

УДК 656.7.08:65.011.3:519.21 (045)

І.Л. Государська

## РОЗРАХУНКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФАТАЛЬНОГО НАЗЕМНОГО РИЗИКУ ВНАСЛІДОК НЕПЕРЕДБАЧЕНОЇ АВАРІЇ ЛІТАКА

НАУ, кафедра безпеки життєдіяльності, e-mail: gil\_@mail.ru

*Запропоновано розрахункове визначення ймовірного щорічного фатального ризику для індивідуума, який знаходиться на території аеропорту, та населення, що мешкає поблизу аеропорту. Наведено оцінки очікуваної кількості наземних фатальних випадків, які ймовірно виникнуть унаслідок аварій літаків. Розглянуто заходи регулювання ризику.*

### Вступ

Фатальний наземний випадок означає щонайменше загибель хоча б однієї людини на землі в результаті непередбаченої аварії літака.

Трагічні катастрофи чотирьох захоплених комерційних літаків були наслідком руйнування вежі Всесвітнього торгового центру в Нью-Йорку та будівлі в Пентагоні 11 вересня 2001 р. і змінили ставлення людей до ймовірних катастрофічних ризиків [1]. Люди, які мешкають біля аеропорту або знаходяться в районі аеропорту, частіше гинуть та можуть зазнавати небезпеки з таких причин [2]:

- 1) ризик, створений самою людиною;
- 2) ризик прямо пропорційний розвитку економіки;
- 3) несвоєчасне усвідомлення, що підлягає небезпечному ризику.

За період з 1975 по 1985 рр. кількість смертних випадків значно зменшилася, завдяки впровадженню нових технологій [3]. При цьому збільшилася кількість рейсів, які призвели до скупчення літаків у повітрі.

Це, в першу чергу, небезпечно для людей, які мешкають біля аеропорту.

У цьому аналізі розглядаються три різні категорії авіації:

- авіаційні перевізники;
- літаки місцевої авіалінії;
- літаки загального призначення.

Авіаційні перевізники – це комерційні літаки з кількістю посадкових місць більше ніж 60, літаки місцевої авіалінії – це комерційні літаки, які мають максимальну кількість посадкових місць до 60 (у цю категорію входять рейсові і не рейсові польоти) і літаки загального призначення – це всі цивільні (не військові) літаки, які не належать до авіаційних перевізників і літаків місцевої авіалінії.

### Розрахункове визначення величини фатального наземного ризику

Величину наземного ризику за 2000 р. у США визначили за формулою:

$$R_{с.н} = \frac{K_{о.в}}{H_{п.м}}, \quad (1)$$

де  $R_{с.н}$  – середній наземний ризик;  $K_{о.в}$  – очікувана кількість фатальних наземних випадків в США;  $H_{п.м}$  – населення, що постійно мешкає у США в 2000 р.

Перепис населення в США показав, що в 2000 р. в Америці проживало близько 275 млн. жителів. Розрахунок величини наземного ризику за рівнянням (1) потребує оцінки очікуваної кількості фатальних наземних випадків у 2000 р.

Найлегшим способом визначення очікуваної кількості середнього ризику є поділ кількості фатальних наземних випадків у США з 1964 по 1999 рр. (205 смертей) на тривалість періоду (26 р.). У результаті цієї простої моделі виходить оцінка 7,9 фатальних наземних випадків за 2000 р.

Але щорічна кількість фатальних наземних випадків впливає з низької динаміки розвитку авіаційної промисловості з 1964 р.

Тому використані дані фатальних наземних випадків з 1964 по 1999 рр. для оцінювання очікуваної кількості фатальних наземних випадків, призводять до завищеної оцінки ризику.

Розглянемо ймовірний процес, де  $N_{ф.н.в}(t)$  – кількість фатальних наземних випадків за рік  $t$ . Визначасмо очікувану кількість фатальних наземних випадків на землі в 2000 р.  $E[N_{ф.н.в}(2000)]$ , застосовуючи рівняння (1).

Кількість фатальних випадків за рік  $t$ ,  $N_{ф.н.в}(t)$  залежить від кількості фатальних наземних випадків за рік  $t$ ,  $N_{ф.н.в}(t)$  та кількості фатальних наземних випадків, які зустрічаються в одному наземному нещасному випадку  $F/A$ , де наземний нещасний випадок спричиняє, щонайменше, смерть однієї людини. Коли передбачається незалежність між двома ймовірними змінними, тоді  $E[N_{ф.н.в}(t)]$  оцінюється як:

$$E[N_{ф.н.в}(t)] = E[F/A] E[N_{ф.н.в}(t)]. \quad (2)$$

Нещасні випадки і показники смертності можуть вимірюватися різними одиницями, зокрема схильністю до виникнення нещасних випадків, залежно від активності, перспективності і наявності даних.

