

## АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 621.396:351.814

<sup>1</sup>В.П. Харченко, д-р техн. наук  
<sup>2</sup>С.А. Знаковська

### МОДЕЛЮВАННЯ ПОРУШЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ДЕРЕВА РИЗИКУ І МОДЕЛЮВАННЯ РІДКІСНИХ ПОДІЙ

Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ  
e-mail: <sup>1</sup>kharch@nau.edu.ua, <sup>2</sup>zea@nau.edu.ua

*Запропоновано вдосконалення методу дерева ризику за допомогою моделювання рідкісних подій при оптимальній допоміжній вибірці.*

#### Вступ

Відомий метод дерева ризику [1] є методом графічного представлення логічного зв'язку між окремим станом відмови і причинами або відмовами, що призводять до цього стану. Метод дає наочне уявлення про послідовності і сполучення подій, що викликають стан відмови системи. Цей метод може також використовуватися для визначення ймовірності виникнення завершальної події.

Допустима ймовірність  $P_a$  виникнення такої події встановлюється шляхом призначення ризику, а дерево відмов використовується для наступного поділу цього ризику на його складові, що відносяться до цілісності і безперервності обслуговування. На основі цього методу було визначено допустиме значення  $P_a$ , яке дорівнює  $3 \times 10^{-9}$  [1].

У даній роботі значення ймовірності порушення цілісності основного наведення  $P_i$  засновані на допущенні про значення часу прольоту перешкод та значення середнього наробітку між виходами з ладу (MTBF) для навігаційних елементів відповідно.

#### Постановка завдання

Завдання полягає в моделюванні ймовірності порушення цілісності основного наведення  $P_i$ , тобто удосконаленні методу дерева ризику, а також моделювання ймовірності  $P_a$  з урахуванням обчисленої ймовірності  $P_i$ .

Моделювати цю ймовірність будемо за методом моделювання рідкісних подій [2] при оптимальній допоміжній вибірці [3].

#### Моделювання ймовірності виникнення завершальної події

Метод дерева ризику передбачає наявність систем основного і допоміжного наведення (рис. 1). Як основну систему наведення візьмемо систему MLS, що працює в умовах категорії I, а за допоміжну систему наведення – супутникову

систему посадки. Система CNS/ATM прийняла концепцію необхідних навігаційних характеристик (RNP), що дозволить повітряним кораблям забезпечувати визначення свого місцезнаходження у строго визначеному районі повітряного простору з потрібною точністю.

Типи RNP для етапів заходу на посадку та посадки потребують відповідного витримування траєкторії у горизонтальній та вертикальній площинах. Обчислюємо цілісність для п'яти випадків, змінюючи норми ешелонування для методу одиничних повітряних кораблів [4].

У розрахунку будемо використовувати тільки два навігаційних елементи за азимутом та кутом місця.

1. Ймовірність фактора зменшення ризику того, що пілот не здатний знайти порушення цілісності основного наведення й успішно втрутитися в керування після такої події  $P_k$ , дорівнює одиниці. Передбачається, що пілот не здатний втрутитися в керування у випадку порушення цілісності наземної системи.

2. Ймовірність порушення неперервності основного наведення  $P_p$  обчислюється за формулою:

$$P_p = P_{p1} + P_{p2} + \dots + P_{pn}. \quad (1)$$

Передбачається відсутність допоміжного наведення після порушення неперервності основного наведення і звичайна процедура полягає у витримуванні курсу і здійсненні набору висоти.

Для розглянутого випадку ймовірність порушення неперервності основного наведення буде складатися з перших доданків виразу (1)

$$P_{p1} = 8 \times 10^{-7}; \quad P_{p2} = 4 \times 10^{-7};$$

$$P_p = P_{p1} + P_{p2}; \quad P_0 = 1,2 \times 10^{-6}.$$

Ці значення отримані за умови, що термін прольоту перешкод становить 30 і 15 с, а кожне MTBF дорівнює 10 тис. год для каналів азимуту і куту місця відповідно.

