

УДК 656.7.08:65.011.3:519.21 (045)

І.Л. Государська

ПОДАННЯ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ ФАТАЛЬНОГО НАЗЕМНОГО РИЗИКУ В МАТЕМАТИЧНІЙ ФОРМІ

НАУ, кафедра безпеки життєдіяльності, e-mail: gil_@mail.ru

Розглянуто просторову мінливість фатального наземного ризику в математичній формі з урахуванням вимірювання відстані до аеропорту. Наведено математичне визначення просторової мінливості ризику.

Вступ

Більшість авіаційних катастроф відбувається під час посадки або зльоту літака, люди, які знаходяться біля аеропорту, підпадають під небезпечний ризик [1]. Наприклад, у результаті катастрофи 15 липня 2000 р. літака Конкорд, який, прямуючи за маршрутом із Парижа в Нью-Йорк, через декілька хвилин після зльоту зіткнувся з готелем, загинуло 109 пасажирів літака і 4 особи на землі [2].

Для пояснення цієї закономірності пропонується визначення мінливості ризику, де використовується вимірювання відстані до аеропорту.

Математичне визначення просторової мінливості фатального наземного ризику

Для математичного визначення мінливості ризику розглянемо наземний фатальний випадок у межі $[t, t + \Delta t]$ }:

$$B_{[t,t+\Delta t]}(X).$$

Імовірність $P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)]$ відображає змушений ризик смерті окремого індивідуума X через катастрофу літака в інтервалі часу $[t, t+\Delta t]$. Мінливість ризику пов'язана з вимірюванням відстані до аеропорту [3]. Випадкова величина визначає поведінку кожного індивідуума X щодо відстані $D(X, t)$ між X і найближчим аеропортом за час t . Стохастичний процес $D(X, t)$ заданий проміжком часу. Розглянемо інтервал часу Δt , інтервал відстані Δd і визначимо подію:

$$A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X) = \{D(X, \tilde{t}) \in [d, d + \Delta d) : \tilde{t} \in [t, t + \Delta t)\}.$$

У цьому випадку $P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)|A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X)]$ є ймовірністю того, що X стає фатальним наземним випадком в інтервалі $[t, t+\Delta t]$, з урахуванням того, що X знаходиться в інтервалі $[d, d+\Delta d)$ для попереднього інтервалу часу. Застосовуючи теорему Байєса до цієї умовної ймовірності, отримаємо:

$$P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)|A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X)] = \frac{P[A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X)|B_{[t,t+\Delta t]}(X)]}{P[A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X)]} P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)]. \quad (1)$$

Ліва частина рівняння (1) – величина просторової мінливості ризику в тимчасовому або інтервальному вимірюваннях до аеропорту.

Інтервальний умовний коефіцієнт смертності на землі обчислимо за формулою

$$h_{X,d}(t) = \lim_{\Delta d \rightarrow 0} \left(\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)|A_{[t,t+\Delta t]}^{[d,d+\Delta d]}(X)]}{\Delta t} \right), \quad (2)$$

повний коефіцієнт смертності на землі:

$$\lambda_X(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P[B_{[t,t+\Delta t]}(X)]}{\Delta t}. \quad (3)$$

Визначимо функції розподілу:

$$G_{X,d}(d) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P[D(X), \tilde{t} \leq d : \tilde{t} \in [t, t + \Delta t | B_{[t,t+\Delta t]}(X)] = P[D(X, t) \leq d | B_t(X)];$$

$$F_{X,t}(d) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} P[D(X, \tilde{t}) \leq d : \tilde{t} \in [t, t + \Delta t) = P[D(X, t) \leq d],$$

де $G_{\partial,t}(d)$ і $F_{\partial,t}(d)$ – кумулятивні функції розподілу в d вимірюваннях, які є визначеними для всього часу t .

Припускаючи, що $G_{\partial,t}(d)$ і $F_{\partial,t}(d)$ диференційовані, визначаємо розподіл імовірності:

$$g_{X,t}(d) = \frac{\partial}{\partial d} G_{\partial,t}(d);$$

$$f_{X,t}(d) = \frac{\partial}{\partial d} F_{\partial,t}(d).$$

Хоча ці функції визначені як межа, розподіл чіткий:

$G_{\partial,t}(d)$ – імовірність того, що X знаходиться в межах відстані d до аеропорту і стає наземним фатальним випадком за час t ;

$F_{X,t}(d)$ – імовірність того, що X знаходиться в межах відстані d до аеропорту за час t .

