

## АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 629.7.07

**В.П. Харченко**, д-р техн. наук, проф.  
**Ю.В. Чинченко**, канд. техн. наук, доц.  
**С.Г. Райчев**, асп.  
**О.Є. Луппо**, канд. пед. наук, доц.

### ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ В АЕРОНАВІГАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ МЕТОДАМИ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

*Запропоновано методикку аналізу ризиків в аеронавігаційній системі із застосуванням теорії нечітких множин. Проаналізовано результати експериментальних досліджень щодо кількісно-якісного оцінювання ризиків, що є типовими для системи обслуговування повітряного руху України.*

*The method of risk analysis in the aeronautical system with application of fuzzy logic theory is proposed. Results of experimental researches about quantitative-qualitative estimation of risks, which are typical for the air traffic system are analyzed.*

#### Постановка проблеми

Безпека польотів являє собою комплексну категорію, що має бути врахована на всіх етапах діяльності аеронавігаційної системи. Загалом безпеку польотів розглядають як здатність авіаційної транспортної системи виконувати свої функції без завдання збитків (з мінімальними збитками) самій системі або користувачам [1].

Якість функціонування авіаційної транспортної системи обумовлюється великою кількістю взаємозалежних факторів, назвати які непросто, враховуючи складність виробничих процесів під час обслуговування повітряного руху (ОПР).

Розглянемо характеристики системи ОПР, що найбільше впливають на безпеку польотів:

- структура та організація повітряного простору з урахуванням інтенсивності (щільності) руху повітряних кораблів (ПК);
- технічні засоби та технологічні процедури щодо виявлення потенційно конфліктних ситуацій у повітряному просторі;
- характеристики систем зв'язку, навігації, спостереження для забезпечення потреб ОПР та виконання польотів ПК;
- людський фактор в авіації (екіпажі ПК, авіаційні диспетчери, персонал з технічного обслуговування ПК).

Безпека польотів – відносне поняття, яке припускає, що в «безпечній» системі наявність природних факторів ризику вважається прийнятною ситуацією. Жоден вид людської діяльності не може гарантовано вважатися абсолютно безпечним, тобто вільним від ризику, тому безпека польотів розглядається як безперервний процес контролю факторів ризику в аеронавігаційній системі [1; 2].

#### Процес керування безпекою

У наш час актуальним завданням є створення систем керування безпекою (Safety Management System), що являє собою впорядкований підхід до забезпечення безпеки польотів та включає необхідні організаційні структури, сфери відповідальності, політику і процедури.

Система керування безпекою має вирішувати такі завдання [2]:

- застосування потрібних корегувальних заходів для зменшення впливу факторів ризику на діяльність аеронавігаційної системи;
  - періодичне виконання процедур щодо виявлення фактичних та потенційних загроз (небезпек) у діяльності цивільної авіації;
  - безперервний моніторинг і регулярне оцінювання фактичного рівня безпеки польотів.
- Комплекс організаційних заходів із забезпечення нормативного рівня безпеки польотів має включати концепцію керованого ризику. В основу цієї концепції покладено методи оцінювання ризиків, їх прогнозування та прийняття рішення.
- Виділимо основні етапи керування ризиками в аеронавігаційній системі:
- планування, у процесі якого потрібно встановити критерії прийнятності ризику;
  - ідентифікація небезпек (ризиків) за всіма напрямками діяльності;
  - аналіз параметрів динамічної повітряної обстановки та виробничого середовища на робочих місцях операторів.

Одним із ключових елементів сучасної системи керування безпекою є дослідження та оцінювання можливих ризиків, тому розглянемо питання вдосконалення методик оцінювання та керування ризиками в аеронавігаційній системі.

Для того, щоб рівень ризику залишався прийнятним в умовах розширення діяльності авіації, сучасна практика керування безпекою польотів переходить від реагування на авіаційні події до проактивного методу. Цей підхід доповнює зобов'язання держав з дотримання стандартів та рекомендованої практики ICAO і національних нормативних положень щодо забезпечення належного рівня безпеки польотів.

