

УДК 629.735:620.193

ГОРОХОВ Г.Т., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛОГИКО-СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ ДІАГНОСТИКИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОНСТРУКЦІЇ ПЛАНЕРА ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Пропонується метод оцінки технічного стану конструкції планера літаків на основі інформаційних образів при обробці даних діагностики в умовах експлуатації

Ключові слова: прийняття рішень, розпізнавання образів, планер літака

В роботах [1,2] досконально розглянуто методи статистичної оцінки надійності авіаційної техніки та управління процесом її експлуатації.

Необхідність забезпечення більшої достовірності та стійкості результатів, особливо в разі невеликого обсягу даних діагностики, обумовлює доцільність розробки математичних моделей, в яких результати статистичних методів доповнюються оцінками експертів щодо технічного стану силових елементів (СЕ).

Отримання позитивних результатів при комплексному поєднанні статистичних та методів експертної оцінки базується на можливості експертів корегувати результати статистичних розрахунків відповідно дії факторів, наслідки впливу яких важко формалізувати.

Постановка завдання

Технічне діагностування передбачає контроль технічного стану, визначення причин відмов та проведення прогнозування. За результатами діагностики в момент часу T_0 відповідна посадова особа приймає рішення (ОПР) щодо подальшої експлуатації та визначення шляхів підтримання справності літального апарату (ЛА) до моменту закінчення періоду експлуатації T_K .

З метою отримання гарантованих результатів при обробці даних діагностики пропонується застосувати ігровий підхід, при якому розглядається гра поміж двох осіб: гравець №1 – ОПР, який приймає рішення щодо розпізнавання образу технічного стану СЕ, та гравець №2 – СЕ в вигляді вигаданої особи «природа», результат дії якої достовірно невідомий [2].

В якості узагальнюючого критерію оцінки технічного стану СЕ виберемо імовірність $Q(t)_R$ руйнування СЕ і появи відмови СЕ внаслідок перевищення експлуатаційними навантаженнями ЛА поточних умов міцності.

Критерієм оцінки результатів гри виберемо значення функціоналу (1), яке обчислюється згідно результатам діагностики в M дискретних точках періоду

часу $[T_0 \div T_k]$:

$$J(K_E, Q_{Rn}, v_n) = \sum_{n=1}^M K_E * [1 - |(Q_{Rn} - \lambda_n * v_n)|], \quad (1)$$

де K_E - коефіцієнт, який характеризує можливість забезпечувати збільшену складність польотних завдань при виконанні польотів ($e = 1L E$);

$Q_{Rn} = f(Q_{1n}, Q_{2n})$ - імовірність події руйнування СЕ на n -му етапі за результатами комплексної логіко-статистичної обробки даних;

Q_{1n} - імовірність відмови, значення якої формується на основі образного мислення гравця №1 на n -му етапі;

Q_{2n} - імовірність відмови, яка розрахована за даними діагностики на n -му етапі для гравця №2;

v_n - перелік дій гравця №1 для визначення на n -му етапі обсягів $O_{ПРОФ}$ профілактичних робіт, а також інтервалу часу $\Delta T_{ПРОФ}$ для виконання контролю на наступному ($n+1$) етапі. До профілактичних робіт також відносяться роботи з відновлення СЕ за допомогою ремонту;

λ_n - коефіцієнт, який погоджує розмірність значень Q_{Rn} та v_n .

В ході гри гравець №1 прагне за допомогою переліку дій v_n та значень коефіцієнту K_E отримати максимальне значення функціоналу (1), а гравець №2 – мінімальне значення протягом всього періоду часу $[T_0 \div T_k]$ експлуатації ЛА.

