

УДК 629.735:620.193

ДОБРИДЕНКО О.М., начальник науково-дослідного управління, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник;

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

ФУРДИЛО С.А., директор ДП “ЗДАРЗ “МіГремонт”

ОСОБЛИВІСТЬ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАНЕРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ЗА ТЕХНІЧНИМ СТАНОМ НА МЕЖІ ГРАНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Досліджено особливості рішень для визначення оптимальної кількості контрольних-технічних оглядів конструкції планера літаків при експлуатації за технічним станом

Ключові слова: планер літака, літаки-лідери, розпізнавання образів

Необхідність експлуатації за технічним станом планера літальних апаратів (ЛА) на межі граничних показників потребує прийняття рішень при комплексному поєднанні вимог безпеки польотів та підтримання рівня високої готовності до застосування ЛА за призначенням. В роботі [1] розглянуто заходи, які доцільно виконувати для забезпечення граничних строків служби планера ЛА. При цьому проведення досліджень оснований на використанні статистичних даних значного обсягу щодо літаків-лідерів.

Особливість прийняття рішень полягає в необхідності прогнозувати надійність силових елементів (СЕ) конструкції планера ЛА і при недостатньому обсягу даних щодо властивостей старіючих матеріалів. Тому пропонується при підготовці цих рішень використовувати результати обробки даних експлуатації літаків-лідерів за допомогою математичної моделі, в якій передбачено обробку статистичних даних проводити на основі методів розпізнавання образів.

Критерій оцінки ефективності експлуатації планера літальних апаратів

Введемо критерій ефективності K_E , який в мультипликативному вигляді об'єднує показник надійності, що стосується безпеки польотів, та показник, що характеризує ступінь готовності до застосування ЛА:

$$K_E = K_M * K_R * K_B, \quad (1)$$

де $K_R = \frac{Q_R}{Q_{ЗД}}$ -множник, який вказує відносне поточне значення ймовірності Q_R руйнування СЕ планера ЛА стосовно заданого значення $Q_{ЗД}$;

$$K_B = \frac{\Delta K_{TB} * N_K}{K_{ЗД}} - \text{множник, що характеризує відносне зменшення коефіцієнта}$$

технічного використання ЛА при проведенні N_K додаткових контрольно-технічних оглядів (КТО), кожний з яких зменшує на ΔK_{TB} коефіцієнт технічного використання стосовно заданого значення $K_{ЗД}$; K_M - множник масштабу при обчисленні коефіцієнта K_E .

Результатом виконання робіт із КТО планера ЛА є прийняття рішення щодо можливості експлуатації ЛА на прогнозованому подальшому інтервалі змін установлених календарних та ресурсних показників. При цьому передбачається виконання робіт за діючою документацією та додаткових робіт в продовжений період експлуатації.

Строки виконання додаткових робіт необхідно визначати з умов забезпечення оптимального значення критерія K_E , яке передбачає пошук максимуму при прийнятті рішень:

$$K_E \rightarrow \max. \quad (2)$$

Реалізація співвідношення (2) потребує встановлення функціональних залежностей коефіцієнтів K_R , K_B від кількості КТО та строків їх виконання, що, в свою чергу, потребує встановлення функціональних залежностей прогнозування змін ймовірностей Q_R руйнування СЕ.

При експлуатації ЛА на межі граничних показників одним із джерел інформації, що надає підстави для прийняття рішень, є використання даних про експлуатацію літаків-лідерів серед загального парку ЛА.

Основні положення математичної моделі обробки даних експлуатації парку літальних апаратів для визначення літаків-лідерів

В математичній моделі для отримання прогнозних оцінок Q_R ймовірності руйнування СЕ при подальшій експлуатації передбачено використання методу кластерного аналізу значень параметрів напрацювання по ресурсу та строку служби ЛА.

Вибір указаних параметрів пояснюється досвідом авіаремонтних підприємств щодо виконання робіт із продовження встановлених показників, а також досвідом експлуатації літаків різного типу з продовженими строками служби у військових частинах.