Сучасний підхід керування безпекою польотів передбачає:

- застосування науково-обґрунтованих методів керування факторами ризику;
- корпоративну культуру безпеки, що сприяє застосуванню безпечної практики, заохочує надання інформації, що стосується безпеки польотів і активно впливає на керування безпекою польотів;
- ефективне дотримання стандартних експлуатаційних процедур, включаючи використання контрольних переліків та інструктажу;
- кваліфіковане розслідування авіаційних подій і серйозних інцидентів, спрямоване на виявлення системних недоліків у забезпеченні безпеки польотів, а не тільки на пошук винних;
- забезпечення комплексної підготовки персоналу у сфері безпеки польотів, включаючи аспекти людського фактора;
- систематичні перевірки стану безпеки польотів і моніторинг результатів з метою проведення аналізу показників безпеки польотів і зменшення або усунення проблем.

Комплексне застосування наведених елементів може підвищити стійкість авіаційної системи до небезпечних подій і умов.

### **Методика оцінювання ризику**

Аналіз стану безпеки передбачає врахування концепції ризику, зважаючи на те, що безпека безпосередньо виражається через ризик. Оцінюючи прийнятність ризику, пов'язаного з певною небезпекою, потрібно враховувати як імовірність небезпечного випадку, так і ступінь серйозності потенційних наслідків.

Дані щодо рівня ризику можна класифікувати за такими ознаками [2]:

- неприйнятні рівні ризику (можливі події достатньо небезпечні, тому мають бути усунені);
- прийнятні рівні ризику (можливі події незначною мірою впливають на безпеку);
- рівні ризику, що існують між першими двома категоріями (необхідно оцінити компроміс між ступенем ризику й економічними вигодами).

Якщо фактор ризику не задовольняє встановлені критерії, слід знизити його до прийнятного рівня, використовуючи наявні методи зменшення ризику. Класифікуємо фактори ризику, порівнюючи ймовірності несприятливого результату з потенційним ступенем серйозності цього результату (табл. 1).

Серйозність ризику класифікується як катастрофічна, небезпечна, значна, незначна або дуже незначна з описом кожної категорії, в якому вказується потенційна вагомість наслідків.

Імовірність настання авіаційної події класифікується з використанням п'яти рівнів якісних показників (часто, періодично, рідко, малоймовірно, практично неможливо) з описом ступеня ймовірності події.

У табл. 2 наведено матрицю для оцінювання прийнятності ризику. Між прийнятним і неприйнятним ризиком існує певна зона, де рішення щодо прийнятності не є чітко вираженим. Кожний випадок треба проаналізувати, урахувавши його позитивні чинники та вигоди, одержувані в результаті здійснення пропонованих змін і рівня ризику (табл. 3).

Якщо ризик не задовольняє заздалегідь установлені критерії прийнятності, то слід спробувати зменшити його до прийнятного рівня або, якщо це нездійсненно, до найменшого практично можливого рівня, використовуючи відповідні процедури з його зниження.

Можливі підходи до зменшення ризику включають:

- перегляд проекту системи;
- перегляд експлуатаційних правил;
- зміни в штатному розкладі;
- навчання персоналу методам нейтралізації небезпечних факторів.

### **Застосування методів теорії нечітких множин**

Для опису ймовірності настання авіаційної події використовують якісні показники:

- часто;
- періодично;
- рідко;
- малоймовірно;
- практично неможливо.

Щоб кількісно оцінити ці показники застосуємо методи теорії нечітких множин.

Таким чином, отримуємо можливість кількісного зіставлення показників імовірності настання авіаційної події для використання у процесі оцінювання безпеки польотів в аеронавігаційній системі.