Таким чином, в формалізованому вигляді задача оцінки технічного стану конструкції планера ЛА як об'єкту діагностики ставиться як задача забезпечення за допомогою математичних моделей максимінного значення функціоналу $J(K_E, Q_{Rn}, v_n)$ на дискретній множині точок контролю ($n = 1, \dots, M$):

$$J(K_E, Q_{Rn}, v_n) \rightarrow \max \min \quad (2)$$

В якості обмежень при обчисленні функціоналу (2) задається не перевищення заданого значення імовірності відмови $Q(t)_{ЗД}$. Також можливо задати обмеження щодо значення $R_{ЗД}$ середніх працевтрат або вартості робіт при діагностиці:

$$\sum_{n=1}^M v_n C_R(\Delta T_{ПРОФ}) \leq R_{ЗД}; C_R(\Delta T_{ПРОФ}) = (C_{П}(\Delta T_{ПРОФ}) + C_{В}(\Delta T_{ПРОФ})), \quad (3)$$

де $C_{П}(\Delta T_{ПРОФ})$ - витрати на попередження пошкоджень, $C_{В}(\Delta T_{ПРОФ})$ - витрати, що обумовлені виникненням відмов.

Загальні положення побудови математичних моделей надійності та розпізнавання технічного стану силових елементів конструкції планера літаків

В роботі [3] проведено дослідження біонічних принципів побудови математичної моделі обробки даних, яка імітує за допомогою методів нечіткої логіки механізми прийняття рішень людиною на основі використання моделей образного мислення та дозволяє обґрунтовувати вибір одного з варіантів рішень відносно технічного стану СЕ.

Формалізація процесу прийняття рішень на кожному з n етапів діагностики передбачає необхідність розробки дерева рішень [4].

Процес гри у вигляді графа, як дерева рішень на кожному поточному n -му етапі діагностики, показано на рис. 1. Вершини графа позначають послідовні кроки сукупності операцій логічної та статистичної обробки даних образів діагностики.

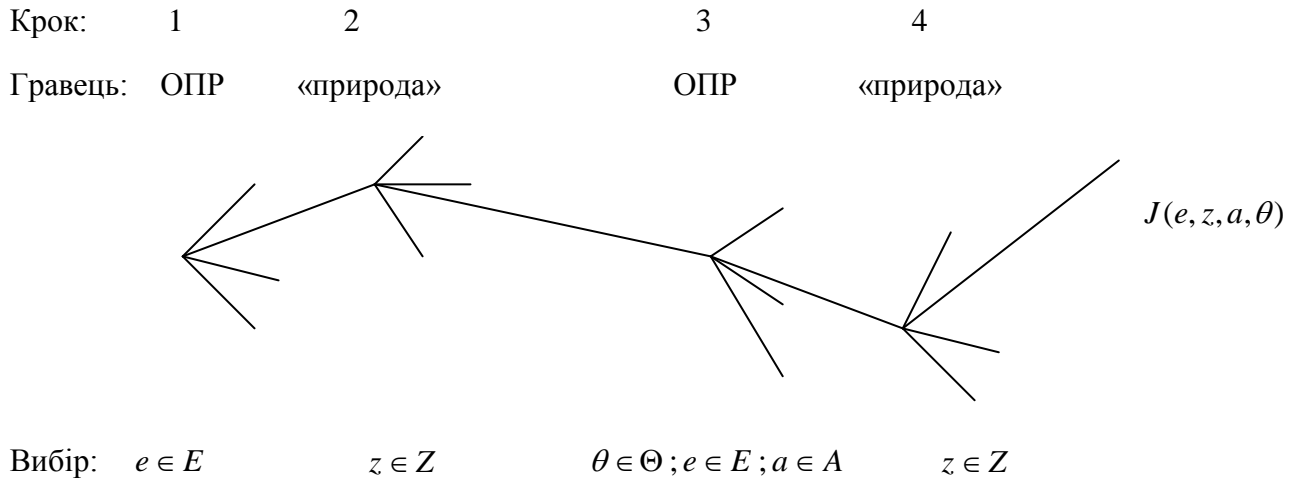


Рис.1. Схематичне зображення дерева рішень при грі

Проведення гри потребує наявності інформації щодо:

$E = \{e\}$ - множини польотних завдань та особливостей силових навантажень на конструкцію ЛА;

$Z = \{z\}$ - множини наслідків виконаних польотних завдань e (наприклад, визначається ступінь пошкодження та швидкість змін параметрів пошкоджених СЕ конструкції планера ЛА);

