

УДК 629.735:620.193

Бологін А. С., Горохов Г. Т.

Державний науково-дослідний інститут авіації. Україна, м. Київ

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІН ВСТАНОВЛЕНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЛАНЕРІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Пропонується методичний підхід до прогнозування змін технічного стану планерів повітряних суден та визначення кількості контрольно-технічних оглядів для продовження експлуатації за межами значень показників, які встановлено виробником. На основі критерію ефективності експлуатації планера проведено статистичне моделювання при використанні оцінок експертів для визначення повітряних суден в якості лідерів. Наведено приклад обробки інформаційних образів прогнозованого технічного стану повітряних суден.

Ключові слова: планер повітряного судна; прогнозування; розпізнавання образів.

Вступ

Прийняття рішень продовження експлуатації планера повітряних суден (ПС) на межі граничних

показників потребує комплексного поєднання вимог надійності, безпеки польотів та підтримання рівня високої готовності до застосування ПС за призначенням. В роботі [1] розглянуто заходи, які

доцільно виконувати для забезпечення можливості продовження встановлених показників ПС на межі граничних строків служби планера ПС. Однак їх використання потребує проведення попередньої обробки значного обсягу статистичних даних, що на практиці не завжди можливо.

Особливість прогнозування змін встановлених показників планерів ПС полягає в необхідності виконувати прогнозування довговічності силових елементів (СЕ) конструкції планера ПС також і при недостатньому обсягу даних щодо властивостей старіючих матеріалів. Для зменшення впливу вказаної особливості пропонується використовувати рішення експертів на етапі класифікації інформаційних образів технічного стану ПС при логіко-статистичній обробці даних експлуатації ПС-лідерів.

Постановка завдання

Прийняття рішень прогнозування довговічності СЕ конструкції планера ПС відбувається в системі управління процесом експлуатації ПС, яка відноситься до адаптивних ергатичних складних систем управління [2]. Загальна структура такої системи та інформаційні зв'язки поміж окремими блоками в структурі показано на рисунку 1.

Математична модель обробки інформаційних потоків в системі управління процесом експлуатації ПС для прийняття обґрунтованих рішень передбачає використання критерію ефективності [3].

Критерій ефективності K_E в мультипликативному вигляді об'єднує показник надійності K_R , який стосується безпеки польотів, та показник K_B , який характеризує ступінь готовності ПС до застосування:

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

де $K_R = \frac{Q_R}{Q_{ЗД}}$ — множник, який вказує відносно

поточне значення ймовірності Q_R руйнування СЕ планера ПС стосовно заданого значення $Q_{ЗД}$;

$K_B = \frac{\Delta K_{ТВ} \cdot N_K}{K_{ЗД}}$ — множник, що характеризує від-

носне зменшення коефіцієнта технічного використання ПС при проведенні N_K додаткових контрольно-технічних оглядів (КТО), кожний з яких зменшує на $\Delta K_{ТВ}$ коефіцієнт технічного використання стосовно заданого значення $K_{ЗД}$; K_M — множник масштабу при обчисленні коефіцієнта K_E .

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

Строки та обсяг 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 прогнозованих змін ймовірностей Q_R руйнування СЕ, а також кількості КТО та строків їх виконання.