Таблиця 1

## Матриця оцінювання ризику

Серйозність ризику	Наслідки	Ступінь	Якісна характеристика	Імовірність події	Ступінь
Катастрофічна	Руйнування обладнання. Численні людські жертви	A	Часто	Може відбуватися багаторазово	5
Небезпечна	Серйозне зменшення «запасу міцності». Фізичний біль або навантаження, що не дозволяють гарантувати повне виконання операторами своїх завдань. Серйозні травми або смерть великої кількості людей. Значне пошкодження обладнання	B	Періодично	Може відбуватися час від часу	4
Значна	Суттєве зменшення «запасу міцності». Зниження здатності операторів долати несприятливі експлуатаційні умови в результаті підвищення робочого навантаження або внаслідок умов, що знижують ефективність їх роботи. Серйозний інцидент. Тілесні ушкодження	C	Рідко	Малоймовірно, але може відбуватися	3
Незначна	Перешкоди. Експлуатаційні обмеження. Використання аварійних процедур. Незначний інцидент	D	Малоймовірно	Дуже малоймовірно	2
Дуже незначна	Малозначні наслідки	E	Практично неможливо	Можливість настання події практично виключена	1

Таблиця 2

## Схема класифікації ризику

Імовірність події	Серйозність наслідків				
	A (катастрофічні)	B (небезпечні)	C (значні)	D (незначні)	E (дуже незначні)
5 (часто)	5A	5B	5C	5D	5E
4 (періодично)	4A	4B	4C	4D	4E
3 (рідко)	3A	3B	3C	3D	3E
2 (малоймовірно)	2A	2B	2C	2D	2E
1 (практично неможливо)	1A	1B	1C	1D	1E

Таблиця 3

## Оцінка рівня ризику

Індекс ризику	Характеристика рівня ризику
5A, 5B, 5C, 4A, 4B, 3A 5D, 4E, 4C, 3B, 3C, 2A, 2B 4D, 4E, 3D, 2C, 1A, 1B 3E, 2D, 2E, 1C, 1D, 1E	Неприйнятний в існуючих умовах Потрібний контроль рівня ризику та організаційні заходи, спрямовані на його зниження Прийнятний після перегляду експлуатаційних умов Прийнятний

Нечіткою підмножиною  $\tilde{R}$  множини  $S$  називають сукупність пар [3]:

$$\tilde{R} = \left\{ \left\langle \frac{\mu_R(x)}{x} \right\rangle \right\}, \quad x \in S, \quad \mu_R(x) \in [0, 1].$$

Функція належності  $\mu_R : S \rightarrow [0,1]$  ставить у відповідність кожному елементу  $x \in S$  число з інтервалу  $[0,1]$ , що характеризує ступінь належності  $x$  нечіткій підмножині  $\tilde{R}$  [3].

Після виконання операцій конвертації з показниками ймовірності настання авіаційної події можливі такі теоретико-множинні операції [3]:

– доповнення:

$$-\tilde{R} = \left\{ \left\langle \frac{1 - \mu_R(x)}{x} \right\rangle \right\}, \quad \forall x \in S;$$

– перетинання:

$$\tilde{R}_1 \cap \tilde{R}_2 = \left\{ \left\langle \frac{\mu_{R_1}(x) \& \mu_{R_2}(x)}{x} \right\rangle \right\}, \quad \forall x \in S;$$

– об'єднання:

$$\tilde{R}_1 \cup \tilde{R}_2 = \left\{ \left\langle \frac{\mu_{R_1}(x) \vee \mu_{R_2}(x)}{x} \right\rangle \right\}, \quad \forall x \in S.$$

Для порівняння кількісних і якісних оцінок ймовірності настання авіаційних подій застосуємо узагальнену лінгвістичну змінну «ймовірність настання авіаційної події», яка характеризується [3]:

$$(X, T^M(X), S, C, M),$$

де  $X$  – назва змінної;

$T^M(X)$  – терм-множина змінної  $X$ , що являє собою множину лінгвістичних (вербальних) значень змінної з областю визначення  $S$ ;

$C$  – синтаксичне правило, що визначає назви вербальних значень змінної  $X$ ;

$M$  – семантичне правило, що ставить у відповідність змінній  $X$  її зміст.