$\Theta = \{\theta\}$ - множини технічних станів (наприклад, справний СЕ для продовження експлуатації, або виконання різного обсягу відновлювальних робіт);

$A = \{a\}$ - множини одиничних дій a із області A дозволених дій (наприклад, вибирається періодичність виконання профілактичних робіт $\Delta T_{\text{проф}}$ як для наступного $(n + 1)$ етапу експлуатації, так і до завершення всього періоду $[T_0 \div T_K]$);

$J(e, z, a, \theta)$ - оцінок значень функціоналу (1) на декартовому добутку $E \times Z \times \Theta \times A$ після завершення гри.

Для обробки в вершинах дерева даних контролю СЕ формується матриця PE пошкоджених СЕ:

$$PE = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1N} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2N} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ e_{L1} & e_{L2} & \dots & e_{LN} \end{pmatrix}.$$

Кількість строк матриці PE дорівнює кількості типів L пошкоджених СЕ. Кількість стовпчиків відповідає кількості парку N літаків:

Значеннями елементів матриці PE можуть бути як числові дані засобів інструментального контролю (довжина тріщин, площа корозії на поверхні і таке інше), так і значення лінгвістичних змінних, що використовують експерти при дефектуванні ступенів пошкодження СЕ (справний стан, значне пошкодження, потребує ремонту і таке інше).

Кожну строку та стовпчик матриці PE можливо використовувати як кластери навчальної вибірки для формування, відповідно, множини $\Omega_E = \{\omega_{E1}, \omega_{E2}, \dots, \omega_{Eg}\}$ інформаційних образів технічного стану однотипних несправних СЕ та множини $\Omega_L = \{\omega_{L1}, \omega_{L2}, \dots, \omega_{LE}\}$ інформаційних образів технічного стану конструкції планера для кожного ЛА.

Перелік усіх даних матриці PE створює умови отримання множини $\Omega_{II} = \{\omega_{II1}, \omega_{II2}, \dots, \omega_{IIK}\}$ інформаційних образів технічного стану окремих груп парку ЛА на основі даних кластерів, до яких можливо віднести кожний із N літаків.

Розпізнавання образів технічного стану $\Omega_E, \Omega_L, \Omega_{II}$ здійснюється на основі методу потенціальних функцій в режимі «навчання з вчителем» [5,6].

В моделі оцінки надійності СЕ передбачено проведення розрахунків імовірності $Q_R(t)$ руйнування СЕ на основі спектрів експлуатаційних навантажень та спектрів змін міцності СЕ, а також змін функціональної залежності кривої втоми від часу експлуатації [7,8,9].

Для корегування значень імовірності $Q_R(t)$ на основі оцінок експертів здійснюється обробка лінгвістичних даних матриці PE . Застосування математичних методів багатовимірних шкал і методів нечіткої логіки дозволяє отримати скореговану імовірність Q_R руйнування СЕ з подальшим визначенням регресійної залежності [10].

Прогнозні оцінки швидкості змін \hat{V}_{KP} параметрів пошкоджень для n -го етапу оснований на аналізі попередніх етапів контролю СЕ по даним матриці PE .

Результати моделювання

Для перевірки переваг щодо стійкості та достовірності результатів при обробці даних експлуатації на основі методу логіко-статистичної оцінки образів здійснено імітаційне моделювання випадкових чисел [11].