Наприклад, для оцінки наземного нещасного випадку можна використовувати три ймовірнісних одиниці схильності до виникнення: за 1 р. на 1 млн операцій аеропорту (посадка і зліт літаків) або за 1 млн льотних годин.

Підраховуємо кількість нещасних випадків за час функціонування аеропорту, тому що близько 70% всіх авіаційних нещасних випадків, які включають комерційні реактивні літаки і 60% нещасних випадків, які включають літаки авіації загального призначення, відбуваються під час приземлення, кінцевого етапу заходу на посадку, зльоту або початку набору висоти літака.

Оскільки операції, які виконуються літаками в районі аеропорту, є небезпечними етапами польоту, авіаційна промисловість частіше зупиняється на вимірюванні ризику, де застосовується операція аеропорту і полегшує порівняння ризиків у зайнятих і незайнятих аеропортах та створює прогнози фатального наземного ризику на майбутнє, використовуючи перспективну оцінку кількості операцій аеропорту.

Нарешті, кількість наземних нещасних випадків за час операцій аеропорту (посадки і зльоту літаків) з кінця 80-х не сильно коливається, тому існуючий показник за операцію може правильно оцінюватися, використовуючи дані з минулого десятиліття. Таким чином, рівняння (2) розширюється, включаючи очікувану кількість операцій за 1 р.  $t$ ,  $E [O(t)]$ :

$$E [N_{\text{ф.н.в}}(t)] = E[F/A] E [N_{\text{ф.н.в}}(t)/O] E [O(t)], \quad (3)$$

де  $E [N_{\text{ф.н.в}}(t)/O]$  – кількість нещасних наземних випадків за одну операцію за 1 р.  $t$ .

Оцінюємо кількість  $E[F/A]$  і  $E [N_{\text{ф.н.в}}(t)/O]$  з урахуванням кількості операцій аеропортів у США з 1978 по 1999 р. Також можна підрахувати очікувану кількість наземних фатальних випадків на період з 2000 по 2015 р. За один переліт кількість наземних випадків значно зменшилася з 1964 по 1980 р., але при цьому кількість нещасних випадків залишається відносно незмінною з кінця 80-х р.

За цими даними можна оцінити існуючу кількість наземних нещасних випадків за одну операцію, використовуючи дані наземних нещасних випадків з 1987 р. (табл. 1).

Ці дані не передбачили показників, де кількість фатальних наземних випадків, яка впливає з першого наземного нещасного випадку, змінюється для будь-якої категорії літаків з 1964 р.

Отже, очікувана кількість фатальних наземних випадків, яка впливає з першого наземного нещасного випадку, визначається завдяки використанню даних різних категорій літаків з 1964 по 1999 рр. (табл. 2).

Таблиця 1

**Показники наземних нещасних випадків за одну операцію з 1987 по 1999 рр.**

Категорія	Кількість нещасних випадків*	Кількість операцій аеропорту, млн	Кількість наземних нещасних випадків на 1 млн операцій
Авіаційний перевізник	2	174,5	0,011
Літак місцевої авіалінії	4	174,3	0,023
Літак загального призначення	14	1413,4	0,0099

\*Зіткнення між авіацією різної категорії підраховується як половина нещасного випадку для кожної категорії.

Зіткнення між літаками різної категорії, які є причиною фатальних наземних випадків, змодельовані як два окремих нещасних випадки тільки з половиною фатальних випадків.

Таблиця 2

**Очікувана кількість наземних фатальних випадків унаслідок аварій літаків з 1964 по 1999 рр.**

Категорія	Кількість наземних нещасних випадків*	Кількість наземних фатальних випадків	Очікувана кількість фатальних наземних випадків, які виникають з наземного нещасного випадку
Авіаційний перевізник	14	60	4,3
Літак місцевої авіалінії	11	25	2,3
Літак загального призначення	66	120	1,8

\*Зіткнення між авіацією різної категорії підраховується як половина нещасного випадку для кожної категорії.

**Ризик фатального наземного випадку в 2000 р.**

Виходячи з даних про операції аеропортів США в 2000 р., де 15,5 млн. операцій виконали авіаційні перевізники, 14,6 млн. операцій – літаки місцевої авіалінії і 113,1 млн. операцій – літаки загального призначення, передбачувана кількість фатальних наземних випадків в 2000 р. через аварію літака може бути визначена з рівняння (3) для кожної категорії літака.