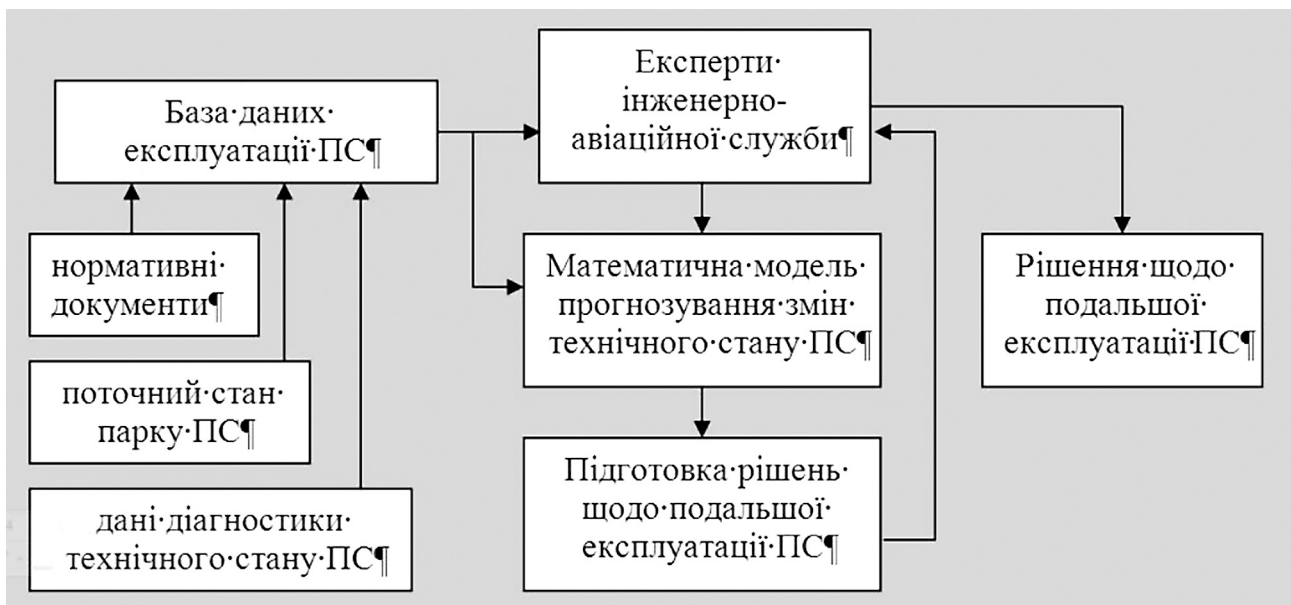


Рис.1. Інформаційні зв'язки в процесах обробки даних експлуатації при прогнозуванні змін технічного стану повітряних суден

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

Основні положення математичної моделі обробки даних експлуатації парку повітряних суден для визначення лідерів

В математичній моделі для отримання прогнозних оцінок Q_R ймовірності руйнування СЕ при подальшій експлуатації передбачено використання методу кластерного аналізу в трьохвимірному просторі параметрів.

Два параметри, відповідно, складають значення T_K поточного календарного строку служби, а також значення T_p нальоту з початку експлуатації ПС. Третій параметр – ймовірність Q_R руйнування СЕ.

Вибір указаних параметрів пояснюється досвідом авіаремонтних підприємств щодо виконання робіт із продовження встановлених показників після виконання ремонту, а також досвідом експлуатації ПС різного типу з продовженими строками служби.

Для визначення третього параметра необхідно провести перетворення від двохвимірному простору параметрів T_K, T_p до одновимірної шкали лінії прогнозу шляхом проектування на лінію прогнозу поточних значень T_K, T_p для кожного ПС із всього парку. Математична модель вказаного перетворення є нелінійною і результати її застосування повинні передавати особливості впливу факторів експлуатації на технічний стан внутрішніх та зовнішніх поверхнь планера ПС, механізмів кінематики та інших агрегатів.

Значення одновимірної шкали на лінії прогнозу характеризують ймовірність не перевищення прогнозного значення $Q_{Зад}$ руйнування СЕ планера ПС, яке передбачається встановленням кінцевих значень прогнозованого 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 [4].

Визначення координат точок проєкції на лінії прогнозу в першому наближенні здійснюється шляхом обчислення точки перетину рівняння лінії прогнозу із відрізком, який виходить із точки поточного технічного стану ПС.

Вирішальне правило розпізнавання інформаційних образів технічного стану ПС в трьохвимірному просторі параметрів T_K, T_p, Q_R встановлюється для режиму «навчання з вчителем» на основі методу потенціальних функцій [5]. Тому попередньо

розподіл ПС по кластерам даних, які створюють основу інформаційних образів щодо поточного технічного стану ПС, визначають експерти інженерно-авіаційної служби.

Для проведення аналізу кількість кластерів визначається на основі оцінок експертів і їх множини складають елементи $K_i = (0, 1, \dots, T-1, T)$:

кластер K_0 – ПС, витрати ресурсу та строку служби яких знаходиться в діапазоні значень менших в порівнянні з ПС, що досліджується. ПС кластеру K_0 не відносяться до ПС-лідерів;

кластери K_1, K_2, \dots, K_{T-1} – ПС-лідери, які мають випереджувальні значення ресурсу та строків служби відносно ПС, що досліджується;

кластер K_T – ПС відсутні на лінії прогнозу по закінченні обмежувальних границь кластерів K_1, K_2, \dots, K_{T-1} .