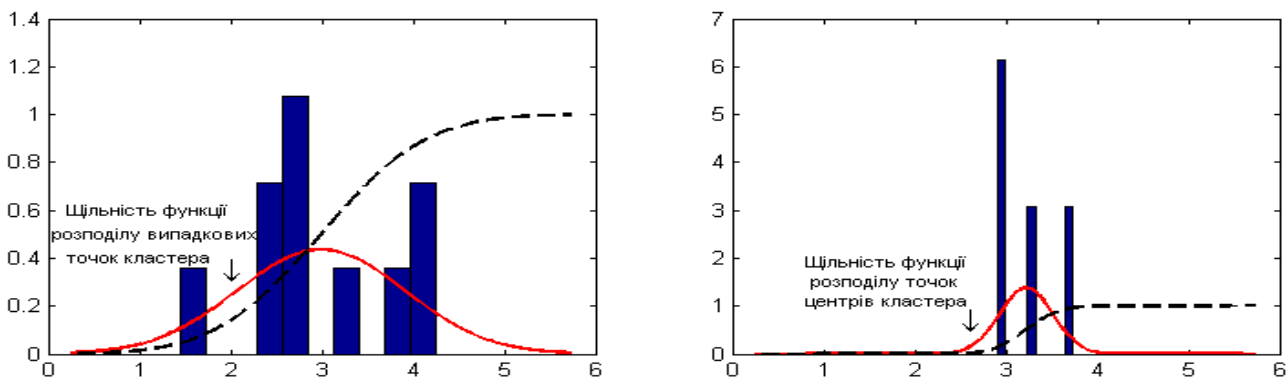


Рис.2. Результати моделювання стійкості рішень при обробці даних кластерів

Стійкість результатів обробки збільшується приблизно на 30 відсотків внаслідок меншої дисперсії точок центрів кластерів в порівнянні з дисперсією випадкових значень точок кластерів (рисунок 2).

Достовірність рішень при розпізнавання технічного стану ЛА збільшується приблизно на 17 відсотків внаслідок зменшення діапазону довірчого інтервалу для результатів обробки.

Завдання моделювання гри полягало в визначенні умов експлуатації двох ЛА протягом інтервалу часу, в ході якого передбачалось проведення діагностики в шести точках контролю ($M = 6$) при $\Delta T_{\text{ПРОФ}} = \text{const}$. Пошук оптимального рішення функціоналу (2) здійснювався на основі методу динамічного програмування [12].

Початкові дані для моделювання було встановлено в наступному вигляді:

на кожному ЛА досліджувались два СЕ: один із яких відносився до центроплану ЛА, а другий – до вузлів кріплення стояків шасі к фюзеляжу. СЕ спроектовано за принципом безпечного пошкодження;

На кожному з шести етапів гри перед гравцем №1 стояло завдання вибору з множини E одного з чотирьох варіантів польотного завдання, які різнилися ступенем експлуатаційного навантаження: $e_1 < e_2 < e_3 < e_4$.

Крім цього, гравець №1 вибирав один із можливих переліків дій з відновлення справності: $(\lambda_1 * \nu_1) < (\lambda_2 * \nu_2) < (\lambda_3 * \nu_3)$.

Гравець №2 задавав оцінку імовірності $Q_2(t)$ виникнення відмов СЕ на основі збільшення по лінійному закону значень швидкостей $\hat{V}_{\text{КР}}$ розвитку пошкоджень: для $e_1 - Q_2 = 0.2$, для $e_2 - Q_2 = 0.4$, для $e_3 - Q_2 = 0.6$, для $e_4 - Q_2 = 0.8$.

На рисунку 3 показано приклад прогнозованих змін імовірності $Q_R(t)$ пошкодження тріщинами СЕ конструкції планера ЛА в залежності від прогнозованого варіанту польотних завдань та дій з відновлення справності.

Також показано вплив початкового пошкодження СЕ, який накопичився і не був усунений на початку інтервалу експлуатації. При експлуатації з великими навантаженнями e_4 на конструкцію планера ЛА це призводить до передчасної появи відмови СЕ, коли ще не проводиться діагностика.