Насправді $G_{X,t}(d)$ надає ймовірнісну функцію фатального наземного випадку, а $F_{X,t}(d)$ – ймовірнісну функцію для населення.

Ці функції задані відстанню d до аеропорту.

Функції $G_{X,t}(d)$, $F_{X,t}(d)$, $g_{X,t}(d)$, $f_{X,t}(d)$ відповідно до припущень можуть бути оцінені за даними.

Використовуючи теорему Байєса щодо рівняння (1), а потім обчислюючи межі за рівнянням (2), отримуємо

$$h_{x,d}(t) = \frac{g_{x,t}(d)}{f_{x,t}(d)} \lambda_x(t). \quad (3)$$

Цей аналіз зосереджується на просторовій мінливості ризику, який зв'язаний з інтервальною відстанню до аеропорту, а ризики вимірювані за кожний рік.

Отже, розглянемо допустимий ризик, де індивідуум у 2000 р. стане наземним фатальним випадком за умови, що він знаходиться на відстані d від найближчого аеропорту протягом цілого року:

$$P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)].$$

Цей ризик є допустимим, тому що ніхто не знаходиться на відстані d від найближчого аеропорту протягом року, але це самий підходящий критерій для вимірювання просторової мінливості ризику. Якщо кожна з величин у правій частині рівняння (3) є константою в межах 2000 р., то допустимий ризик для наземного нещасного випадку в 2000 р. може бути розрахований так:

$$P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)] = \int_{2000}^{2001} h_{x,d}(t) dt = \frac{g_{x,2000}(d)}{f_{x,2000}(d)} P[B_{2000}(X)]. \quad (4)$$

Ризик для випадкового індивідуума X , який стає наземним фатальним випадком в 2000 р., $P[B_{2000}(X)]$ оцінений як $1,3 \cdot 10^{-8}$.

Рівняння (4) сформувало основу методу, який використовується для вимірювання просторової мінливості ризику наземного фатального випадку. Однак розгляд даних щодо наземних фатальних випадків показав, що необхідно округлити розрахунки, для кращого визначення мінливості ризику, а безпосереднє застосування рівняння (4) не приведе до оцінювання мінливості наземного ризику. Необхідно розмежовувати непередбачені події, які трапляються на території та не на території аеропорту та об'єднати категорії авіації [4]. Більшість нещасних випадків відбувається, коли літаки втрачають керування протягом крейсерської фази польоту і стають причиною фатальних випадків [5]. Оскільки відомо, в якій фазі польоту знаходиться літак, коли виникає небезпека катастрофи, використовуємо визначення авіаційної події на території аеропорту [6].

Нещасним випадком, зв'язаним з аеропортом, називають випадок, який відбувся в межах 10 км від аеропорту на території початкового або кінцевого адресата рейсу.

Розглянемо наземний фатальний випадок через авіаційну подію, яка відбулася в 2000 р. на території аеропорту $B_{2000 \text{ çà}}(\tilde{O})$ та не на території аеропорту $B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O})$.

Наземні фатальні випадки $B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O})$ і $B_{2000 \text{ çà}}(\tilde{O})$ є диз'юнктивними.

Отже,

$$B_{2000}(X) = B_{2000 \text{ çà}}(\tilde{O}) \cup B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O}),$$

і тому

$$P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)] = P[B_{2000 \text{ çà}}(\tilde{O}) | A_{2000}^d(X)] + P[B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O}) | A_{2000}^d(X)]. \quad (5)$$

Хоча фатальні випадки більш імовірно виникають на траєкторіях польоту близько території аеропорту, припускаємо, що ризик наземного випадку, який відбувається не на території аеропорту може бути незалежним у розміщенні.

Мінливістю ризику, який незв'язаний з аеропортом, можна знехтувати порівняно з мінливістю ризику, який зв'язаний з аеропортом у рівнянні (5):

$$P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)] = P[B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O})].$$

У зв'язку з тим, що ризик фатального випадку в околі аеропорту залежить від відстані до самого аеропорту, тоді другий елемент правої частини рівняння (5) переписуємо:

$$P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)] = \frac{g_{x,2000 \text{ çà}}(d)}{f_{x,2000}(d)} P[B_{2000 \text{ çà}}(\tilde{O})] + P[B_{2000 \text{ іаçà}}(\tilde{O})],$$

$$g_{x,2000 \text{ çà}}(d) = \frac{\partial}{\partial d} G_{\tilde{O} 2000 \text{ çà}}(d),$$

де $G_{\tilde{O} 2000 \text{ çà}}(d)$ – імовірність того, що індивідуум X у межах відстані d зв'язаний з територією аеропорту за час t , за умови, що X стане фатальним наземним випадком в околі аеропорту за час t , $t \in 2000, 2001$.

