

АЕРОПОРТИ ТА ЇХ ІНФРАСТРУКТУРА

УДК 624.042.3

Ю.В. Верюжський, д-р техн. наук
В.Г. Ширшов

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО І ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

Національний авіаційний університет, far@pau.edu.ua

Розглянуто значення, отримані в результаті аналізу напружено-деформованого стану будівельних конструкцій відповідальних об'єктів. Визначено параметри функції негативних наслідків падіння повітряного судна з урахуванням величин внутрішніх зусиль і їх впливу на ймовірне настання граничного стану конструкції.

Вступ

Дослідження рівня надійності несучої конструкції при оцінці напружено-деформованого стану відноситься до проблеми безпеки функціонування об'єкта.

Постановка задачі

Аналіз напружено-деформованого стану включає дослідження ймовірностей прояву факторів, що викликають руйнування, а також можливих негативних наслідків відмовлення будівельних конструкцій.

Параметри напружено-деформованого стану конструкцій

Відмовлення будівельних конструкцій об'єкта може відбутися при досягненні граничного стану в результаті руйнування по нормальному, похилому чи поздовжньому перетині. Критерій відмовлення будівельних конструкцій може мати вигляд [1]:

$$M_{\max}^{(x,y)} \geq [M_{\max}^{(x,y)}] \vee Q_{\max}^{(x,y)} \geq [Q_{\max}^{(x,y)}] \vee N \geq [N], \quad (1)$$

де $M_{\max}^{(x,y)}$ і $Q_{\max}^{(x,y)}$ – максимальні зусилля в перетинах, рівнобіжних осям ОХ і ОУ, при розташуванні навантаження в різних елементах конструкції; N – поздовжня розрахункова сила; $[M_{\max}^{(x,y)}]$, $[Q_{\max}^{(x,y)}]$, $[N]$ – зусилля, які визначені за норми.

Виконання хоча б одного з нерівностей (1) означає наступ відмовлення і руйнування будівельної конструкції.

У більшості випадків розрахунок будівельних конструкцій на дію динамічного навантаження здійснюється в статичній чи квазістатичній постановці [2]. Такий підхід припускає розробку розрахункової схеми, в якій дія динамічного навантаження замінюється статичної з одночас-

ним введенням коефіцієнтів динамічності, що враховують характер реального динамічного впливу на конструкції в лінійній постановці.

Аналіз імовірності падіння повітряного судна

В основі оцінки надійності функціонування будівельних конструкцій і устаткування відповідальних об'єктів лежить поняття ймовірності події як результат деякої процедури чи дії [3]. Імовірність події – кількісна міра, що визначає ступінь вірогідності події.

Падіння повітряного судна (ПС) є подією, що може відбутися з деяким ступенем вірогідності. При виконанні аналізу за рівнем добору по імовірності визначається річна величина ймовірності P_0 падіння повітряного судна на деяку стандартну площадку площею F_0 [1].

Для цього розглядають статистичні дані по авіакатастрофах:

$$P_0 = \sum_{i=1}^n P_i$$

де n – кількість місць із високим ступенем аварійності; P_i – імовірність падіння ПС унаслідок i -й характерної ознаки (по повітряному русі в характерних аварійних місцях), p^{-1} .

У багатьох випадках імовірності P_0 визначають на підставі експертної оцінки після порівняльного аналізу з даними, отриманими з інших країн чи джерел. Площа елементів при оцінці безпеки АЕС визначається величиною F_{ef} , що дорівнює площі горизонтальної поверхні елементів F , з урахуванням кута атаки α падаючого ПС:

$$F_{ef} = F \sin \alpha.$$

Розрахункову величину ймовірності визначають на підставі значення P_0 і F_{ef} :

$$P = P_0 F_{ef} / F_0.$$

Передбачається, що контакт падаючого ПС із відповідальним об'єктом відбудеться самим невигідним способом, тобто $\alpha = 90^\circ$. Значення ймовірності порівнюється з нормативною величиною, що являють собою деяке узагальнення статистичних критеріїв розглянутих подій. Статистичні критерії, які широко використовуються на практиці, з'явилися значно раніше ніж аналітичні.

