності небезпеки можна застосовувати індикатори, що наведені в табл. 1.

Застосовуючи подібні класифікаційні схеми, слід звертати увагу на таке:

- схема класифікації серйозності подій є допоміжним засобом суб'єктивної оцінки;
- класифікація має переглядатися залежно від функцій елементів системи ОНР.

Оцінювання та зменшення ризиків

Ризик визначають через порівняння серйозності події та ймовірності її виникнення. При цьому використовують класифікаційні схеми рівня ризику (табл. 2). Провайдери аеронавігаційних послуг можуть розроблювати свої власні матриці класифікації ризику за погодженням з національною авіаційною адміністрацією.

Рівні ризику, що наведені в табл. 2, інтерпретуються таким чином.

Прийнятний ризик означає, що цілі й завдання безпеки польотів реалізуються. Надалі можна

розроблювати заходи щодо зменшення певного рівня ризику наскільки це практично можливо (ALARP, As low as reasonably practicable).

Аналіз означає, що результат є предметом додаткового перегляду і заходи ALARP потрібні. Після застосування заходів ALARP ризик зазначеної категорії може стати прийнятним.

Неприйнятний ризик означає, що серйозність і ймовірність небезпечної події не відповідають чинним стандартам безпеки польотів. Така категорія ризику може потребувати вжиття комплексних заходів щодо зменшення ризику чи суттєвої зміни відповідного компонента системи ОНР.

Заходи щодо зменшення ризику полягають у зниженні показників значущості події чи ймовірності її виникнення. Досягнення прийнятного рівня ризику може потребувати сукупності заходів щодо зменшення ризику [2]:

- перегляду дизайну системи (компонентів);
- модифікації операційних процедур;
- змін вимог до персоналу, їх посадових обов'язків;
- розроблення відповідних планів на випадок непередбачуваних ситуацій;
- тимчасового припинення експлуатації.

Методика аналізу ризику, що застосовується Eurocontrol

У дослідженнях, що проводились Eurocontrol, були детально розглянуті можливі небезпеки під час виконання мінімального розділу маршрутів ОНР за типом RNP1. У ході дослідження встановлено, що аналіз небезпек та ризиків у системі ОНР досить перспективний. Тому доцільно продовжити розроблення повномасштабної моделі оцінювання ризику зіткнення ПК, включаючи заходи щодо зниження ризику.

Загальну методику аналізу ризику зіткнення ПК за наявності диспетчерського ОНР схематично зображено на рис. 1.

Основні елементи моделі ризику:

- виявлення сценаріїв, що можуть призвести до порушення ешелонування або можливого зіткнення ПК;
- виявлення небезпек зіткнення ПК на маршрутах ОНР та частоти їх виникнення;
- розрахунок ризику зіткнення двох ПК за припущення, що відхилення від заданої траєкторії не будуть усунені (модель Райха);
- розрахунок імовірності виявлення та виправлення відхилення пілотом ПК або службою ОНР;
- визначення результуючої загальної ймовірності зіткнення, незважаючи на можливість здійснення спостереження.

Модель дозволяє виконувати розрахунок ризику за заданих умов та різних інтервалів між лініями шляху ПК.

Таблиця 1

Вплив небезпеки на аеронавігаційне обслуговування

Індикатори серйозності	Клас серйозності				
	1	2	3	4	5
Межа визначеної відповідальності	Повна неможливість забезпечувати безпечне обслуговування	Серйозна неможливість безпечного обслуговування	Часткова неможливість безпечного обслуговування	Здатність безпечного обслуговування, але є відхилення в обслуговуванні	Немає ефектів
Умови роботи екіпажу та диспетчера	Завантаженість, стрес або умови, що не дають змоги виконувати свої функції повністю	Завантаженість, стрес або умови, що не дають змоги виконувати свої функції ефективно	Завантаженість, стрес або умови, що мають суттєвий вплив на умови роботи	Завантаженість, стрес або умови, що несуттєво впливають на умови роботи	Немає ефектів
Можливості диспетчера та екіпажу впоратися з негативними умовами	Неможливо	Велике зменшення можливості	Суттєве зменшення можливості	Незначне зменшення можливості	Немає ефектів
Тривалість впливу небезпеки	Наявність небезпеки має постійний характер	Небезпека наявна протягом переважної більшості часу	Небезпека наявна в певний проміжок часу	Небезпека є, але суттєвих наслідків не очікується	На стільки швидко, що ефектів з погляду безпеки не може бути
Кількість ПК під впливом небезпеки	Усі ПК у зоні відповідальності	Усі ПК у кількох секторах обслуговування	Повітряні кораблі в невеликому географічному районі чи районі з малою інтенсивністю польотів	Один ПК	Немає ПК
Імовірність виникнення несприятливих умов	Від повторюваної до постійної	Висока	Невисока	Низька	Рідко