Під час побудови лінгвістичних змінних використовують такі класи розпливчастих категорій [3]:

– кваліфікатори  $\bar{c}$  – розпливчасті категорії, що характеризують ознаку параметра за допомогою розмірної шкали низький, середній та високий;

– модифікатори  $\bar{h}$  – розпливчасті категорії, що уточнюють значення кваліфікаторів за інтенсивністю певної характеристики параметра дуже та помірно.

У нашому випадку під час побудови лінгвістичної змінної «ймовірність настання авіаційної події» було використано такі розпливчасті категорії:

часто, періодично, рідко, малоймовірно, практично неможливо (табл. 4).

Таблиця 4

**Терм-множина лінгвістичної змінної «ймовірність настання авіаційної події»**

Терм-множина $T^M(X) (i = \overline{1,7})$	Рангова відповідність ( $T_i$ )
Часто	$T_1$
Періодично	$T_2$
Рідко	$T_3$
Малоймовірно	$T_4$
Практично неможливо	$T_5$

Припустимо, що

$T^M = \{T_i\} (i \in L = \{1, 2, \dots, m\})$  – базова терм-множина узагальненої лінгвістичної змінної «ймовірність настання авіаційної події»  $(X, T^M(X), S, C, M)$ . Позначимо  $\inf X$  через  $x_1$ ,

а  $\sup X$  через  $x_2$ . Застосуємо нечітку змінну  $\langle T_i, X, \tilde{R}_i \rangle$ , що відповідає терму  $T_i \in T^M$ ,

$$\text{де } \tilde{R}_i = \left\{ \left\langle \frac{\mu_{R_i}(x)}{x} \right\rangle \right\} (x \in X),$$

$R_i$  – носій нечіткої множини  $\tilde{R}_i$ , що містить ті елементи з  $X$ , для яких значення функції належності більше нуля.

Потім упорядкуємо терм-множину  $T^M(X)$  відповідно до виразу [3]:

$$(\forall T_i \in T^M);$$

$$(\forall T_j \in T^M);$$

$$(i > j \leftrightarrow (\exists x \in R_i)(\forall y \in R_j)(x > y)).$$

Отже, якісна шкала оцінок ймовірності настання авіаційної події впорядкована так:

$$T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5.$$

Функції належності  $(\mu_{R_i}(x))$  лінгвістичної змінної «ймовірність настання авіаційної події» побудовані з урахуванням таких вимог [3]:

– функції належності крайніх термів не повинні мати вигляд «дзвонуватих» кривих:

$$\mu_{R_1}(x_1) = 1, \mu_{R_m}(x_m) = 1;$$

– у базовій множині  $T^M(X)$  не має бути пар термів, між якими немає явного розрізнення понять або навпаки знаходяться сегменти  $[a, b]$ , яким не відповідає жодне поняття:

$$(\forall T_i \in T^M \setminus \{T_m\})(0 < \sup_{x \in X} \mu_{R_i \cap R_{i+1}}(x) < 1);$$

– оскільки кожне поняття має, як мінімум, один типовий об'єкт, у базовій множині  $T^M(X)$  не має бути термів, в яких  $\max \mu_{R_i}(x)$  менше 1:

$$(\forall T_i \in T^M)(\exists x \in X)(\mu_{R_i}(x) = 1).$$

Для того, щоб нечітку множину ( $\tilde{R}_i$ ) можна було використовувати для оцінювання чіткої множини  $M_i$  (кількісних значень показників імовірності настання авіаційних подій), потрібно встановити відповідність між  $\tilde{R}_i$  та  $M_i$ .