Якщо отримане значення ймовірності не перевищує нормативне, то воно береться як припустима величина, у протилежному випадку – обмежується нормативним значенням.

Розрахункову ймовірність падіння ПС визначають із використанням числових і статистичних методів оцінки технічного стану основних компонентів авіаційної-транспортної системи (АТС).

Катастрофу ПС у районі розташування відповідального об'єкта моделюють на основі аналізу можливого повітряного руху з застосуванням методів і критеріїв оцінки рівня безпеки польотів у цивільній авіації.

Для проведення аналізу використовують підходи, що розглядають можливість прояву аварійної ситуації в польоті, дані статистичної обробки відмовлень АТС і результати моделювання розвитку аварійної послідовності. Спільне застосування статистичних і числово-аналітичних методів розрахунку ймовірності падіння ПС має такі особливості:

- до розгляду беруться конкретне ПС і реальний стан основних компонентів АТС, очікувані умови експлуатації для виконання польоту в районі розташування аналізованого об'єкта;

- ймовірність падіння оцінюється ймовірністю перебування в стані, що класифікується, як катастрофічна ситуація.

При виконанні розрахунку ймовірності використовується граф станів АТС і система диференціальних рівнянь, що описує модель марковського випадкового процесу типу «загибель» і «розмноження» [4; 5].

Для моделювання катастрофи ПС прийняті такі припущення:

- кількісні значення коефіцієнтів системи диференціальних рівнянь визначають на підставі статистичної обробки відмовлень основних компонентів АТС (проявів аварійних факторів), у результаті яких на борту ПС виникла особлива ситуація;

- компонентами АТС є ПС, екіпаж, навколишнє середовище (штучне і природне), персонал і технічні елементи керування повітряним рухом;

- відмовлення основних компонентів АТС розглядали для особливих ситуацій під час виконання ПС польотів за межами території аеродрому;

- вихідними даними для розв'язання задач є гелікоптер типу Мі-8 і повітряна обстановка в районі розташування об'єкта «Укриття» (рис. 1).

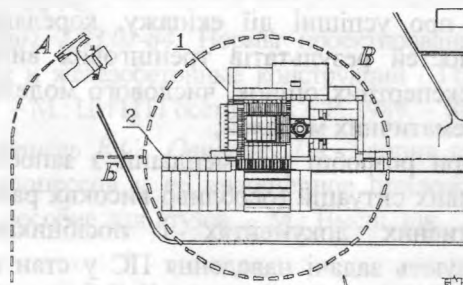


Рис.1. Повітряна обстановка в районі об'єкта «Укриття»:

1 – об'єкт; 2 – покрівля

Розв'язання тестового завдання

Умовним польотним завданням передбачається:

- зліт із зльотно-посадкової полоси (ЗПС), розташованої за межами 30-кілометрової зони навколо АЕС;

- крейсерський політ (відрізок маршруту А–Б, тривалість 20 хв.);

- обліт по колу (з центром у точці В (тривалість 30 хв. – шість витків по 5 хв. кожний) для візуального огляду і запису на прилади спеціальних параметрів стану об'єкта «Укриття» і навколишнього середовища;

- зворотний крейсерський проліт по маршруті Б–А і посадка на ЗПС (тривалість 20 хв.).

Для опису відрізків маршруту використовуються три тимчасових інтервали зі збільшенням за часом $t = 5$ хв.

Розрахунок ймовірності перебування елементів АТС у прийнятих до розгляду станів виконується з використанням системи диференціальних рівнянь.

