

УДК 656.7.085:656.71(045)

ББК 0530-082.03 В631.21

О.І. Запорожець, д-р техн. наук, проф.,
Хайдар Хосейн Ахмед, асп.

МОДЕЛІ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ І КАТАСТРОФ У РАЙОНІ АЕРОПОРТУ

Розглянуто моделі оцінки пошкодження будівель і споруд, розміри області розкиду уламків літаків, летальність серед населення, що знаходиться на місці авіаційної події.

Вступ. Модель наслідків авіаційної події (АП) визначає її можливі наслідки для певного місця: розміри області розкиду уламків літаків, пошкодження будівель і споруд, летальність серед населення в результаті АП. Для оцінки ризику АП необхідно кількісно визначити їх наслідки.

Модель оцінки пошкодження будівель і споруд. Після оцінки рівня АП насамперед може виникнути необхідність визначення частоти зіткнень повітряних кораблів (ПК) з будівлями і спорудами (цільовими об'єктами) в місці дослідження. Ці обчислення передбачають для будівлі певної висоти зважати кути зниження ПК для того, щоб правильно визначити «зону тіні» на прилеглий до об'єкта території, площу будівлі на плані та ін.

Для того, щоб оцінити наслідки пошкодження об'єкта, визначити можливість пробивання стін будівлі, необхідно знати характер наслідків зіткнення ПК з будовами, спорудженими із залізобетону, кут нанесення удару, масу і швидкість ПК. Однак наслідки попадання ПК під час АП в конкретну будівлю або споруду взагалі дуже складно передбачити.

Для незахищеного об'єкта, що має форму паралелепіпеда та ізотропічно орієнтовані напрямки підходів ПК до нього, ефективну площу даного цільового об'єкта A_E у разі АП визначають за формулою

$$A_E = l_w + \frac{2}{\pi} h(w+l) \sum_{i=1}^{i=n} f_i \text{ctg} \Theta_i, \quad (1)$$

де w, h, l – габарити паралелепіпеда; f_i – пропорції ПК при куті зниження Θ_i .

Якщо цільовий об'єкт частково закритий (захищений) іншими спорудами від ударів ПК при АП, залежність (1) дає помірну оцінку його ефективної площі.

Якщо враховувати наявність перекриття (захист) цільового об'єкта, його ефективну площу необхідно розрахувати для ймовірних ударів ПК з півночі, півдня, сходу, заходу та враховувати середнє з цих значень як результат розрахунку. Для незахищеної конструкції (рис. 1) при ударі ПК з одного напрямку (з півночі або півдня) ефективну площу розраховують за формулою

$$A_{NC} = lw + lh \sum_{i=1}^{i=n} f_i \text{ctg} \theta_i, \quad (2)$$

в якій функція f_i визначається габаритами ПК. Для оцінки удару ПК в цільовий об'єкт з іншого напрямку (зі сходу або заходу) його ефективну площу розраховують за тією ж формулою (2), але для інших габаритних параметрів об'єкта.

При наявності укриття цільового об'єкта суміжною конструкцією належно враховувати відстань між захисною і цільовою конструкціями та висоту захисної конструкції.

Для кожного кута зниження, якщо x більш ніж $h_1 \cos \Theta$, немає ніякого перекриття і ефективну площу розраховують як

$$A_{EW} = lw + wh \text{ctg} \theta. \quad (3)$$

Якщо кут зниження ПК достатній для використання екранування цілі, висота h_1 більша ніж h (рис. 2), а кут зниження ПК менший ніж кут α :

$$\alpha = \text{arctg} \left[\frac{h_1 - h}{x + 1} \right], \quad (4)$$

цільовий об'єкт повністю перекривається і його ефективна площа дорівнює 0.