Таблиця 2

Класифікаційна схема рівнів ризику

Ризик	Імовірність події				
	Вкрай неімовірна ($<10^{-9}$ за 1 год)	Можливо імовірна ($10^{-7} - 10^{-9}$ за 1 год)	Імовірна ($10^{-5} - 10^{-7}$ за 1 год)	Найбільш імовірна ($10^{-3} - 10^{-5}$ за 1 год)	Повторювана ($1 - 10^{-3}$ за 1 год)
Авіаційні події	Аналіз	Неприйнятний	Неприйнятний	Неприйнятний	Неприйнятний
Серйозні інциденти	Прийнятний	Аналіз	Неприйнятний	Неприйнятний	Неприйнятний
Великі інциденти	Прийнятний	Прийнятний	Аналіз	Неприйнятний	Неприйнятний
Значущі інциденти	Прийнятний	Прийнятний	Прийнятний	Аналіз	Неприйнятний
Немає раптового впливу	Прийнятний	Прийнятний	Прийнятний	Прийнятний	Аналіз

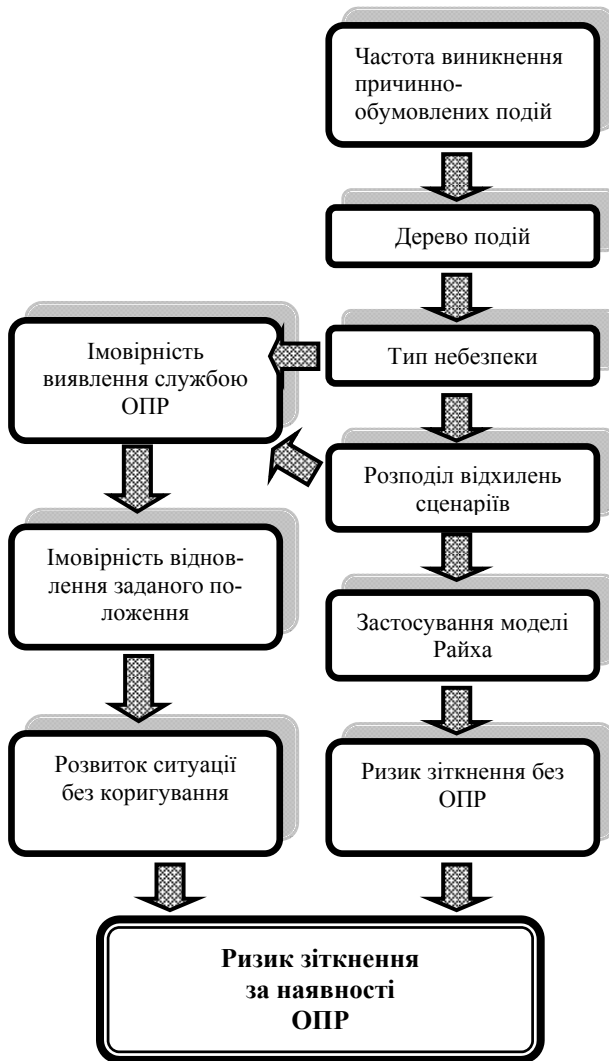


Рис. 1. Загальна методика аналізу небезпеки ризику зіткнення ПК за наявності диспетчерського ОПР

Критерії оцінювання ризику зіткнень повітряних кораблів за методологією ІКАО

Відповідно до методології ІКАО для забезпечення заходів з контролю безпеки польотів використовують такі показники:

- прийнятний рівень безпеки L_n ;
- цільовий рівень безпеки TLS (Target Level of Safety);
- дотримуваний рівень безпеки L_c .

Якщо цільовий рівень безпеки польотів, що дорівнює 10^{-7} , не забезпечується, діяльність служби ОПР вважається незадовільною і необхідні додаткові організаційні заходи для дотримання нормативного рівня. Для надійного обчислення TLS потрібно мати статистичні дані за тривалий період часу.

Комплекс заходів, що застосовується ІКАО для забезпечення нормативного рівня безпеки польотів у системі ОПР, має два основні завдання:

- установлення TLS;

- оцінювання фактичного рівня безпеки L_c і порівняння його з установленим TLS.