Для авіаційного перевізника фатальні наземні випадки дорівнюють:

$$0,011 \cdot 4,3 \cdot 15,5 = 0,7,$$

для літаків місцевої авіалінії:

$$0,023 \cdot 2,2 \cdot 14,6 = 0,8,$$

для літаків загального призначення:

$$0,0099 \cdot 1,8 \cdot 113,1 = 2,0.$$

Загальна кількість становить 3,5 фатальних наземних випадків. Ці розрахунки показують, що літаки загального призначення нараховують до 60% фатальних наземних випадків в 2000 р., а кожна окрема авіакомпанія і літаки місцевої авіалінії – до 20%. Користуючись тим, що постійне населення США в 2000 р. становило 275 млн., щорічний ризик смертельних випадків через катастрофу літака для жителя США може бути оцінений за допомогою рівняння (1):

$$R_{с.н} = \frac{3,5}{275\,000\,000} = 1,3 \cdot 10^{-8}. \quad (4)$$

### Прогноз наземного ризику на 2005, 2010, 2015 рр.

Базуючись на зазначеному підході, розглядаємо вплив поточних передбачених показників на розрахунки наземного ризику, для 2005, 2010 і 2015 рр. У табл. 3 наведено розрахунки майбутнього функціонування аеропорту і припустиму кількість наземних подій, які є незмінними на наступні 15 р.

Таблиця 3

#### Передбачувані показники функціонування аеропорту в США

Рік	Авіаційний перевізник	Літак місцевої авіалінії	Літак загального призначення
2000	15,48	14,58	113,12
2005	17,45	15,84	117,48
2010	19,66	17,07	121,99
2015	22,00	18,31	126,69

У табл. 4 подано результати середнього індивідуального ризику в США.

Таблиця 4

#### Передбачувані показники фатального наземного ризику в результаті непередбачених авіаційних катастроф

Рік	Ризик населення*	Постійне населення США, тис.**	Середній індивідуальний ризик	Ризик протягом 75 р.
2000	3,5	275306	$1,3 \times 10^{-8}$	$9,5 \times 10^{-7}$
2005	3,8	287716	$1,3 \times 10^{-8}$	$9,9 \times 10^{-7}$
2010	4,0	299862	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-6}$
2015	4,3	312268	$1,3 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-6}$

\*Очікувана кількість наземних фатальних випадків за рік.

\*\*Передбачувані показники зростання населення в США.

Хоча ризик для населення збільшується від 3,5 фатальних випадків у 2000 р. до 4,3 у 2015 р., індивідуальний ризик залишається постійним, оскільки постійне населення США, як і очікується, буде збільшуватися від 275 млн. у 2000 р. приблизно до 312 млн. у 2015 р.

Розрахунки засновуються на аналізі, який припускає взаємозв'язок між станом економіки і функціонуванням авіаційної промисловості. Щорічні процентні зміни у функціонуванні отримані для кожної категорії авіації, які складають фундаментальні економічні допущення відносно майбутнього економічного зростання та цін на паливо.

### Регулювання ризику

Заходи щодо зменшення ризику можуть мати технічний і/або організаційний характер. При виборі конкретних заходів вирішальне значення має загальна оцінка дієвості та надійності заходів, які впливають на ризик, а також розмір витрат на їх реалізацію. Наприклад, для виникнення потенційної небезпеки вибір запланованих до впровадження заходів безпеки має такі пріоритети:

- заходи щодо зменшення ймовірності виникнення аварії;
- заходи щодо зменшення ймовірності розвитку аварії;
- заходи щодо зменшення тяжкості наслідків аварії.

Для визначення пріоритетності виконання заходів для зменшення ризику в умовах заданих витрат чи обмеженості ресурсів необхідно:

- визначити сукупність заходів, що можуть бути реалізовані при заданих обсягах фінансування;
- визначити ранг цих заходів за показником «ефективність–витрати»;
- обґрунтувати й оцінити ефективність запропонованих заходів.

Оцінювання різних заходів для забезпечення безпеки, як правило, ґрунтується на тому, скільки коштів може бути сплачено для зменшення соціального ризику. Задача формулюється як оптимізаційна. Оптимальне рішення мінімізує залишковий ризик на довгий період при найменшій вартості. Для перетворення одиниць ризику в монетарні оцінки (наприклад, фатальності/рік в євро/рік) використовують принцип маргінальної вартості. Маргінальна вартість  $M_k$  визначається величиною коштів, які люди бажають вкласти для зменшення ризику на певну одиницю.