Для вирішення задач розпізнавання і визначення границь поміж кластерів K_p , які створюють основу інформаційних образів технічного стану СЕ конструкції планера ПС, застосовано потенціальну функцію теорії розпізнавання образів у вигляді:

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

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»; h_{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 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_p ; $\Phi_{K_j}(x)$ – сумарний потенціал точок всіх інших кластерів.

Розподіл ПС-лідерів поміж кластерами K_i дозволяє визначити прогнозні оцінки $Q_R(t)$ в кожному кластері K_i . Для цього необхідно провести аналіз статистичних залежностей поміж значеннями ймовірності відмов $Q_R(t)$ та значеннями ресурсних показників T_K, T_p в кластерах. Тоді загальна лінія змін прогнозних оцінок ймовірності руйнування $Q(t)_R$ складається як кусково-неперевна лінія.

Для визначення в кластерах $K_i (i = 1, 2, \dots, T-1)$ статистичної залежності поміж значеннями параметрів ймовірності руйнування $Q(t)_R$ та значеннями ресурсних показників T_K, T_p необхідно викори-

стовувати метод регресійного аналізу даних діагностики СЕ планера ПС.

Функціональна залежність ймовірності руйнування $Q(t)_R$ в кластері K_T визначається на основі припущення щодо рівномірного закону розподілу.

Результати моделювання

Для перевірки можливості використання математичної моделі здійснено обробку даних умовного пару ПС в кількості п'ять одиниць. Експерти визначили три одиниці ПС, які належать кластеру K_0 і дві одиниці кластеру K_1 .

Отримані результати показано на рисунку 2.

Результати кластерного аналізу умовного парку ПС дозволили встановити границі поміж кластерами K_0 , K_1 , K_T для ПС, який пройшов ремонт і для якого прогнозують можливість подальшої експлуатації по параметрам встановленого строку служби та міжремонтного ресурсу.

Наявність кластеру K_T вказує на необхідність впродовж тривалості експлуатації в кластері K_T приділяти більше уваги контролю технічного стану ПС при проведенні КТО. Початок кластера K_T на лінії прогнозу визначається за результатами моделювання закінчення впливу потенціальних функцій кластера K_1 .

Виконання обчислень проводилось при значенні показника ступеню $\gamma = 2$ для потенціальної функції (3). Встановлення значень коефіцієнтів α , h_{MAX} визначалось на інтервалі прогнозу на основі припу-

щення щодо пуассонівського розподілу ймовірності відмов ПС-лідерів [6]:

$$Q_R(t) = 1 - P(t) = \frac{(\lambda \cdot t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

де $Q_R(t)$ – ймовірність відмов і пошкоджень, $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи протягом наробітку t ; $\lambda(t)$ – інтенсивність потоку відмов та пошкоджень; n – кількість ПС.

Вибір для математичної моделі гіпотези щодо пуассонівського розподілу відмов та пошкоджень пояснюється невеликими значеннями ймовірностей появи концентраторів напруги в СЕ планера ПС при їх експлуатації.

На рисунку 3, а показано прогнозоване зменшення кількості ПС-лідерів при продовженні призначеного строку служби. На рисунку 3б показан результат моделювання пуассонівського розподілу при експлуатації після ремонту протягом 60 місяців. Максимальне значення ймовірності руйнування відповідає кількості несправних ПС-лідерів (дві одиниці).

Аналогічні результати моделювання отримано при прогнозі витрат нальоту ПС.

Визначення значень параметрів пуассонівського розподілу (5) виконувалось на інтервалі адаптації моделі до значень параметрів умовного парку ПС. Зроблено припущення щодо відповідності зменшення на лінії прогнозу кількості ПС-лідерів зменшенню кількості даних експерименту з перевірки наявності відмов планерів ПС.

