

Ж 17 нб в 647  
УДК 656.7.085:657.71(045)

Человек-машина-окр. среда  
система эргатическая  
безопасность системы сложной  
метод теории вероятности  
фактор опасный, риск опасного фат

**О.І. Запорожець**, д-р техн. наук, старш. наук. співроб.  
(Національний авіаційний університет)

**Л.А. Гладкая**, канд. техн. наук, доц.  
(Сумський державний університет)

## МЕТОДИ АНАЛІЗУ НЕБЕЗПЕК

*Розглянуто узагальнену модель аналізу небезпек на основі використання теорії ймовірності для визначення ризиків небезпечних факторів і наслідків їх впливу.*

При використанні методів аналізу небезпек застосовують математичний апарат, статистичну інформацію фізико-хімічні, дедуктивні та інші методи. В основу найбільш поширених методів аналізу, які не тільки встановлюють причину, але і дозволяють виконати прогноз на перспективу, покладено теорію ймовірності.

Теорія ймовірності виникла в зв'язку з потребами практики. У більшості випадків закономірності можуть бути виявлені при цілеспрямованому статистичному вивченні масових явищ, які містять відбір даних, їх систематизацію, впорядкування і, нарешті, статистичний аналіз, що дає можливість установити загальні закономірності і передбачити можливі аварії та катастрофи.

Залежності, в яких кожному можливому значенню аргументу може відповідати багато невідомих задалегідь, але закономірних значень залежної змінної, називають стохастичними або ймовірнісними. Наприклад, розподіл нещасних випадків за часами робочого дня. Але вказати точну кількість нещасних випадків, яка станеться, знаючи лише час робочого дня, практично неможливо.

У стохастичних закономірностях головну роль відіграють такі поняття, як "подія", "ймовірність", "випадкова величина" та ін. Слово "подія" вживається в повсякденній мові поряд зі словами "випадок", "явище" та пов'язується звичайно з конкретним розумінням того, що за певних умов відбувається або не відбувається.

Подія характеризується тим, що у разі реалізації певного комплексу умов вона може статися або не статися, але в той же час при багаторазовому повторенні підлягає деякій статистичній закономірності.

Поняття "випадкова величина" дуже тісно пов'язано з поняттям "випадкова подія". Наприклад, випадкова величина – це кількість осіб, що проходять по тротуару, при цьому випадкова подія – зрив бурульки і падіння її на одну особу.

Випадковою величиною називають величину, яка унаслідок досвіду може набути те або інше значення, невідомо задалегідь яке саме [1].

Теорія ймовірності займається дослідженням масових подій. Характерною особливістю цих подій є те, що поява кожного з них непередбачувана (може з'явитися і може не з'явитися), тому настання події залежить від випадкових обставин.

Імовірністю події називають кількісну міру об'єктивної можливості цієї події. Імовірність події А позначають  $P(A)$ .

Вірогідною називають подію І, яка внаслідок реалізації певного комплексу умов неминує відбуватися:

$$P(I) = 1.$$

Неможливою називають подію V, яка внаслідок реалізації певного комплексу умов не може статися, що характерно найбільше при аналізі безпеки труда працюючих:

$$P(V) = 0.$$

**Розподіл якісних ознак.** Аналізуючи систему "людина – машина – навколишнє середовище (ЛМС)", можна спостерігати нештатну взаємодію об'єктів, що входять до системи, яка виражається у вигляді надзвичайних випадків. Надзвичайна подія (НП) – це небажана подія, що порушує звичайний хід речей і що відбувається у відносно короткий відрізок часу. При цьому події можуть мати одиничний характер, тобто не повторюватися, так і за певних умов можуть відтворюватися багато разів.



Для опису зв'язків між причинами, небезпеками, станами системи і ефектами використовують модель аналізу безпеки/небезпеки (див. рисунок). Ефектом, або збитком, є опис потенційного наслідку, найчастіше шкоди, від небезпеки, що відбувається у визначеному стані системи.

