

УДК 65.011.3:656.71 (045)

І.Л. Государська, асист.

## ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СТВОРЕННЯ ЗОН ГРОМАДСЬКОЇ БЕЗПЕКИ В ОКОЛИЦІ АЕРОПОРТУ

*Розглянуто економічну ефективність створення зон громадської безпеки в околиці аеропорту на підставі аналізу витрат-прибутку. Обчислено витрати та прибутки від розміщення, переміщення приватних та громадських будівель, магістралі та інших структур або від зміни використання землі під сільськогосподарські роботи в межах зон громадської безпеки через вартість індивідуального ризику всередині розглянутої ділянки. Показано перевагу прибутку від створення зон громадської безпеки в околиці аеропорту, що перевищує витрати.*

*Economic efficiency of creation of Public Safety Zones within airport have been considered, that is based on cost-benefit analysis. Estimation of costs and the benefits have been presented from moving of private building, public buildings, road infrastructure or other structures or from change of land use within Public Safety Zones by cost of individual risk within the area interest. Advantage of the benefits from creation of Public Safety Zones within airport has been represented that are higher than costs.*

**витрати, зона громадської безпеки, економічна ефективність, індивідуальний ризик**

### Постановка проблеми

Зони громадської безпеки (ЗГБ) – це ділянки землі в торцях злітно-посадкової смуги (ЗПС) в аеропортах, в межах яких регулюється перебування кількості людей, які піддаються ризику, загибелі або травматизму через імовірну авіаційну подію (АП) повітряного корабля (ПК) під час зльоту або посадки [1].

В околиці аеропорту кількість мешканців, працівників та скупчення мас людей має бути обмеженим. Це впливає з політики ЗГБ [1], що визначає рівень індивідуального ризику для людей, які перебувають в околиці аеропорту та у випадку планування землевідведень для розміщення нових будівель, споруд у межах аеропорту або в разі наявності житлової, комерційної та промислової власності поблизу торця ЗПС.

На підставі аналізу витрат-прибутку визначають економічну ефективність створення ЗГБ, що пояснює політику створення ЗГБ в околиці аеропорту.

Економічна ефективність створення ЗГБ досягається створенням заходів безпеки в околиці аеропорту завдяки переміщенню будівель у зону низького ризику в межах ЗГБ через грошовий еквівалент. Прибуток пов'язаний із віддаленням або переміщенням будинків із зони високого ризику  $10^{-4}$  в зону низького ризику  $10^{-6}$  або заборонаю діяльності в межах ЗГБ. Прибуток розглядають як співвідношення витрат, де витрати пов'язані із загибеллю кількості людей в межах ЗГБ. Отже, прибуток виражається вартістю індивідуального ризику.

Для економічної ефективності створення ЗГБ потрібно [2]:

- 1) визначити контур ризику, який відповідає межі прийнятого індивідуального ризику загибелі людини  $10^{-4}$  ЗГБ за рік (недопустиме значення), контур ризику  $10^{-5}$  та  $10^{-6}$  ЗГБ за рік (допустиме значення);
- 2) у кожній точці в межах контурів ризиків  $10^{-4}$  та  $10^{-5}$  ЗГБ порівняти прибуток від скорочення індивідуального ризику з витратами переміщення або заборони розміщення будівель у цих точках з використанням відповідних значень;
- 3) у межах контурів ризиків  $10^{-4}$  та  $10^{-5}$  позначити ЗГБ ділянкою, де прибуток перевищує витрати від нерозміщення там будівель та споруд.

### Визначення зони громадської безпеки в околиці аеропорту

Зона громадської безпеки складається з контурів ризику:  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ , які являють собою просту геометричну форму. В основу визначення ЗГБ покладено оцінювання індивідуального ризику.

Індивідуальний ризик дорівнює щорічному ризику смерті або травматизму індивіда через АП ПК, який перебуває в зоні ризику щоденно 24 години на добу протягом року.