Різниця між $g_{x,2000}(d)$ і $g_{x,2000 \text{ çà}}(d)$ полягає в тому, що остання функція розподілу для випадків на землі застосовна тільки для смертельних випадків в околі аеропорту.

У результаті проведеного аналізу даних для об'єднання категорій авіації для коректного моделювання мінливості наземного ризику, були визначені такі події:

$B_{2000 \text{ іаçà}}^{\text{АВ}}(\tilde{O})$: $\{X$ стає фатальним наземним випадком через авіаційну подію авіаційним перевізником не на території аеропорту в 2000 р.:

$A_{2000 \text{ іаçà}}^{\text{АВ}}(\tilde{O})$: $\{X$ стає фатальним наземним випадком через авіаційну подію літаком місцевої авіалінії не на території аеропорту в 2000 р.:

$\hat{A}_{2000\text{ іаґа}}^{GA}(X)$: $\{X$ стає фатальним наземним випадком через авіаційну подію авіацією загального призначення не на території аеропорту в 2000 р.

Ці події є диз'юнктивними, тоді:

$$\begin{aligned} B_{2000\text{ іаґа}}(\tilde{O}) &= \\ &= B_{2000\text{ іаґа}}^{AN}(\tilde{O}) \cup \hat{A}_{2000\text{ іаґа}}^{AO}(\tilde{O}) \cup \hat{A}_{2000\text{ іаґа}}^{GA}(X); \\ P[B_{2000}(X) | A_{2000}^d(X)] &= P[B_{2000\text{ іаґа}}(\tilde{O})] + \\ &+ \frac{g_{X,2000}^{AC}(d)}{f_{X,2000}(d)} P[B_{2000\text{ іаґа}}^{AC}(X)] + \frac{g_{X,2000}^{AT}(d)}{f_{X,2000}(d)}, \quad (6) \\ P[B_{2000\text{ іаґа}}^{AT}(X)] &+ \frac{g_{X,2000}^{GA}(d)}{f_{X,2000}(d)} P[B_{2000\text{ іаґа}}^{GA}(\tilde{O})], \end{aligned}$$

де $g_{2000\text{ X}}^{AC}(d)$, $g_{2000\text{ X}}^{AT}(d)$, $g_{2000\text{ X}}^{GA}(d)$ – функції розподілу фатальних наземних випадків для авіаційних перевізників, літаків місцевої авіалінії і авіації загального призначення.

Висновок

Запропоновані функції застосовуються тільки для фатальних наземних випадків, які виникають унаслідок авіаційних подій на території аеропорту. Рівняння (6) використовують для моделювання просторової мінливості наземного ризику в інтервальному вимірюванні до аеропорту.

Література

1. David Eyre, Wendy Booth, Bill Sommer, Ross St George. Airways Corporation's proposed VFR Support Services charges//Risk Analysis. – 1991. – May.
2. Goldstein B.L., Demak M., Northridge M., Warentenberg D. Risk to groundlings of death due to airplane accidents: A risk communication tool // Risk Analysis. – 1992. – 12. – P. 339–341.
3. Thompson K.M., Graham J.D. Going beyond the single number: Using probabilistic risk assessment to improve risk management // Human and Ecological Risk Assessment. – 1996. – 2. – P. 1008–1034.
4. CAP 730. Safety management systems for air traffic management. Safety regulation group // A guide to Implementation: Civil Aviation Authority, 2002. – P. 8–27.
5. Smith E., Spouge J. Risk analysis of aircraft impact at Schiphol Airport. London, UK: Technica Consulting, 1990. — P. 1–6.
6. Risk management and decision-making in civil protection // Safety services (AARQ). – Transport Canada, 2001. – P. 2–5.
7. Michael A. Greenfield. Risk as a resource: Risk management. Langley research center. – 1998, May. – P. 10–15.

Стаття надійшла до редакції 21.02.06.

Рассмотрена пространственная изменчивость фатального наземного риска в математической форме с учетом измерения расстояния к аэропорту. Приведено математическое определение пространственной изменчивости риска.

Variability of the grounding fatality risk by mathematically when taken into account of distance measurement to the airport is considered and definition of the variability of the grounding fatality risk by mathematically was represented.