Ризик наслідків небезпеки об'єднується з оцінкою ймовірності наслідку небезпеки. Спочатку визначають, як часто можуть відбуватися небезпеки. Це визначення можна виконати у вигляді кількісної або якісної оцінки. Звичайно це є функція ймовірності комбінацій причин (факторів). На другому етапі виконують оцінку ймовірності найгіршого стану системи. Ця оцінка також може бути визначена кількісно або якісно. Наприклад, припускається, що ймовірність найгіршого стану (низька висота або швидкість польоту, висока загальна вага ПК) системи є 0,001 за 1 год експлуатації. Імовірність ефектів для найгіршого стану (випадку) системи може бути оцінена за допомогою множення ймовірності цього стану на ймовірність ефекту (наслідку). Тоді ризик шкоди для даного випадку буде:  $0,001 \cdot 0,001 = 0,000001$ . У цьому прикладі оцінка повинна бути  $0,000001$  або  $1 \cdot 10^{-6}$  за 1 год експлуатації.

Нехай елементи сукупності НП характеризуються однією якісною альтернативною ознакою, відносно якої можливі дві думки: нещасний випадок стався (визначимо як  $A$ ), нещасний випадок не стався (визначимо як  $\bar{A}$ ). Результати випадків можуть бути подані у вигляді табл. 1.

Для зручності огляду і аналізу розіб'ємо дані на дві групи: елемент, що володіє ознакою  $A$ , і елементи, що не володіють цією ознакою. Кожну з двох груп досить охарактеризувати кількістю елементів в ній, частотою і визначити  $m_A$  і  $m_{\bar{A}}$ . Очевидно, що

$$m_A + m_{\bar{A}} = n.$$

У результаті цього угруповання отримаємо розподіл альтернативної ознаки у вигляді табл. 2.

Частоти  $m_A$  і  $m_{\bar{A}}$  розділимо на  $n$ , отримаємо відносні частоти

$$\omega_A = m_A / n;$$

$$\omega_{\bar{A}} = m_{\bar{A}} / n,$$

які називають також частками ознаки.

Нехай тепер вивчається варіація деякої ознаки  $A$ , що має не дві, а декілька варіантів класифікації нещасного випадку ( $A_1, \dots, A_i, \dots, A_s$ ). Наприклад, ознака  $A$  – нещасний випадок може мати три варіанти:  $A_1$  – пошкодження тканин,  $A_2$  – гострі захворювання,  $A_3$  – пошкодження при обставинах. Множинне групування, наведено в табл. 3.

Табл. 3 можна перебудувати відносно частот

$$\omega_R = m_R / n.$$

У цьому випадку  $\sum \omega_R = 1$ .

Розглянемо сукупність, елементи якої характеризуються двома альтернативними ознаками –  $A$  і  $B$ . При вивченні двох ознак істотною є групування сукупності за об'єднанням ознак, тобто утворення чотирьох груп елементів із варіантами  $AB, \bar{A}\bar{B}, \bar{A}B, A\bar{B}$ .



Схематичне зображення моделі аналізу безпеки/небезпеки

Таблиця 1

Елемент сукупності	1, 2, 3, 4 ... n
Результат події	A, $\bar{A}$ , A, $\bar{A}$ ... $\bar{A}$

Таблиця 2

Варіант	A	$\bar{A}$	$\Sigma$
Частота	$m_A$	$m_{\bar{A}}$	n

Таблиця 3

Варіант	$A_1, \dots, A_R, \dots, A_s$	$\Sigma$
Частота	$m_1, \dots, m_R, \dots, m_s$	n



Визначивши чисельність (частоти) вказаних чотирьох груп через  $m_{AB}, m_{\bar{A}\bar{B}}, m_{\bar{A}B}, m_{A\bar{B}}$ , запишемо результат цього групування у вигляді чотириклітинної табл. 4. Дані підсумкових стовпця і рядка, позначених символом  $\Sigma$ , характеризують результати за кожною з ознак.