Для розрахунку контурів індивідуального ризику потрібно три основні (кількісні) величини:

- 1) щорічна ймовірність появи катастрофи ПК в околиці аеропорту (модель частоти катастроф);
- 2) розподіл місця розташування ПК за різними типами АП (модель місця розташування АП);

3) середній розмір ділянки, на якій можуть бути розкидані уламки ПК внаслідок катастрофи, та ймовірно пропорційно заглиблих людей у межах цієї ділянки (модель наслідку катастрофи).

Індивідуальний ризик у будь-якій точці, пропорційний добутку середньої оцінки катастроф  $R$  ПК, визначають як середнє значення за політ, кількості польотів ПК  $N$  і середній зруйнований ділянку  $A_{des}$  – як середню ділянку уламків ПК унаслідок удару з ділянкою землі, в межах якої розкидано уламки ПК і дана ділянка землі зруйнована). За допомогою статистичного опрацювання даних визначаємо лінійну регресію, яку подамо у вигляді добутку  $NRA_{des}$  із зонами  $A$  трьох значень індивідуального ризику ( $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ ) [3]:

– для індивідуального ризику  $10^{-4}$ :

$$A = 0,00015 NRA_{des} + 3,095 (R^2 = 0,978);$$

– для індивідуального ризику  $10^{-5}$ :

$$A = 0,00015 NRA_{des} + 60,52 (R^2 = 0,999);$$

– для індивідуального ризику  $10^{-6}$ :

$$A = 0,00015 NRA_{des} + 849,97 (R^2 = 0,988).$$

Загальну площу  $A$  та середню зруйновану ділянку  $A_{des}$  обчислюють в гектарах. Кількість польотів ПК  $N$  за рік виражається за кількістю зльотів та посадок ПК, а середня оцінка катастрофи ПК  $R$  – як катастрофа ПК на мільйон рухів.

Отримана в результаті форма ЗГБ має вигляд подовженого рівнобедреного трикутника з основою в торці ЗПС та простирається за зовнішні межі аеродрому.

Якщо аеропорт має більше від однієї ЗПС, площу  $A$  ділять пропорційно між кількістю торців.

Також використовуємо відсоток різних типів АП і відсоток рухів ПК.

Тоді, отримуємо рівняння

$$A_{re} = \sum_{i=1}^n AP_{Lre} P_{ai} + \sum_{i=1}^n AP_{Tre} P_{ai},$$

де

$A_{re}$  – площа ЗГБ торця ЗПС ( $re$ );

$n$  – кількість типів АП;

$P_{Lre}$  – кількість посадок ПК у напрямку  $re$ ;

$P_{Tre}$  – кількість зльотів ПК у напрямку  $re$ ;

$P_{ai}$  – відсоток АП для типу  $i$ .

Якщо відома площа трикутника ЗГБ трьох значень індивідуального ризику  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$ , де середнє співвідношення  $\rho$  між довжиною  $l$  і шириною  $w$  трикутника, тоді визначаємо розміри трикутників для кожного рівня індивідуального ризику такою системою:

$$\begin{cases} A = \frac{1}{2}lw \\ \rho = \frac{l}{w} \end{cases} \Rightarrow l, w.$$

### Обчислення витрат

Обчислення витрат пов'язане із:

1) віддаленням або переміщенням будинків, споруд приватної власності (житловий будинок, магазин, промисловість та ін.) в зону низького ризику  $10^{-6}$  ЗГБ;

2) віддаленням або переміщенням будинків, споруд громадської, комунальної та державної власності в зони низького ризику  $10^{-6}$  ЗГБ (школа, кінотеатр, басейни та ін.);

3) зміною використання землі в межах ЗГБ де розташовані житлові будинки під сільське господарство.

Оцінювання економічних витрат щодо кожного припущення ґрунтується на концепції можливих витрат, тобто непрямих витрат.

Економічні витрати, які стосуються першого та другого припущень показано на рис. 1, а, структурну схему оцінювання витрат зі зміною використання землі, на якій розташовано житлові будинки під сільське господарство в ЗГБ в околиці аеропорту – на рис. 1, б.

Різниця між значенням ділянки, де розташовано житловий будинок та значенням після зміни цієї ділянки під інше використання називають «значення розвитку».