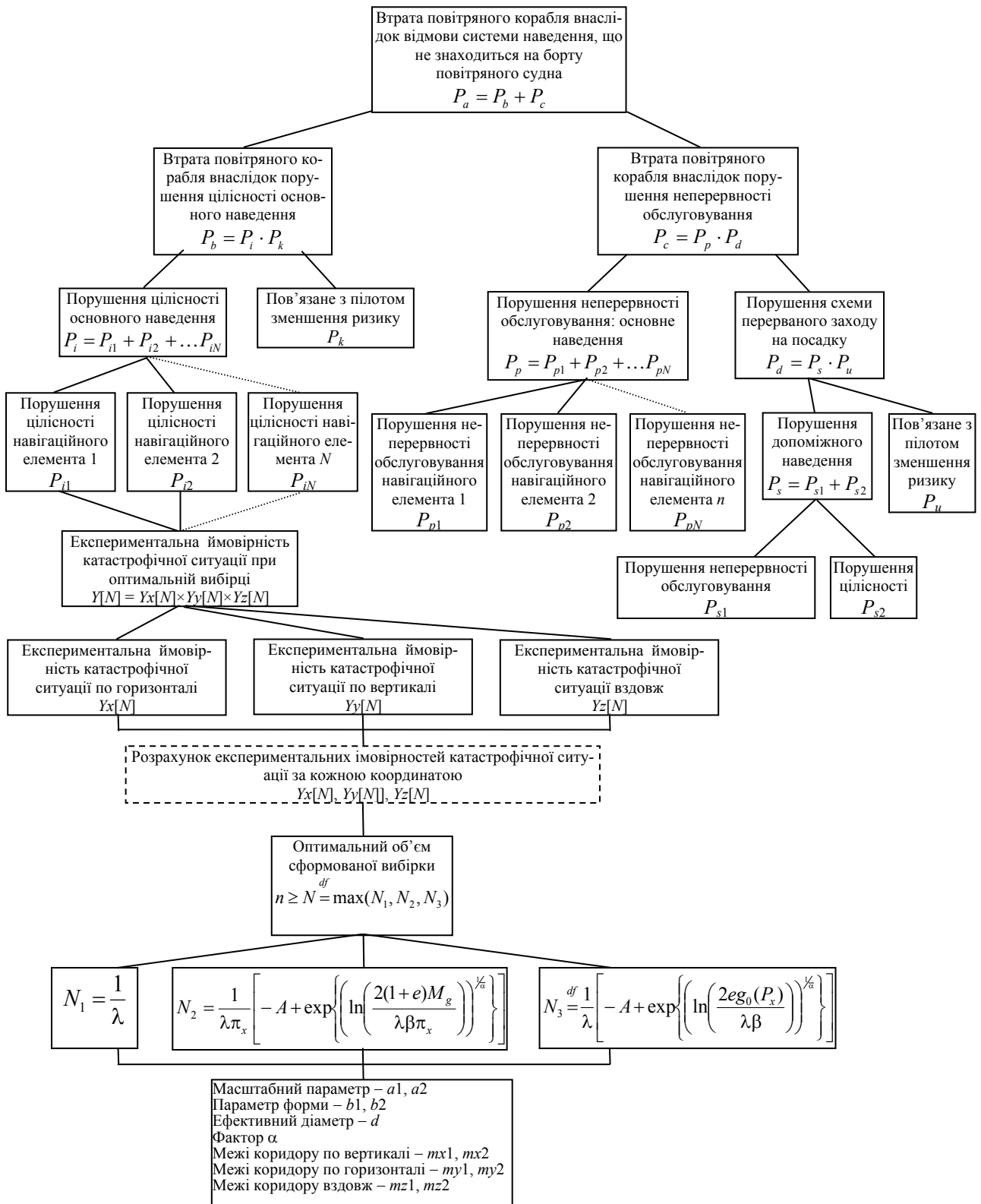


Рис. 1

3. Імовірність порушення цілісності основного наведення  $P_i$  передбачає відсутність допоміжного наведення після порушення цілісності основного наведення. Звичайна процедура полягає у витримуванні курсу і здійсненні набору висоти.

Цю ймовірність обчислюватимемо за методом моделювання рідкісних подій при оптимальній допоміжній вибірці [2; 3].