У разі часткового перекриття, якщо висота h_1 менша ніж h (рис. 3), ефективну площу цільового об'єкта знаходять за формулою

$$A_{EW} = [(h - hl)\text{ctg}\theta + x + l]w. \quad (5)$$

Якщо висота h_1 більша ніж h і кут зниження літака менший ніж кут β (рис. 4):

$$\beta = \arctg\left[\frac{h_1 - h}{x}\right], \quad (6)$$

ефективну площу цільового об'єкта визначають за формулою

$$A_{EW} = [(2h - hl)\cot\theta + x + l]w. \quad (7)$$

Якщо кут зниження літака більший ніж кут β , ефективну площу знаходять за виразом

$$A_{EW} = [(h - hl)\text{ctg}\theta + x + l]w. \quad (8)$$

Приклади показують, як конструкція перекриття надає захист уздовж усієї довжини цільових конструкцій.

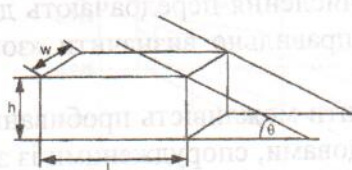


Рис. 1. Ефективна площа захищеного цільового об'єкта



Рис. 2. Повне екранування цільового об'єкта

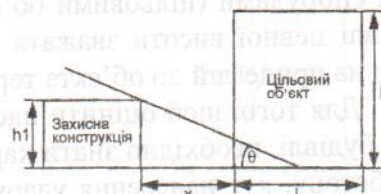


Рис. 3. Часткове екранування цільового об'єкта при $h_1 < h$

Вирази розрахунку ефективної площі цільового об'єкта (2)–(8), які враховують захищеність даного об'єкта, досить точні, але в більшості практичних випадків формула (1) є достатньою.

Під час зіткнення з будовою внаслідок занесення ПК наявність перешкод (інших будівель, лісу, насипів) знижує ймовірність удару в цільовий об'єкт. Додаткову територію, яка може постраждати через таке зіткнення з об'єктом, можна обчислити з урахуванням максимальної довжини занесення ПК:

$$S = \frac{V_s^2}{2\mu g},$$

де V_s – швидкість на початку дистанції занесення ПК; μ – коефіцієнт тертя; g – прискорення сили тяжіння.

Пошкодження внаслідок занесення ПК можливо лише при низьких кутах зниження (виміряних від горизонту). Для кутів понад 15° вертикальний компонент інерції рухомого тіла (ПК) досить великий, щоб забезпечити те, що пошкодження через занесення не станеться.

Розміри області наслідків АП. Визначення розмірів області наслідків АП і летальності засновано на аналогічній базі даних області розкиду уламків ПК. Інформацію в базі даних складено із звітів про випадки NTSB і доповнено інформацією звітів ADREP ICAO та інших джерел. База даних містить загальну кількість із 182 АП. Не всі дані придатні для визначення виду наслідків.

Розмір області наслідків розраховували для 71 АП з використанням інформації про розміри ПК, область розкиду уламків ПК, тип поверхні в області розкиду уламків ПК, категорію АП.

Розмір області розкиду уламків розраховували тільки для великих частин літака. Малі частини літака, які не можуть нанести збитку на землі, не враховували. У деяких випадках область наслідків визначали множенням розмаху крила літака на дистанцію занесення ПК, наприклад, дистанцію гальмування ПК при аналізі АП на злітно-посадковій смузі. Області АП, указані в звіті, при необхідності перевіряли і коректували.

Між розмірами літака і областю розкиду уламків допускається залежність. Літаки великого розміру будуть обумовлювати велику площу. Розмір літака може бути виражений різними

способами, наприклад, через масу літака. У звітах про АП максимальна злітна маса використовується як міра для визначення розміру літака.

Масив даних графічно показано на рис. 5. Лінійна залежність (лінія регресії) наведена через точки. Лінійна регресія обмежена по вертикальній осі оцінки області АП точкою зі значенням 0. Ця найпростіша модель дозволяє визначити область розкиду уламків залежно від максимальної злітної маси літака. Отриманий коефіцієнт кореляції розміру області розкиду уламків ПК дорівнює $83,16 \text{ м}^2/\text{т}$.