Система рівнянь розв'язується числовим методом Рунге-Куты. Якості невідомі змінні визначаються ймовірності та значення для коефіцієнтів рівнянь:

- умовна ймовірність переходу системи в більш високий ранг особливої ситуації λ_i , наприклад, «аварійна ситуація – катастрофічна ситуація»;

- частота прояву особливих ситуацій за деякий період часу, зведена до 1 год польотного часу r_{ij} ;

– умовна ймовірність запобігання особливої ситуації, наприклад, «аварійна ситуація – ускладнення умов польоту» μ_{ij} .

Визначення перехідних коефіцієнтів типу μ_{ij} пов'язано з такими особливостями:

– коефіцієнти розраховують різними способами, у т. ч. із використанням статистичних даних про успішні дії екіпажу, кореляційних залежностей результатів тренінгових випробувань, експертних оцінок, числового моделювання математичних моделей;

– при розробці рекомендацій з запобігання особливих ситуацій (особливо високих рангів) у нормативних документах і посібниках не розв'язують задачі наведення ПС у стан очікуваних умов експлуатації.

Для станів аварійної та катастрофічної ситуацій екіпажу пропонується виконання фіксованого числа оперативних заходів, спрямованих на мінімальне зниження рангу ситуації.

Умови виконання польоту і необхідні значення вхідних параметрів оформляються у вигляді програмних констант і змінних.

Оптимістичний підхід припускає, що при польоті не виникне особливої ситуації, тобто частота виникнення особливих ситуацій не перевищує прийнятого, нормативного чи директивного значення.

Ефективність захисних технічних засобів і якість дій екіпажу приймається з припущенням їх чіткого і своєчасного спрацювання.

Вихідні дані для проведення аналізу:

```
#define ETAP_START_FLIGHT 20
```

```
//тривалість етапу польоту до об'єкта
```

```
#define ETAP_FLIGHT_OBJECT 30
```

```
//тривалість етапу польоту в районі об'єкта
```

```
#define ETAP_FLIGHT_LANDING 20
```

```
//тривалість зворотного етапу польоту
```

```
#define MESH_ETAP_START_FLIGHT 0,2
```

```
// розподіл етапу польоту за часом
```

```
//розрахункові значення параметрів  $\lambda_i$ 
```

```
double lambda0 = 0,0004, lambda1 = 0,0002,
```

```
lambda2 = 0,00008, lambda3 = 0,00004;
```

```
//розрахункові значення параметрів  $r_{ij}$ 
```

```
double lp01 = 0,556, lp02 = 0,278, lp03 = 0,111,
```

```
lp04 = 0,055, lp12 = 0,625, lp13 = 0,25,
```

```
lp14 = 0,125, lp23 = 0,667, lp24 = 0,333, lp34 = 1;
```

```
//розрахункові значення параметрів  $\mu_{ij}$ 
```

```
double mu10 = 0,8, mu20 = 0,56, mu30 = 0,28,
```

```
mu40 = 0,14, mu21 = 0,7, mu31 = 0,35,
```

```
mu41 = 0,175, mu32 = 0,5, mu42 = 0,25, mu43 = 0,5.
```

Розв'язок задачі зображається у вигляді масиву дискретних значень ймовірностей перебування компонентів АТС (ПС) у прийнятих нормативних рангах особливих ситуацій:

– очікувані умови експлуатації $P_0(t)$;

– ускладнення умов польоту $P_1(t)$;

– складна ситуація $P_2(t)$;

– аварійна ситуація $P_3(t)$;

– катастрофічна ситуація $P_4(t)$.

Результати розрахунку наведено в таблиці.

Перші чотири ітерації характеризують початковий етап польоту – виконання крейсерського польоту.

Ітерації 5–10 відносяться до основного етапу польоту – обльоту об'єкта по круговій траєкторії. Останні ітерації позначають кінцевий етап польоту – повернення в початковий пункт. Позначені етапи польоту відображено на графіку розподілу ймовірностей перебування в станах $P_1(t)$ – $P_4(t)$ (рис. 2).