Методика ґрунтується на моделі оцінювання ризику зіткнень ПК, що запропонована Рейхом. Цю модель можна використовувати з урахуванням таких припущень:

- ризик зіткнення ПК N_a унаслідок порушення норм бокового ешелонування у всіх трьох вимірах x, y, z однаковий, тобто

$$N_{ax} = N_{ay} = N_{az};$$

- не враховується можливість авіакатастрофи під час польоту у вихровому потоці, утвореному іншим ПК;

- не враховується можливість зменшення ризику зіткнень виконанням маневру для запобігання зіткненню за візуального виявлення іншого ПК;
- передбачається незалежність помилок витримання висоти і лінії шляху, витримання ліній шляху різними ПК, поздовжніх положень двох ПК.

Повітряний корабель уявляється прямокутним паралелепіпедом із геометричними розмірами $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$. Без контролю повітряної ситуації і можливості коригування траєкторії польоту ризик зіткнень через порушення бокового ешелонування визначають як

$$N_{ay} = 10^7 \{N_x P_y P_z + N_y P_z P_x + N_z P_x P_y\},$$

де N_r – кількість перекриттів паралелепіпедів, що еквівалентні ПК, у напрямку r ($r = x, y, z$) за 1 год польоту;

P_r – імовірність перекриття в напрямку r .

Для проектування та реорганізації структури маршрутів ОПР важливим є оцінювання ризику зіткнення ПК. Відповідно до методики ІКАО ризик зіткнення ПК унаслідок порушення бокового ешелонування N_{ay} визначається кількістю авіаційних подій за 10^7 год польоту.

Оцінювання ризику зіткнень повітряних кораблів

Принципи оцінювання ризику зіткнень ІКАО та Eurocontrol можуть застосовуватися для оцінювання ризику як в існуючих системах ОПР, так і в майбутній системі. Метод оцінювання ризику полягає у визначенні прийнятного рівня ризику – заданого рівня безпеки (TLS).

У процесі виконання технологічних операцій з ОПР можливі відхилення від оптимальних значень параметрів системи, що призводить до появи спектра негативних ситуацій. Причому ускладнення ситуацій визначається послідовністю подій. У процесі розвитку негативного явища в за-

гальному випадку можуть бути декілька причин, які послідовно ускладнюють ситуації та призводять до авіаційних подій.

Граф розвитку повітряної обстановки для одного ПК, який перебуває у потенційно-конфліктній ситуації, зображено на рис. 2 [1].

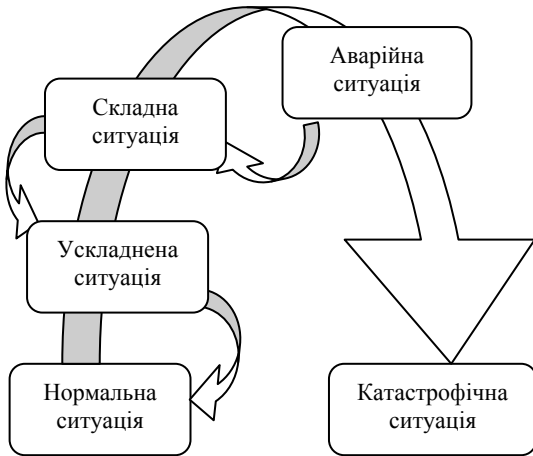


Рис. 2. Можливий розвиток динамічної повітряної обстановки

У цьому випадку припускається, що параметри руху і ОПР для одного ПК відхиляються від нормативних значень, а інших ПК – не змінюються. П'яти ситуаціям (рис. 2) припишемо апіорні ймовірності $p_i, i = \overline{1,5}$. Причому ситуації пронумеровано зверху вниз і катастрофічна ситуація є останньою [1].

За обраною щільністю ймовірності $f(x)$ ситуацій апіорну ймовірність перебування ПК в i -й зоні розраховуємо за формулою

$$p_i = \int_L f(x) dx, \tag{1}$$

де L_i – величина відхилення відповідної i -ї ситуації ($L_i \in L$).