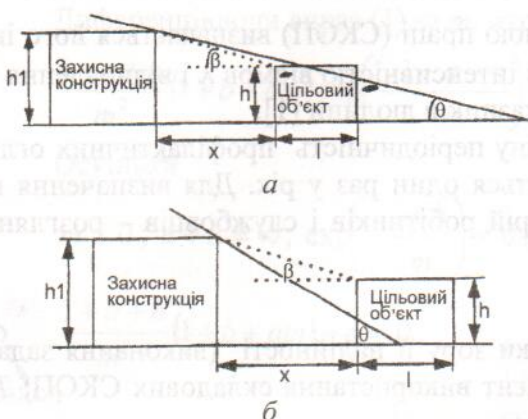


Рис. 4. Часткове екранування цільового об'єкта при $h_1 > h$:
а - $\theta < \beta$; б - $\theta > \beta$

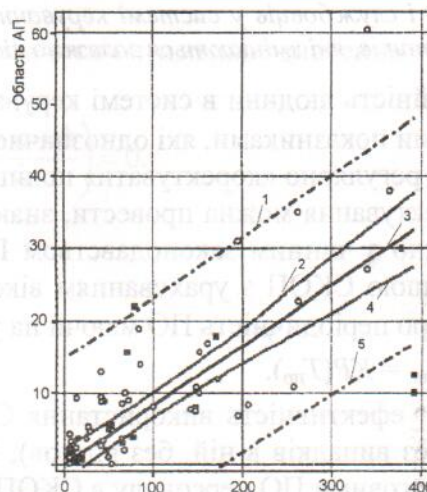


Рис. 5. Дані для оцінки області розкиду уламків літака при АП (1000 м^2):
1, 5 – верхня та нижня межі; 2, 4 – межі кореляційної залежності для 95% довірчого інтервалу; 3 – пряма визначеної кореляційної залежності;
○ – дані ADREP; ■ – дані NTSB

Летальність наслідків в області АП. Летальність – це ймовірність фатальних наслідків для осіб, які знаходяться в області розкиду уламків літака. Вона визначається двома способами: як співвідношення кількості фатальних наслідків до загальної кількості осіб, які знаходяться в місці АП, чи як математичне середнє значення фатальних наслідків. Допускається, що чим більша кількість населення в області АП, тим більш точний буде досягнутий розрахунок рівня летальності. Хоч джерела дають точну інформацію про АП, вони звичайно не наводять кількість осіб, які знаходилися на місці події в час самої АП. Надійна оцінка кількості осіб в області наслідків кожного АП необхідна для більш достовірного розрахунку рівня фатальних наслідків.

Розрахунок населення в місці АП проводився на основі наведеної документації: місцевого часу АП, кількості зруйнованих або пошкоджених будівель, фатальних наслідків, осіб з різним ступенем нанесених пошкоджень і т.д. У звітах про АП ці факти зводяться в розділ «інший збиток».

Дані про 123 АП розглядалися в базі даних області розкиду уламків літака. Для 115 АП визначено кількість населення в області наслідків, для 84 АП немає ніякої інформації про летальність. Оцінку летальності проводили за результатами аналізу 31 АП. У даних дослідження не було спроби визначити точність наведених оцінок летальності. Летальність обчислено значенням 0,278.

Верхню межу летальності можна визначити, допускаючи, що всі особи в області наслідків АП можуть бути смертельно пошкоджені. Насправді, в місці АП може знаходитися і більша кількість осіб, але не менш, ніж наведені дані про смертельні наслідки.

Рівень летальності буде меншим, коли на місці АП є особи, які не отримали ушкодження. База даних ADREP пропонує кількість летальних наслідків, а також відомості про осіб з різною мірою ушкодження. Оскільки всі ці особи мають бути подані в аналізі наслідків АП, за даними бази ADREP отримано верхню межу летальності значенням 0,612.

Нижню межу летальності може бути отримано у разі розрахунків максимуму можливого населення на кожному місці АП. Такий розрахунок не був проведений через відсутність даних.

Стаття надійшла до редакції 15.11.02.