На рис. 1 наведено процедуру визначення оптимальної вибірки  $n$ , описану в праці [3]. Звідки з урахуванням умов польоту, ефективного діаметра  $d = 35$  м, фактора  $\alpha = 0,0136$ , масштабного параметра для першого  $a_1 = 107,0196$  і другого  $a_2 = 111,3251$  повітряного корабля, параметра форми для першого  $b_1 = 0,5$  і другого  $b_2 = 0,5$  повітряного корабля маємо

$$n = \max(1,25, 3,37471, 109,4531) \approx 109.$$

Результати моделювання ймовірності порушення цілісності основного наведення при вибраній оптимальній вибірці для п'яти випадків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Імовірність порушення цілісності основного наведення**

Тип RNP	Типова операція етапу польоту	Імовірність $P_i$
RNP 0,5	Початкова ділянка заходу на посадку, виліт	$9,1412 \times 10^{-10}$
RNP 0,3	Початкова або проміжна ділянка заходу на посадку, неточний захід на посадку, виліт	$7,113 \times 10^{-9}$
RNP 0,3	Захід на посадку за приладами з наведенням у вертикальній площині	$1,829 \times 10^{-8}$
RNP 0,03	Точний захід на посадку до НАТ в 100 м (350 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$2,2245 \times 10^{-7}$
RNP 0,02	Точний захід на посадку до НАТ в 60 м (200 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$2,224 \times 10^{-7}$

Рис. 2 ілюструє залежність ймовірності порушення цілісності основного наведення  $P_i$  від випадків заходу на посадку.

4. Імовірність того, що пілот не здатний успішно втрутитися в керування після порушення неперервності основного наведення при відсутності вторинного наведення  $P_u$ , дорівнює одиниці.

Передбачається, що схема перерваного заходу на посадку – вихід на друге коло без забезпечення наведення є неприйнятною, тому ймовірність події при здійсненні польоту за такою схемою вважається рівною одиниці.

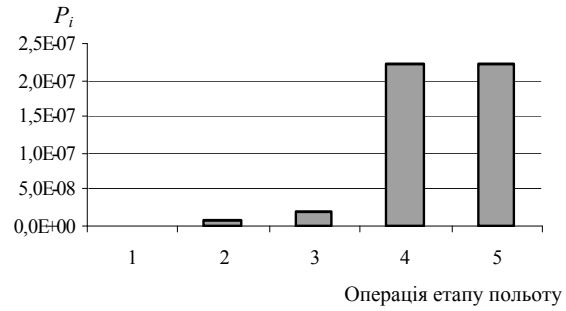


Рис. 2

5. Імовірність утрати повітряного корабля при виконанні перерваного заходу на посадку – вихід на друге коло з забезпеченням допоміжного наведення  $P_s$  дорівнює одиниці.

Оскільки не передбачається схема перерваного заходу на посадку – вихід на друге коло з забезпеченням наведення на основі використання допоміжного наведення, ймовірність авіаційної події при здійсненні польоту за даною схемою вважається рівною одиниці.

6. Імовірність утрати повітряного корабля при виконанні перерваного заходу на посадку – вихід на друге коло  $P_d$  обчислюється за формулою:

$$P_d = P_s \cdot P_u; \quad P_d = 0,1 \cdot 1 = 1.$$

7. Імовірність утрати повітряного корабля внаслідок порушення неперервності обслуговування  $P_c$  розраховується так:

$$P_c = P_p \cdot P_d;$$

$$P_c = 1,2 \times 10^{-6} \cdot 1 = 1,2 \times 10^{-6}.$$

8. Імовірність утрати повітряного корабля внаслідок порушення цілісності основного наведення  $P_b$  визначається з виразу

$$P_b = P_i \cdot P_k.$$

Рис. 3 ілюструє залежність ймовірності втрати повітряного корабля внаслідок порушення цілісності основного наведення  $P_b$  від випадків заходу на посадку.

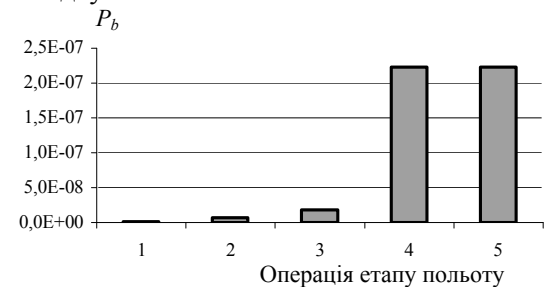


Рис. 3

Результати обчислення цієї ймовірності для п'яти випадків наведено в табл. 2.