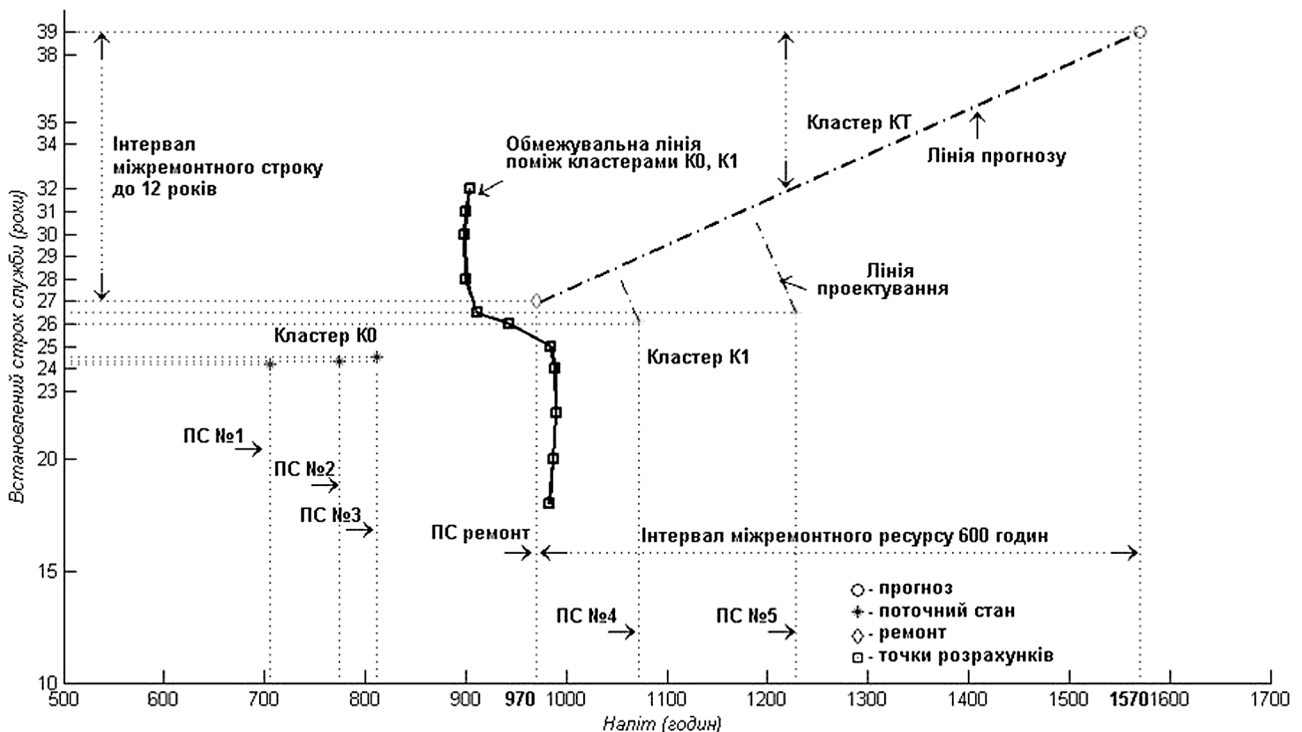


Рис. 2. Аналіз положення ПС після ремонту при прогнозі відносно парку однотипних ПС