Для декількох індикаторів збитку внаслідок ризику  $k$  монетарний, соціальний ризик  $R_m$  визначається як

$$R_m = \sum_{k=1}^n p C_k \varphi_k(C_k) M_k.$$

Сприйняття ризику залежить від ступеня самовизначеності та вигод ризикованого виду авіаційної діяльності.

Тому маргінальна вартість змінюється в широких межах і може дорівнювати 100 000 євро для добровільного випадку, і понад 10 000 000 євро для недобровільного.

Відповідальні особи за прийняття рішення складають перелік небезпек, які потрібно оцінити. Для них збирається уся наявна необхідна інформація:

- статистика подій;
- карти небезпек;
- експертні оцінки;
- знання.

Просторове обмежування небезпеки визначають за науковими даними, якщо карти небезпеки та інвентаризаційні дані відсутні.

Усі наявні заходи безпеки, наприклад, попереджувальні сигнальні системи, планування дій на випадок авіаційної аварії, переліковуються та оцінюються стосовно їх ефективності.

На підставі просторового обмежування небезпеки та існуючих заходів безпеки об'єкти потенційного впливу ідентифікуються та характеризуються. Для оцінки ризику необхідно визначити декілька сценаріїв розвитку подій, наприклад, три сценарії небезпечної авіаційної події (подій) та три сценарії експозиції для кожного потенційного об'єкта впливу, тобто матрицю 3x3. Наприклад, ці сценарії описують і визначають імовірність їх виникнення. Наприклад, понад 10 р. у Швейцарії є обов'язковим створення карт природних небезпек [3]. Три сценарії небезпечних подій з імовірністю утворення 1/30 р., 1/100 р. і 1/300 р. є базовими.

Сценарії небезпечних авіаційних подій відтворюються в процедурах визначення ризику.

На останньому етапі оцінки ризику визначають сценарії наслідків.

Максимальні та мінімальні втрати оцінюють для двох індикаторів збитків – матеріальних цінностей та фатальних людських втрат. Дані заносять у комп'ютер. Графічне зображення результатів оцінки ризику (величина та характеристика) мають бути доступними для подальшого аналізу.

### Висновок

В авіації за 50 р. кількість аварій і частота фатальних випадків значно скоротилися завдяки технологічним розробкам. Однак в останньому десятилітті ці зниження вирівнялися. Вихідний сценарій припускає, що кількість фатальних наземних випадків за період експлуатації залишиться постійним до 2015 р. для кожної категорії авіації, незважаючи на те, що очікується зростання населення від 275 до 312 млн. у 2015 р. Збільшення кількості населення може призвести до збільшення наземних фатальних випадків, оскільки літак, що падає, ймовірніше досягне мети.

За останні 13 р. рівень травматизму людей, які знаходяться на території аеропорту, та населення, що мешкає поблизу аеропорту, незважаючи на збільшення населення від 242 млн. в 1987 р. до 275 млн. в 1999 р. залишався відносно незмінним за рахунок введення нових технологій. Очевидно, обидва впливи компенсували один одного. Але впровадження нових удосконалених і комп'ютеризованих технологій зменшить кількість аварій і частоту смертельних наслідків.

### Література

1. *Aviation risk context statement* // Office of transport security. Department of transport and regional services. – 2005. – Jan. – P. 15.
2. *Michael S. Wright, Entec UK Ltd. Major incident risk assessment toolkit. Version 1.0.* – London, 1999. – 53 p.
3. *Wegmann M.R., Merz H.A. Natural hazard risk management – a transdisciplinary approach.* – Switzerland, 2002. – 12 p.

Стаття надійшла до редакції 01.02.06.

И.Л. Государская

Расчетное определение фатального наземного риска вследствие непредвиденной аварии самолета

Предложено расчетное определение возможного ежегодного фатального риска для индивидуума, который находится на территории аэропорта, и населения, проживающего вблизи аэропорта. Приведены оценки ожидаемого количества фатальных наземных случаев, которые вероятно возникнут вследствие аварий самолетов. Рассмотрены мероприятия регулирования риска.

I.L. Gosudarskaya

Definition of the risk grounding fatalities due to unintentional airplane crashes by calculates

Estimates of the expected number of grounding fatalities, are given which probably will arise due to accident of air carriers, air taxi and general aviation. Measures regulation of the risk is considered.