Передбачається, що «можливі» витрати на заборону нового розвитку землі, тобто заборони розташування нових житлових будівель та відведення цих ділянок землі під сільськогосподарські роботи – це відсоток «значення розвитку» землі. Відсоток задають у вигляді символічного значення – 10 %.

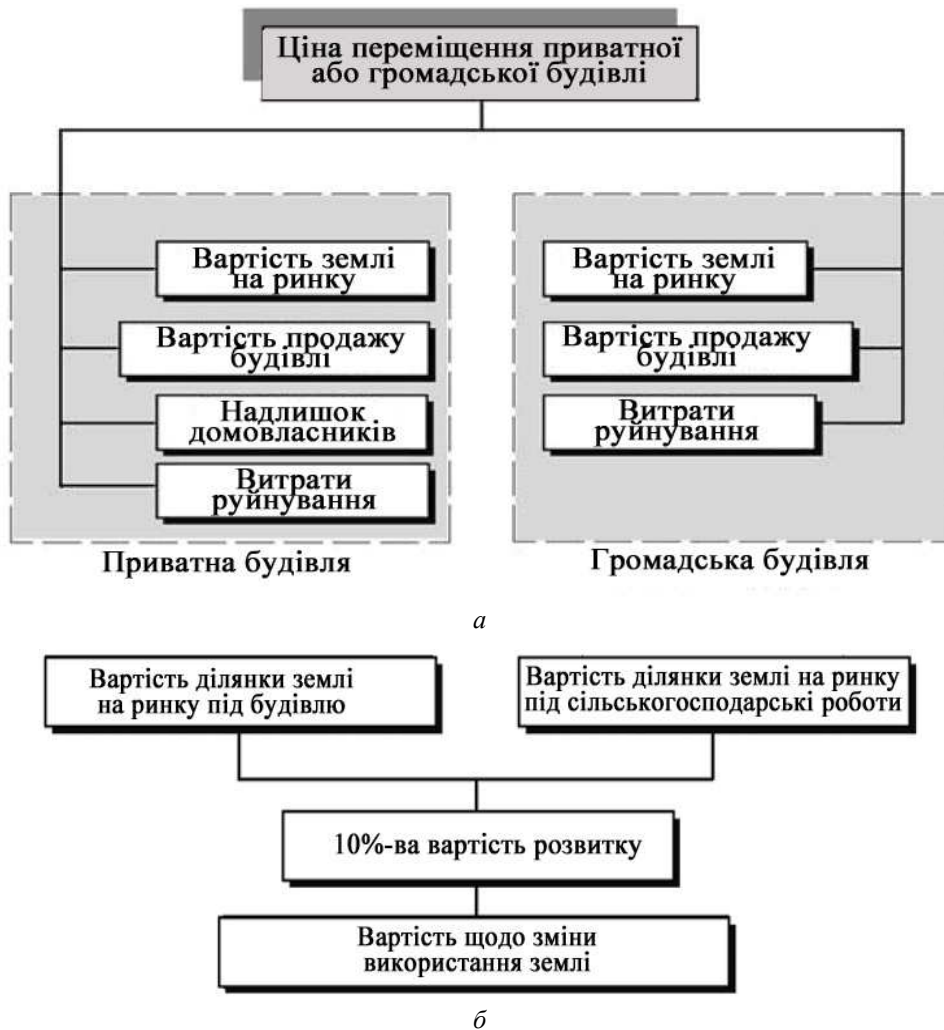


Рис. 1. Непрямі витрати, пов'язані з переміщенням приватних та громадських будівель (а) та зміною використання землі (б)

**Обчислення прибутку**

Середня кількість мешканців будинку виражається  $n$ , статистичне життя –  $v$ , абсолютний індивідуальний ризик –  $r$ . Тоді вартість статистичного життя мешканців будинку середнього розміру буде  $nv$ , який розміщений в контурі ризику  $r$ , тобто щорічне значення ризику має вигляд  $nvr$ . Якщо цей ризик збережеться  $m$  років, наприклад 30 років, то обліковий відсоток  $d$  для майбутніх витрат і прибутку становить 3,5 % за рік. Отже, величина прибутку від ризику становить

$$nvr \left( \frac{1 - \frac{1}{(1+d)^m}}{\frac{1}{(1+d)}} \right)$$

Тому, щоб визначити значення ризику як непрямий прибуток від заборони або ж переміщення або/і видалення будинків, пропонується таке співвідношення

$$n\alpha \frac{t}{24} \frac{g}{365} vru_d \left( \frac{1 - \frac{1}{(1+d)^m}}{\frac{1}{(1+d)}} \right)$$

де

$t$  – середня кількість годин на добу;  
 $g$  – середня кількість днів протягом року, коли кількість індивідів  $n$  присутні всередині певної ділянки.