Для проведення аналізу кількість кластерів попередньо визначено, на основі оцінок експертів, і вона складає дві одиниці:

K1 – літаки, витрати ресурсу та строку служби яких знаходиться в діапазоні значень менших в порівнянні з літаком, що досліджується;

K2 – літаки, які мають випереджувальні значення ресурсу та строків служби відносно літака, що досліджується.

Для вирішення задач розпізнавання і визначення границь поміж кластерів K1 та K2, які створюють основу інформаційних образів технічного стану СЕ конструкції, застосовано потенціальну функцію у вигляді [2]:

$$\varphi(x_i, x_j) = K_{MAX} / (1 + \alpha R^\gamma(x_i, x_j)), \quad (3)$$

де x_i, x_j - значення ознак i -го та j -го образів в багатовимірному просторі ознак, $\varphi(x_i, x_j)$ - величина „потенціалу” i -го об’єкту, що досліджується і який наводиться j -м „зарядом”; K_{MAX} - величина j -го „заряду”; α, γ - коефіцієнт і показник ступенів, які визначаються експериментально з метою оптимізації розпізнавальної функції; $R(x_i, x_j)$ - відстань між i -ю точкою і j -м зарядом.

Гранична лінія розподілу між точками деякого кластеру K_i і точками інших кластерів K_j знаходиться як рішення рівняння

$$\Phi_{K_i}(x) - \Phi_{K_j}(x) = 0, \quad (4)$$

де $\Phi_{K_i}(x) = \sum_{l=1}^l \varphi(x_i, x_j)$ - сумарний потенціал точок кластеру K_i ; $\Phi_{K_j}(x)$ - сумарний потенціал точок всіх інших кластерів K_j .

На рисунку 1а показано результати кластерного аналізу умовного парку ЛА.