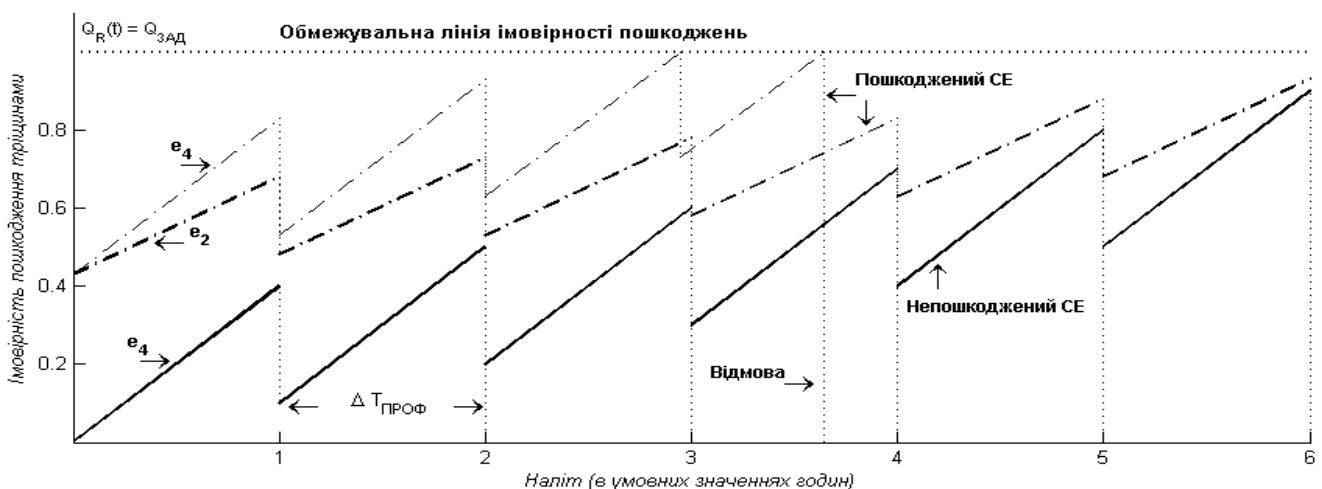


Рис.3. Функціональні залежності зміни імовірності пошкодження тріщинами СЕ конструкції планера

Висновки.

1. Запропоновані в роботі моделі оцінки образів технічного стану силових елементів конструкції планера ЛА на основі логіко-статистичної обробки даних діагностики, які отримано в умовах експлуатації, надають можливість більш обґрунтовано приймати рішення щодо поточного та прогнозованого технічного стану ЛА.

За результатами моделювання стійкість рішень управління технічним станом збільшується приблизно на 30 відсотків. Достовірність рішень підвищується на 17 відсотків внаслідок збільшення кількості точок даних, які характеризують технічний стан силових елементів.

2. Ігровий підхід до визначення строків і обсягів профілактичних робіт на основі формування інформаційних образів технічного стану СЕ дозволяє забезпечити гарантовані оцінки показників надійності експлуатації ЛА з врахуванням індивідуальних особливостей технічного стану ЛА.

ЛІТЕРАТУРА

1. Барзилович Е.Ю., Савенков М.В. Статистические методы оценки состояния авиационной техники.- М.: Транспорт, 1987. - 240 с.
2. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем. - М.: Машиностроение, 1995. – 240с.
3. Бологін А.С., Горохов Г.Т., Карускевич М.В. Математична модель прийняття рішення щодо продовження строків служби елементів конструкцій планерів літальних апаратів. // Збірник наукових праць ДНДІА, №8 (15), 2012. С 139-145.
4. Райфа Г., Шлейфер Р. Прикладная теория статистических решений. – М., Статистика, 1977. – 358с.
5. Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. - М.: Наука, 1970.
6. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности.-М.: Высшая школа,1977.-160 с.
7. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета. – М.: Машиностроение, 1987. - 236с.
8. Стрижиус В.Е. Методы расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций. – М.: Машиностроение, 2012. – 272 с.
9. Гадолина И.В. Методы расчета деталей машин на выносливость в вероятностном аспекте. – М.: Ин-т машиноведения им. А.А. Благодного АН СССР, 1991. – 85с.
10. Дейвисон М. Многомерное шкалирование: Методы наглядного представления данных. - М.: Финансы и статистика, 1988.-254с.
11. Мещеряков В.В. Задачи по статистике и регрессионному анализу с MATLAB – М.: Диалог-МИФИ, 2009 – 448 с.
12. Беллман Р. Математические методы в медицине. – М.: Мир, 1987. – 200с.