Типологію структур в околиці ЗГБ, для яких встановлено значення  $t$  та  $g$ , наведено в таблиці.

Значення  $t$  та  $g$ , які співвіднесені з допустимою зайнятістю в околиці ЗГБ

Діяльність, зайнятість	Структури або/і будівлі	$t$	$g$
Житлова	Житло, готелі, будинки відпочинку	24	365
Комерційна, трудова	Офіси, магазини, ресторани, об'єкти промисловості, фабрики, заводи	8-10	Будні дні
Спорт у вільний час	Гімнастичні зали, басейни	12	Будні дні
Навчальна	Школи, коледжі, інститути, університети	6	Будні дні
Санітарно-лікувальна	Госпіталі, лікарні, будинки для літніх осіб	24	365
Місця позбавлення волі	В'язниці, казарми	24	365

Показник  $u_d$  показує велике значення ризику молоді. Наприклад, школа розташована в зоні високого ризику  $10^{-4}$ , тоді відповідний ступінь ризику  $u_d$  дорівнює 2. Це підкреслює важливе значення ризику дітям, оскільки існує імовірнісна втрата життя дитини.

Уводиться коефіцієнт  $\alpha$  як співвідношення між ділянкою, де розташовано будівлю та середньою зруйнованою ділянкою.

Для обчислення середню зруйновану ділянку подано у вигляді прямокутника, де точка удару ПК збігається з центром прямокутника.

Для визначення коефіцієнта  $\alpha$  необхідно провести розходження трьох випадків:

- 1) розглянута ділянка збігається із середньою зруйнованою ділянкою (рис. 2, а);
- 2) розглянута ділянка більша за середню зруйновану ділянку (рис. 2, б);
- 3) розглянута ділянка менша за середню зруйновану ділянку (рис. 2, в).

Випадок 1. Кількість індивідів  $n$  займають ділянку  $A_{int}$ , яка за розміром збігається із середньою зруйнованою ділянкою  $A_{des}$ .

У цьому випадку ймовірніше, що внаслідок катастрофи ПК буде залучена вся розглянута ділянка прямокутника, провокуючи загибель усіх людей, які займають цю ділянку, але тільки в разі якщо точка удару ПК збігається із центром площі  $A$ , тому  $\alpha = 1$ .

Випадок 2. Частина індивідів із загальної кількості, які займають розглянуту площу  $A_{int}$  не загине.

Отже, припускається низьке значення ризику, порівняно з випадком 1, де ділянки повністю збігаються. Тому для цього випадку визначимо коефіцієнт  $\alpha$

$$\alpha = \frac{A_{des}}{A_{int}}$$

Випадок 3. Індивіди, які займають площу  $A_{int}$  імовірніше загинуть не тільки якщо, удар ПК спрямує в центр середньої зруйнованої ділянки, але також якщо відбудеться удар ПК біля безлічі точок у межах середньої зруйнованої області  $A_{des}$  (рис. 3).