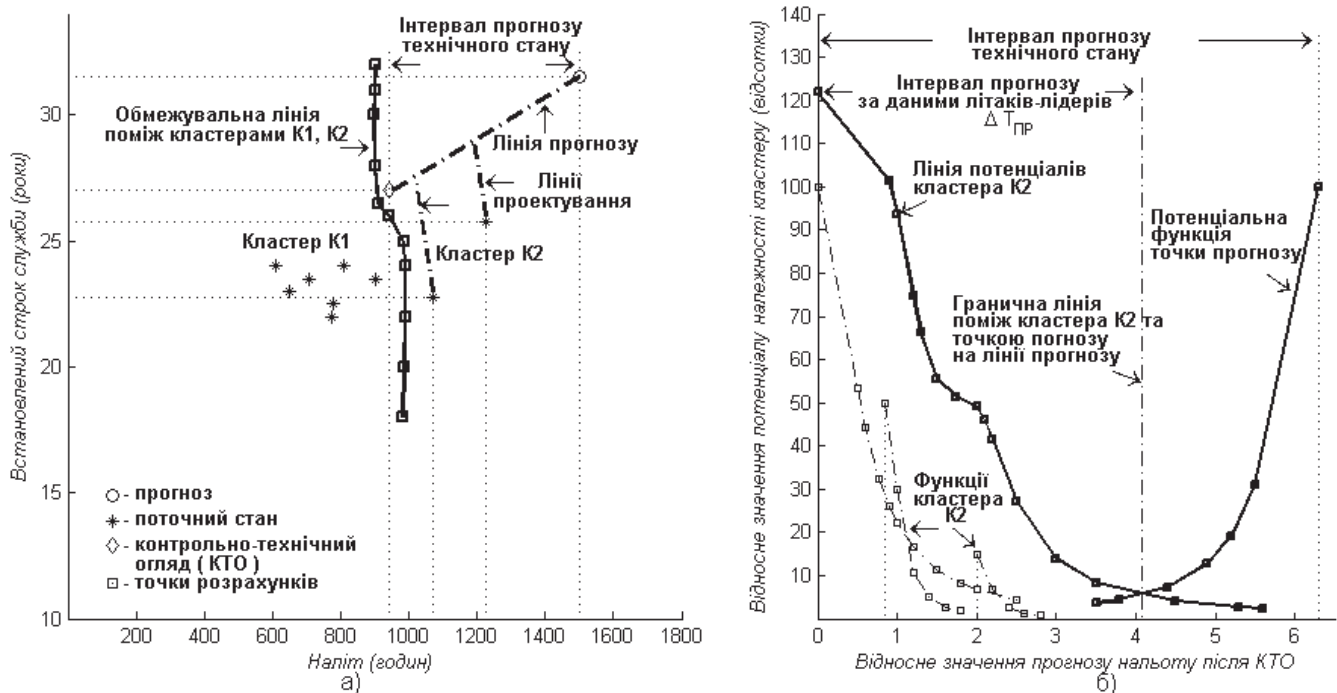


Рис. 1. а) аналіз положення літака, що досліджується, відносно парку літаків; б) результати кластерного аналізу значень точок проєкцій на лінії проєкції

Результати кластерного аналізу дозволили встановити, що для літака, який досліджується, серед парку літаків такогож типу є дві одиниці літаків-лідерів безпосередньо по параметру встановленого ресурсу.

З метою підтвердження можливості продовження експлуатації ЛА до закінчення інтервалу прогнозу проаналізовано зміни ймовірностей $Q(t)_R$ руйнування СЕ протягом наробітку з початку експлуатації до завершення прогновної оцінки.

Для аналізу змін ймовірностей $Q(t)_R$ руйнування СЕ проведено перетворення від двохвимірному простору параметрів встановленого строку служби та ресурсу до

одновимірної шкали лінії прогнозу шляхом проектування на лінію прогнозу поточних значень для кожного з літаків кластерів К1, К2 ЛА (рисунок 1а).

На рисунку 1б показано результати рішення рівняння (4) для визначення інтервалу прогнозу змін ймовірностей відмов СЕ планера на основі даних експлуатації літаків – лідерів.

Значення одновимірної шкали на лінії прогнозу характеризують ймовірність не перевищення прогнозного значення $Q_{зАд}$ руйнування СЕ планера літака, яке передбачається встановленням кінцевих значень міжремонтного строку служби та ресурсу.

Значення $Q_{зАд}$ ймовірності руйнування СЕ залежить від потужності енергії руйнування, яка виникає внаслідок дії факторів, що обумовлені строком служби та втомною міцністю матеріалів, із яких виготовлено СЕ. Показниками енергії руйнування є ступень пошкодження корозією та тріщинами поверхні СЕ [3].

Положення граничної лінії (рисунок 1б) характеризує достовірність прогнозу за даними експлуатації літаків-лідерів в межах встановлення строку наступного КТО.

Для уточнення прогнозних оцінок необхідно провести аналіз статистичних залежностей поміж значеннями ймовірності відмов $Q_R(t)$ та значенням нальоту t в кластерах К1, К2.

Для визначення статистичної залежності поміж значеннями параметрів ймовірності руйнування $Q(t)_R$ та значеннями нальоту t використано метод регресійного аналізу. Розрахунки коефіцієнтів лінійної регресії виконувались при дотриманні вимог стійкості до результатів розрахунків [4].

Функціональна статистична лінійна регресійна залежність для парку літаків має вигляд:

$$Q_R(t) = 0.0008 * t + 0.1876. \quad (5)$$

На рисунку 2а показано обмежувальну лінію, яка встановлюється за результатами обробки даних діагностики і яку при прогнозі перетинати не доцільно з умови забезпечення безпеки польотів.