Розділивши всі дані таблиці на  $n$ , отримаємо аналогічну чотириклітинну таблицю у відносних частотах. Між величинами правдивими є такі відношення:

$$m_A + m_{\bar{A}} = n;$$

$$m_B + m_{\bar{B}} = n;$$

$$m_{AB} + m_{\bar{A}\bar{B}} = m_A;$$

$$m_{\bar{A}\bar{B}} + m_{\bar{A}B} = m_{\bar{A}};$$

$$m_{\bar{A}\bar{B}} + m_{A\bar{B}} = m_{\bar{B}};$$

$$m_{AB} + m_{A\bar{B}} = m_B.$$

З цих шести рівнянь одне є наслідком інших, тобто незалежних серед них п'ять. Тому завдання будь-яких чотирьох величин однозначно визначає всю табл. 4. Але тільки частоти  $m_{AB}, m_{\bar{A}\bar{B}}, m_{\bar{A}B}, m_{A\bar{B}}$  можуть задаватися довільно. Якщо ж задати значення будь-яких чотирьох частот, то під час визначення інших із рівнянь можна набути для деяких із них негативних значень. Це буде вказувати на несумісність початкових даних.

Отже, можна утворювати багатоступінчасті групування за трьома і більш ознаками.

У разі двох ознак  $A$  і  $B$ , кожний з яких характеризується декількома варіантами ( $A_1$  – травма,  $A_2$  – опік,  $A_3$  – обмороження,  $A_4$  – летальний кінець, ...,  $A_s$ ,  $B_1$  – гостре профзахворювання,  $B_2$  – отруєння,  $B_3$  – тепловий удар, ...,  $B_t$ ), результатом угруповання першого порядку буде утворення  $s$  груп за ознакою  $A$  і  $t$  груп – за ознакою  $B$ . Дані цих групувань показують у вигляді таблиці, яка в статистиці отримала назву таблиці взаємоспряженості.

Таблиця 4

Ознака	$B$	$\bar{B}$	$\Sigma$
$A$	$m_{AB}$	$m_{\bar{A}\bar{B}}$	$m_A$
$\bar{A}$	$m_{\bar{A}\bar{B}}$	$m_{\bar{A}B}$	$m_{\bar{A}}$
$\Sigma$	$m_B$	$m_{\bar{B}}$	$n$

#### Список літератури

1. Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 319 с.

Стаття надійшла до редакції 18.12.02.

0530-015.6 + 0530-016.66641.0  
УДК 629.7.02.001.2

КОЛЕБАНИЕ САМОЛЕТА, ВЕТЕР БОКОВОЙ  
ПРОБЕГ САМОЛЕТА  
МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ

Б.М. Шифрин, канд. техн. наук, доц.  
(Державна льотна академія України, Кіровоград)

#### МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ЛІТАКА ПРИ ПРОБІЖЦІ ПО ЗЛІТНО-ПОСАДКОВІЙ СМУЗІ З ПОПЕРЕДЖЕННЯМ НА БІЧНИЙ ВІТЕР

Розглянуто моделювання пружно-фрикційних коливань літака в напрямку його поперечної вісі при русі з високою швидкістю по злітно-посадковій смузі і нелінійному відведенні коліс шасі. Запропоновано метод визначення параметрів граничних циклів і з його допомогою вивчено питання про наявність автоколивань при скінченному і нескінченному відношенні мас корпусу літака і його опор.

**Вступ.** У роботі [1] запропоновано нелінійну математичну модель плоскопаралельного руху літака по злітно-посадковій смузі (ЗПС), спрямовану на вивчення пружно-фрикційних вібрацій у напрямку поперечної осі літака, і розглянуто питання стійкості стаціонарного режиму руху. Припущено, що літак рухається з постійним кутом рискання, зокрема, кутом попередження на бічний вітер. Модель використовується для вивчення граничних циклів поперечних коли-