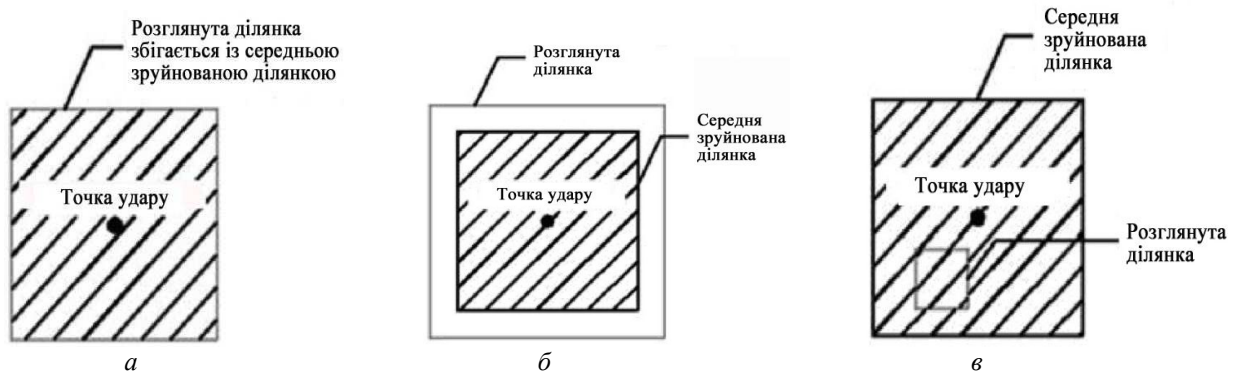


Рис. 2. Випадки 1 (а), 2 (б, в)

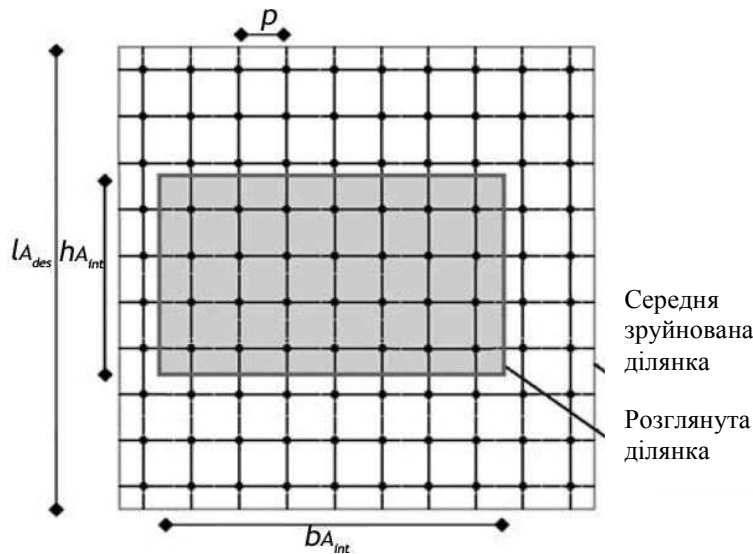


Рис. 3. Співвідношення між середньою зруйнованою ділянкою внаслідок катастрофи ПК та розглянутою ділянкою

Розглядаючи розміщення всіх імовірних точок удару ПК, які залучають розглянуту ділянку  $A_{int}$  в межах відносної середньої зруйнованої ділянки  $A_{des}$ , можна визначити коефіцієнт  $\alpha$  з рівняння

$$\alpha = \left(1 + \frac{l_{A_{des}} - b_{int}}{p}\right) \left(1 + \frac{l_{A_{des}} - h_{int}}{p}\right),$$

де

- $l_{A_{des}}$  – сторона зруйнованої ділянки;
- $b_{A_{int}}$  – основа розглянутої ділянки;
- $h_{A_{int}}$  – висота розглянутої ділянки;
- $p$  – крок відстані точок удару ПК.

Відстань визначає варіювання розміщення середньої зруйнованої ділянки, яка є значущою (задається як  $l_{A_{des}}/10$ ).

### Транспортна інфраструктура в межах зони громадської безпеки

Проїжджаючи по магістралі, що розташована в межах ЗГБ, пасажирів транспорту переважно перебувають деякий час протягом доби в зонах ризику. Але при цьому на магістралі в межах ЗГБ щільність заповнення транспорту пасажирями, які піддаються ризику, може бути високою і не допустимою.

Тобто транзит кількості індивідів  $n$  транспортними засобами по магістралі, які піддаються ризику, – непостійна величина в часі та просторі, оскільки пересування здійснюється з різною швидкістю від однієї до іншої точок магістралі. Розглянута ділянка  $A_{int}$  – це частина магістралі, яка розміщена в зонах ризику  $10^{-4}$  та  $10^{-5}$  (рис. 4).