Для визначення ступеня близькості між  $\tilde{R}_i$  та  $M_i$  використовують узагальнену відстань Хеммінга [3]:

$$d(A, B) = \sum_{i=1}^n |\mu_{\tilde{A}}(x_i) - \mu_{\tilde{B}}(x_i)|,$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x_i), \mu_{\tilde{B}}(x_i) \in [0, 1], i = \overline{1, n}.$$

Для побудови функцій належності термів лінгвістичної змінної «імовірність настання авіаційної події» було проведено експертне опитування фахівців у галузі обслуговування повітряного руху України з використанням методу обробки статистичних даних [3–5], в якому ступінь належності елемента підмножині ( $\tilde{R}_i$ ) визначається за експертною оцінкою частоти застосування поняття для характеристики елемента.

Під час експертного опитування було використано метод прямого індивідуального анонімного оцінювання [3] без особистих контактів експертів та колективних обговорень, зі збереженням анонімності оцінок. Експертам пропонувалось зіставити кількісні значення імовірності настання авіаційної події з їх якісними еквівалентами із застосуванням лінгвістичної змінної «імовірність настання авіаційної події» (рис. 1).

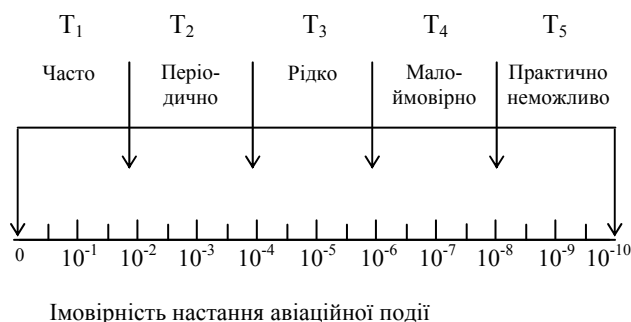


Рис. 1. Відповідність кількісних та якісних значень показників імовірності настання авіаційної події

## Висновки

Отримані під час експертного опитування лінгвістичні змінні «імовірність настання авіаційної події» дозволяють забезпечити подання інформації щодо імовірності настання авіаційної події у зручній для сприйняття формі (рис. 2).

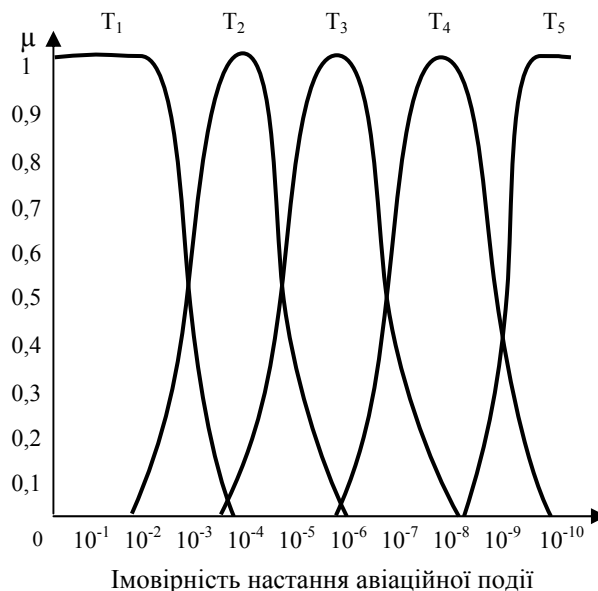


Рис. 2. Функції належності термів лінгвістичної змінної «імовірність настання авіаційної події»

Це сприятиме вдосконаленню засобів подання інформації щодо рівня безпеки польотів в аеронавігаційній системі та дозволить ефективно виконувати аналіз та узагальнення цієї інформації.

## Література

1. *Безпека авіації* / В.П. Бабак, В.П. Харченко, В.О. Максимов та ін. – К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. *DOC 9859 AN/460*. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). – Монреаль: ИКАО, 2006. – 364 с.
3. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
4. *Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмишин Н.А.* Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
5. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.