Підінтегральна функція (1) є визначеною щільністю:

$$f(x) = (1-a) \frac{1}{2a_1 b_1 \Gamma(b_1)} \exp\left(-\left|\frac{(x-\mu)}{a_1}\right|^{1/b_1}\right) + a \frac{1}{2a_2 b_2 \Gamma(b_2)} \exp\left(-\left|\frac{(x-\mu)}{a_2}\right|^{1/b_2}\right),$$

де гамма – функцію $\Gamma(b)$ визначено як

$$\Gamma(b) = \int_0^\infty e^{-t} t^{b-1} dt.$$

Для рис. 2 ймовірності перебування ПК в одній з п'яти визначених ситуацій запишемо таким чином:

– ймовірність перебування ПК в нормальній ситуації:

$$p_1 = \int_{A_0-l}^{A_0+l} f(x) dx \int_{A_0-l}^{A_0+l} \varphi(x) dx,$$

де A_0 – початок відліку ($A_0 = 0$);

$\pm l$ – ширина коридору;

$f(x)$ – апіорна функція розподілу з параметрами m_1, σ_1 ;

$\varphi(x)$ – апостеріорна функція розподілу з параметрами m_2, σ_2 ;

– ймовірність перебування ПК в ускладненій ситуації:

$$p_2 = \left[\int_{A_0-\frac{\delta}{2}}^{A_0-l} f(x) dx + \int_{A_0+l}^{A_0+\frac{\delta}{2}} f(x) dx \right] \times \left[\int_{A_0-\frac{\delta}{2}}^{A_0-l} \varphi(x) dx + \int_{A_0+l}^{A_0+\frac{\delta}{2}} \varphi(x) dx \right],$$

де δ – відстань між коридорами;

– ймовірність перебування ПК в складній ситуації:

$$p_3 = \left[\int_{A_0-\delta+l}^{A_0-\frac{\delta}{2}} f(x) dx + \int_{A_0+\frac{\delta}{2}}^{A_0+\delta-l} f(x) dx \right] \times$$

$$\left[\int_{A_0-\delta+l}^{A_0-\frac{\delta}{2}} \varphi(x) dx + \int_{A_0+\frac{\delta}{2}}^{A_0+\delta-l} \varphi(x) dx \right];$$

– ймовірність перебування ПК в аварійній ситуації:

$$p_4 = \left[\int_{A_0-\delta+k}^{A_0-\delta+l} f(x) dx + \int_{A_0+\delta-l}^{A_0+\delta-k} f(x) dx \right] \times$$

$$\left[\int_{A_0-\delta+k}^{A_0-\delta+l} \varphi(x) dx + \int_{A_0+\delta-l}^{A_0+\delta-k} \varphi(x) dx \right],$$

де $\pm k$ – розмах крил ПК;

– ймовірність перебування ПК в катастрофічній ситуації:

$$p_5 = \left[\int_{A_0-\delta-k}^{A_0-\delta+k} f(x) dx + \int_{A_0+\delta-k}^{A_0+\delta+k} f(x) dx \right] \times$$

$$\left[\int_{A_0-\delta-k}^{A_0-\delta+k} \varphi(x) dx + \int_{A_0+\delta-k}^{A_0+\delta+k} \varphi(x) dx \right].$$

Таким чином, перебування ПК в певній несприятливій ситуації зумовлює рівень та перелік можливих ризиків і потребує відповідних скоординованих дій від екіпажу ПК та служби ОПП.

Висновки

Упровадження нових технічних засобів у системі ОПП, модернізація робочих місць, використання автоматизованих систем ОПП дозволяють зменшити кількість небезпечних зближень та зіткнень ПК.

Методики ICAO та Eurocontrol можна застосовувати для обґрунтування норм бокового ешелонування, розрахунку допустимої пропускної здатності сектору ОПП, потрібних характеристик точності й надійності засобів зв'язку, навігації та спостереження в аеронавігаційній системі.

Порівняння ризиків та прийнятного TLS дає змогу визначити мінімальний інтервал між лініями шляху.

Крім того, моделі Eurocontrol та ICAO дозволяють визначити чутливість ризику до різних

небезпек і забезпечують ефективний зворотний зв'язок щодо взаємозв'язків між небезпеками та результируючим ризиком.

Література

1. *Безпека авіації* /В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. *Керівництво з проведення оцінки безпеки в системі організації повітряного руху України*: Наказ Державіаслужби №478 від 5 липня 2006 р. – К.: Мінтранс, 2006. – 53 с.
3. *Положення про нагляд за безпекою польотів при організації повітряного руху*: Наказ Державіаслужби №917 від 5 грудня 2005 р. – К.: Мінтранс, 2005. – 29 с.
4. *ESARR 1. Safety oversight in ATM*. – Brussels: Eurocontrol, 2004. – 24 p.
5. *ESARR 2. Reporting and assessment of safety occurrences in ATM*. – Brussels: Eurocontrol, 2000. – 30 p.
6. *ESARR 3. Use of safety management systems by ATM service providers*. – Brussels: Eurocontrol, 2000. – 17 p.
7. *Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования*. – Монреаль: ICAO, 1998. – 178 с.

Стаття надійшла до редакції 05.09.07.