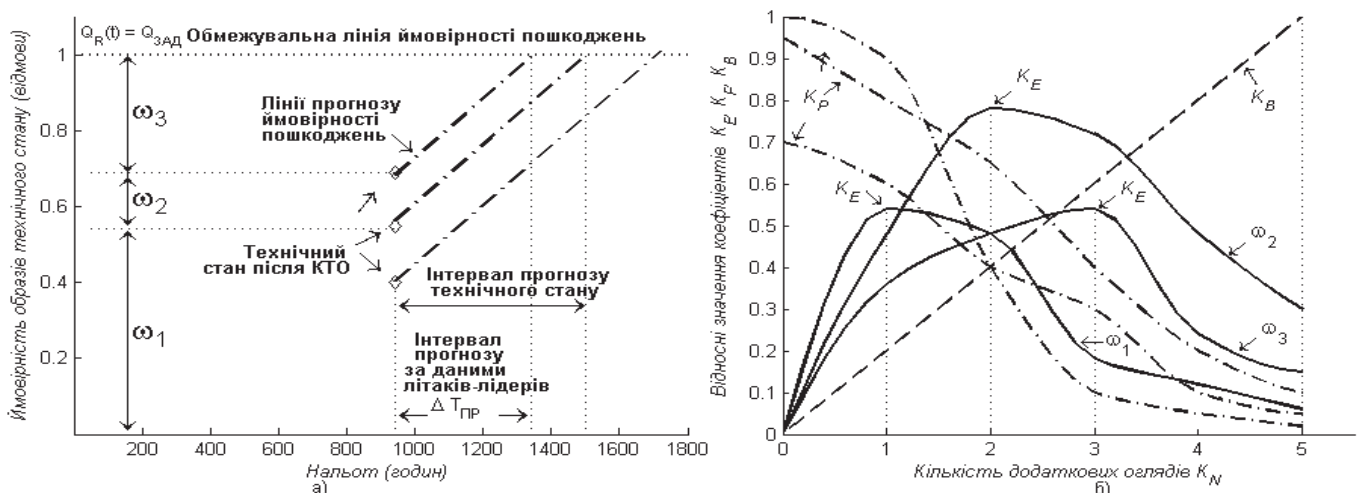


Рис.2. а) результати прогнозу технічного стану планера ЛА при дотриманні умов безпеки польотів; б) результати моделювання визначення кількості КТО

Використання для прогнозування рівняння (5) та припущення щодо умов експлуатації літака після КТО, при яких збільшення швидкості змін інтенсивності пошкоджень тріщинами буде здійснюватися з однаковою швидкістю, як і при попередній експлуатації до КТО, дозволило встановити, що в залежності від поточного технічного стану планера ЛА можливо знаходження значення ймовірності відмов $Q_R(t)$ в одному з трьох образів технічного стану (рисунок 2а):

$\omega_1 - Q_R(t)$ не перевищить рівень $Q_{зад}$;

$\omega_2 - Q_R(t)$ не перевищить рівень $Q_{зад}$, але знаходиться в області статистичного уточнення прийняття рішень;

$\omega_3 - Q_R(t)$ перевищить рівень $Q_{зад}$.

Результати моделювання на основі критерія (1) та логіко-статистичного методу обробки даних діагностики [5] вказують, що при виконанні визначеного обсягу відновних робіт для продовження експлуатації за технічним станом ЛА, необхідна кількість КТО змінюється в залежності від поточного технічного стану планера ЛА.

Типовий вигляд впливу поточного технічного стану СЕ на зміни функціональних залежностей $Q_R(t)$ ймовірностей руйнування і, відповідно, доцільної кількості КТО, показано на рисунку 2б.

Висновок. Запропонований критерій ефективності експлуатації за технічним станом планера ЛА після відповідної практичної відладки та випробування дозволить визначати необхідну кількість контрольних оглядів, яку доцільно буде провести при експлуатації на межі граничних показників для збільшення довговічності конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Соломонов П.А. Надежность планера самолета. М.: Машиностроение, 1974.–320с.
2. Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. - М.: Наука, 1970.
3. Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.
4. Радченко С.Г. Методология регрессионного анализа.- К.: Корнійчук, 2011.-376с.
5. Горохов Г.Т. Математична модель логіко-статистичної обробки даних діагностики при експлуатації конструкції планера літальних апаратів. // Збірник наукових праць ДНДІА, №10 (17), 2014.

Надійшла до редакції 23.10.2015