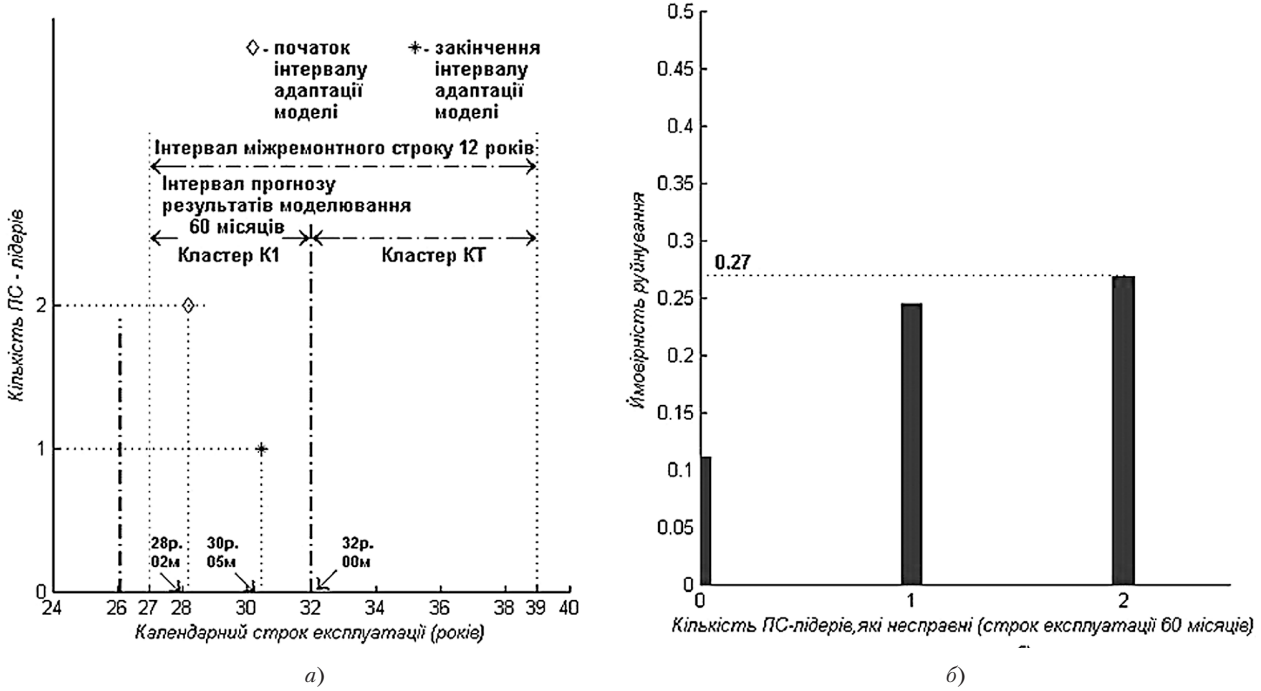


Рис. 3. Результати:

а) аналізу зменшення кількості ПС — лідерів при прогнозі календарного строку; б) пуассоновського розподілу ймовірностей при моделюванні строку служби 60 місяців

Використання для прогнозування рівнянь, які отримано в результаті регресійного аналізу, та припущення щодо умов експлуатації ПС 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 ПС можливо знаходження значення ймовірності відмов $Q_R(t)$ в

одному з трьох інформаційних образів технічного стану (рисунок 4, а):

- $\omega_1 - Q_R(t)$ 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 $Q_{ЗАД}$.

На рисунку 4, а показано обмежувальну лінію, яка встановлюється за результатами обробки даних

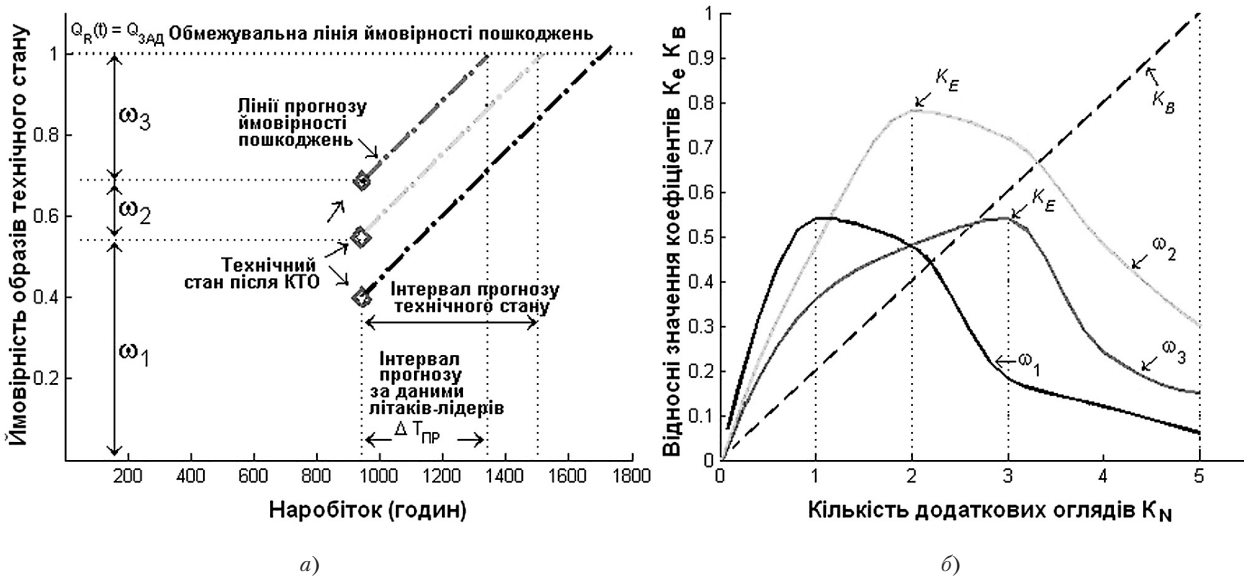


Рис. 4. Результати:

а) прогнозу технічного стану планера ПС при дотриманні умов безпеки польотів; б) моделювання визначення кількості КТО

діагностики і яку при прогнозі перетинати недоцільно з умови забезпечення безпеки польотів.