Визначимо кількість індивідів  $n$ , які займають розглянуту ділянку  $A_{int}$ :

$$VO_{cc} = p,$$

де

$V$  – оцінка потоку (транспортний засіб/год);

$O_{cc}$  – кількість пасажирів в транспорті, що пересуваються по магістралі (індивід/транспортний засіб:  $O_{cc} = 1,5$ ).

Через годину кількість індивідів займають площу поверхні  $Z$ , що дорівнює добутку середньої швидкості руху  $S$  і ширини  $w$  відрізка дороги:  $1000Sw = Z$ .

Отже, отримуємо кількість індивідів, які займають частину магістралі:

$$\frac{p}{z} = \bar{p}.$$

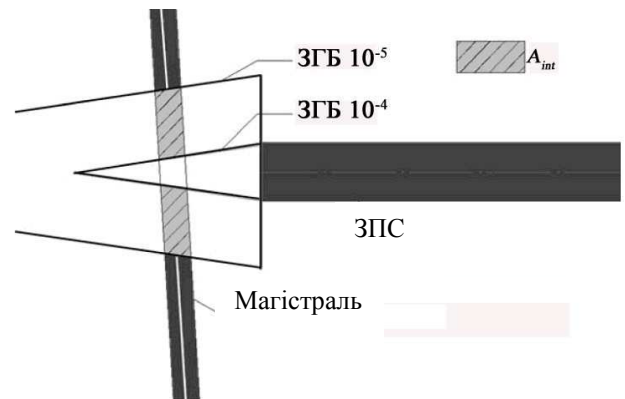


Рис. 4. Ділянка  $A_{int}$  магістралі

Тоді значення  $n$  індивідів одержимо:

$$\bar{p} A_{\text{int}} = n.$$

Згідно з працею [1] не дозволяється розміщувати в межах ЗГБ нову транспортну інфраструктуру – залізничні або автобусні станції, стоянки для автомобілів, – оскільки це призведе до скупчення людей тривалий час протягом доби. У межах ЗГБ можна розміщувати другорядні автомагістралі низької інтенсивності, що не пов'язані з містом.

### Висновки

Економічну ефективність створення ЗГБ в околиці аеропортів визначено через аналіз витрат - прибутку. В аналізі витрат – прибутку критерій вибору рішень складається із певних заходів безпеки в околиці аеропорту завдяки визначенню витрат та прибутку в грошовому еквіваленті. Кінцевим результатом аналізу є перевага прибутку створення ЗГБ в околиці аеропорту над витратами.

В економічній ефективності створення ЗГБ визначений прибуток можна отримати завдяки скороченню кількості смертей, травматизму індивідів, завданих збитків мешканцям околиці аеропорту внаслідок аварій ПК, зменшення пошкоджень житлової і нежитлової забудови в межах ЗГБ.

Визначено, що вартість розвитку землі у вигляді розташування нових житлових будівель в зоні високого ризику ЗГБ вища, ніж відведення цих ділянок землі під сільськогосподарські роботи. Заборона розвитку землі в межах зон високого ризику значно знижує її вартість.

У розрахунку вартості розвитку землі в околиці аеропорту в межах ЗГБ було враховано рівень небезпеки зон ризику. Також визначено, що розвиток землі в межах ЗГБ прямо пропорційний соціальним витратам у цілому. У випадку заборони розвитку землі в межах ЗГБ соціальні витрати дорівнюватимуть нулю.

### Література

1. *Control of development in airport Public Safety Zones*. Welsh Assembly Government. Circular 36/2004. – 2004, August. – P. 4–11.
2. *Third party risk near airports and public safety zone policy* / A.W. Evans, P. Foot, S.M. Mason, I.G. Parker, K. Slater et al. – National Air Traffic Services Limited. R@D Report 9636. RDD File Reference 8CS/91/03/10. – London, 1997, June. – P. 58–89.
3. *Distefano N. Proposal of a methodology for airport Public Safety Zones*. 4th International SIIV Congress / N. Distefano, S. Leonardi, D. Buscema. – Italy, 2007, September. – P. 2–9.

Стаття надійшла до редакції 04.06.09.