9. Результуюча ймовірність утрати повітряного корабля внаслідок відмови системи наведення, що не знаходиться на борту повітряного корабля дорівнює:

$$P_a = P_b + P_c.$$

Таблиця 2

**Ймовірність втрати повітряного корабля  
внаслідок порушення цілісності  
основного наведення**

Типова операція етапу польоту	Ймовірність $P_b$
Початкова ділянка заходу на посадку, виліт	$9,1412 \times 10^{-10}$
Початкова або проміжна ділянка заходу на посадку, неточний захід на посадку, виліт	$7,113 \times 10^{-9}$
Захід на посадку за приладами з наведенням у вертикальній площині	$1,829 \times 10^{-8}$
Точний захід на посадку до НАТ в 100 м (350 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$2,2245 \times 10^{-7}$
Точний захід на посадку до НАТ в 60 м (200 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$2,224 \times 10^{-7}$

Результати обчислення цієї ймовірності для п'яти випадків наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Результуюча ймовірність утрати  
повітряного корабля**

Типова операція етапу польоту	Ймовірність $P_a$
Початкова ділянка заходу на посадку, виліт	$1.2009 \times 10^{-6}$
Початкова або проміжна ділянка заходу на посадку, неточний захід на посадку, виліт	$1.2071 \times 10^{-6}$
Захід на посадку за приладами з наведенням у вертикальній площині	$1.2183 \times 10^{-6}$
Точний захід на посадку до НАТ в 100 м (350 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$1.4225 \times 10^{-6}$
Точний захід на посадку до НАТ в 60 м (200 футів) (забезпечує операції за категорією 1)	$1.4224 \times 10^{-6}$

Рис. 4 ілюструє залежність результуючої ймовірності втрати повітряного корабля внаслідок відмови системи наведення, що не знаходиться на борту повітряного корабля,  $P_a$  від випадків заходу на посадку.

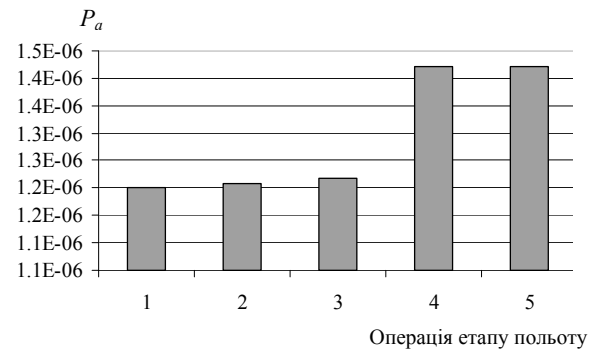


Рис. 4

### Висновки

Удосконалення методу дерева ризику шляхом моделювання ймовірності порушення цілісності основного наведення за допомогою методу моделювання рідкісних подій призводить до більш уточненого обчислювання ймовірності втрати повітряного корабля внаслідок відмови підсистеми наведення. Така підсистема не знаходиться на борту повітряного корабля і відноситься до наземної частини. Аналогічним чином оцінюються інші підсистеми аеронавігаційної системи, що дозволяє більш адекватно визначити цілісність аеронавігаційної системи в цілому.

### Список літератури

1. *Международные стандарты и рекомендуемая практика. Авиационная электросвязь: Прил. 10 к Конвенции о междунар. гражданской авиации.* Т. 1. Радионавигационные средства. – Канада: Монреаль, 1996, июль. – 303 с.
2. *Kharchenko V.P., Kukush A.G., Znakovskaya E.A. Modeling of aircrafts collision using Importance Sampling Technique // Proc. of the NAU. – 2003. – №2. – С. 27 – 30.*
3. *Бабак В.П., Харченко В.П., Знаковська Є.А. Дослідження ймовірності катастрофічної ситуації методом моделювання рідкісних подій за оптимальною вибіркою // Вісн. НАУ. – 2004. – №4. – С. 3 – 7.*
4. *Группа экспертов по рассмотрению общей концепции эшелонирования. Шестое совещ. Докл. Т. 1.2. – Монреаль, 1988.*

Стаття надійшла до редакції 23.03.05.

В.П. Харченко, Е. А. Знаковская

Моделирование нарушения целостности на основе методов дерева риска и моделирования редких событий

Предложено усовершенствование метода дерева риска с помощью моделирования редких событий при оптимальной вспомогательной выборке.

V.P. Kharchenko, E. A. Znakovskaya

Modelling of integrity infringement on the basis of the risk tree and rare events modeling methods

The risk tree method improvement with the help of a rare events modelling at optimum subsidiary sample was suggested.