Для моделювання процесу визначення прогнозних оцінок на основі критерія (1) виконано перетворення коефіцієнта K_R до відносного коефіцієнта

$K_p = \frac{K_{R\omega_1}}{K_{R\omega_2}}$, який характеризує зменшення ймовір-

ності неперетину лінії Q_{3AD} відповідно образам технічного стану $\omega_1, \omega_2, \omega_3$.

Типовий вигляд впливу поточного технічного стану СЕ на зміни функціональних залежностей $Q_R(t)$ ймовірностей руйнування і, відповідно, доцільної кількості КТО, показано на рисунку 4, б. Результати моделювання вказують, що для продовження експлуатації ПС необхідна кількість КТО змінюється в залежності від поточного технічного стану планера ПС. Максимальне значення критерію K_E переміщується в залежності від технічного стану ПС.

Висновок

Запропонована математична модель обробки даних експлуатації ПС-лідерів і використання оцінок експертів інженерно-авіаційної служби та фахівців авіапідприємств щодо технічного стану

ПС-лідерів дозволяє спрогнозувати необхідну кількість контрольно-технічних оглядів, які доцільно провести при експлуатації на межі граничних показників для збільшення довговічності конструкції планера ПС.

Література

- [1] Соломонов П.А. Надежность планера самолета. М.: Машиностроение, 1974.— 320с.
- [2] Большие технические системы: проектирование и управление/Л.М.Артюшин, Ю.К. Зиятдинов, И.А. Попов, А.В. Харченко. Под ред. И.А. Попова. — Харьков: Факт, 1997. —400 с.
- [3] Добриденко О.М., Горохов Г.Т., Фурдило С.А. Особливості прийняття рішень при експлуатації планерів літальних апаратів за технічним станом на межі граничних показників / Зб. наук. праць ДНДІА. — К., 2015. — Вип.11(18). — С.162-166.
- [4] Брондз Л.Д. Технология и обеспечение ресурса самолетов. — М.: Машиностроение, 1986. — 184 с.
- [5] Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. — М.: Наука, 1970. — 384 с.
- [6] Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и отработке. — М.: Высшая школа, 1989.

Bologin A. S., Gorokhov G. T.

The State Scientific Research Institute of Aircraft. Ukraine, Kyiv

FORECASTING OF CHANGES THE INSTALLED PERFORMANCE OF AIRFRAME

A methodical approach to forecasting of changes technical condition of the airframe and determining the amount of control and technical inspections for continued operation outside the parameters established by the manufacturer. On the basis of the criterion efficiency operation of the glider results of statistical modeling using experts to identify aircraft as leaders. An example processing information of images projected technical condition of aircraft.

Keywords: the airframe of the aircraft; prediction; pattern recognition.

References

- [1] Solomon P. A. Reliability of the airframe. — М.: Mashinostroenie, 1974. — 320 p.
- [2] The large technical systems: design and management / L.M.Artjushin, U.K. Ziatdinov, I.A. Popov, A.W. Kharchenko. — Kharkov: Fakt, 1997. — 400 p.
- [3] Dobrydenko O.M., Gorokhov G.T., Furdylo S.A. The specific decision-making in the operation of gliders aircraft technical condition on the verge of thresholds // Collection scientific works of State Research Institute of aviation. — К., 2015. — P.162-166.
- [4] Bronds L. D. Technology and software resource of the aircraft. — М.: Mashinostroenie, 1986. — 184 p.
- [5] Ajzerman M. A., Braverman, E. M., Rozonoer L. I. Method of potential functions in the theory of machine learning. — М.: Nauka, 1970. — 384 p.
- [6] Severtcev N.A. The reliability of complex systems in operation and development. — М.: Higher school, 1989.