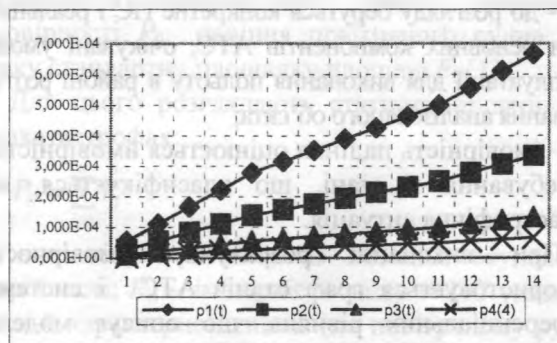


Рис. 2. Розподіл ймовірностей перебування АТС в особливих ситуаціях

Розподіл ймовірностей

Крок	$P_0(t)$	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$
5	9.99500205e-001	2.77855381e-004	1.38951174e-004	5.54906999e-005	2.74989488e-005
6	9.99433596e-001	3.14880924e-004	1.57470624e-004	6.28880570e-005	3.11653012e-005
7	9.99366995e-001	3.51901328e-004	1.75988337e-004	7.02850826e-005	3.48316218e-005
8	9.99300401e-001	3.88916594e-004	1.94504315e-004	7.76817777e-005	3.84979039e-005
10	9.99167236e-001	4.62931718e-004	2.31531069e-004	9.24741768e-005	4.58303528e-005

Розглянуті варіанти аналізу прояву особливих ситуацій показали:

- збільшення величин імовірностей для кожного зі станів має неоднаковий характер;
- значення ймовірності прояву катастрофічної ситуації значно вище нормативного рівня при розглянутій інтенсивності польотів.

Імовірність перебування ПС в очікуваних умовах експлуатації (стан $P_0(t)$) зменшується, а ймовірності настання станів $P_1(t)$ – $P_4(t)$ збільшуються при значному відсотку запобігання особливих ситуацій. Під час перебування ПС безпосередньо над відповідальним об'єктом значення ймовірності падіння збільшується з $2.74989488e-005$ год⁻¹ до $4.58303528e-005$ год⁻¹ (ітерація 5, 10).

Висновки

1. Розрахунок імовірності перебування в катастрофічній ситуації розглядався на основі одного виробничого циклу – польоту ПС. Для аналізу більшої кількості польотів потрібно скорегувати вихідні дані відповідно до обсягу повітряних робіт і необхідною зміною розрахункових інтервалів часу.

Ю.В. Верюжский, В.Г. Ширшов

Определение расчетного и допустимого значения рисков ответственных объектов

Оценка напряженно-деформированного состояния строительных конструкций ответственных объектов является составной задачей оценки рисков при падении воздушного судна. Полученные в результате анализа значения могут быть приняты как параметры функции негативных последствий, если рассматривать значения величин внутренних усилий и их влияние на возможное наступление граничного состояния конструкций.

Y.V. Verugsky, V.G. Shirshov

Determination of counting and permissible risks value of main objects

One of the factors rejections the building constructions may to serve the dynamics loads by the crashing plane. This event is casely. For the ground possibility is apperance of the load counting significance probability. Celebrity of the probabily and crashing plane determine by modeling flight of concrete type plane and the air traffic on the region locations by analysis object. For analysis using methodic, in which is using numerical and analitical methods. The parameters of the state building constructions recived by the counting crashing plane.

2. Отримані параметри можуть бути розглянуті як значення ризиків падіння ПС.

Список літератури

1. Бирбраер А.Н., Шульман С.Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 304 с.
2. СНиП 2.03.01-84. Нормы проектирования. Бетонные и железобетонные конструкции / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерное приложение / Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2000. – 383 с.
4. Ширшов В.Г. Численный анализ конструкций при падении на объект летательного аппарата // Математическое моделирование в механике сплошных сред на основе методов граничных и конечных элементов: Тр. XVIII Междунар. конф. – СПб.: НИИХ СПбГУ, 2000. – Т. 3. – С. 264–268.
5. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. – К.: Наук. думка, 1982. – 235 с.

Стаття надійшла до редакції 28.03.03.