

УДК 629.735:620.193

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

БОЛОГІН А.С., начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПЛАНЕРІВ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Пропонується математична модель підготовки рішень управління технічним станом конструкції планера повітряних суден при використанні даних експлуатації та ремонту

Ключові слова: планер літака, прийняття рішень, імітаційне моделювання

При експлуатації парку старіючих повітряних суден (ПС) виникає науково-технічна проблема підтримання справності та забезпечення довговічності силових елементів (СЕ) планерів ПС, вирішення якої полягає в пошуку оптимального переліку заходів щодо відновлення технічного стану СЕ на основі використання результатів оцінки ступеню пошкодження конструкції ПС.

Математичні моделі оцінки ступеню пошкоженості та прогнозування змін технічного стану повинні використовувати особливості даних, які не могли бути передбачені розробником ПС і виникають під час експлуатації та ремонту ПС.

Наявність різноманітних умов експлуатації ПС та обмеженого обсягу даних приводить до необхідності використання методів їх інтелектуального аналізу в процесі обробки, що дозволяє більш обґрунтовано визначати поточний стан та тенденції прогнозованих змін надійності СЕ. Подібний підхід до вирішення проблем побудови складних виробничих систем досліджено в [1].

Загальні положення оцінки технічного стану планера повітряних суден

В якості показника технічного стану СЕ планера ПС обираємо ранг пошкодження R_{CE} , який безпосередньо характеризує ймовірність $\beta(t)$ часткового або повного руйнування [2]. Ранг пошкодження R_{CE} вказує на втрату несучої здатності СЕ за час t_K експлуатації або наробітку t_p ПС.

Розрахунки рангу пошкодження R_{CE} необхідно виконувати на основі вектора \vec{SE} , координати якого створено за допомогою вектора параметрів діагностики $\vec{P}_D = \{pd_k\}$, $k = \overline{1, s}$ і зважено оцінками експертів E_k в багатовимірному просторі

розміром s , де s - кількість параметрів діагностики [3]:

$$\vec{SE} = (E_1pd_1, E_2pd_2, \dots, E_spd_s), \quad (1)$$

Процес прогнозування та управління технічним станом СЕ доцільно представити в вигляді стохастичного процесу, що управляється в дискретному режимі [4]. При цьому зміни технічного стану планера ПС описуються випадковою послідовністю $R_{CE}(t_i)$, де $t_i, i = \overline{1, n}$ - дискретні моменти прийняття рішень управління.

Позначимо $U = \{u_j\}, j = \overline{1, r}$ - простір управлінь, $u_j(t_n) \in U$ - управління, яке реалізується в момент t_n .

Динаміка стохастичного процесу описується на основі отримання множини параметрів вектора \vec{SE} і правилом вибору управління φ_l із деякої сукупності правил $\Phi = \{\varphi_l\}, l = \overline{1, m}$.

При цьому рівняння змін технічного стану має вигляд

$$SE(t_{n+1}) = f(SE(t_n), u_j(t_n)), \quad (2)$$

На рис.1 показано структурні модулі імітаційної моделі управління.

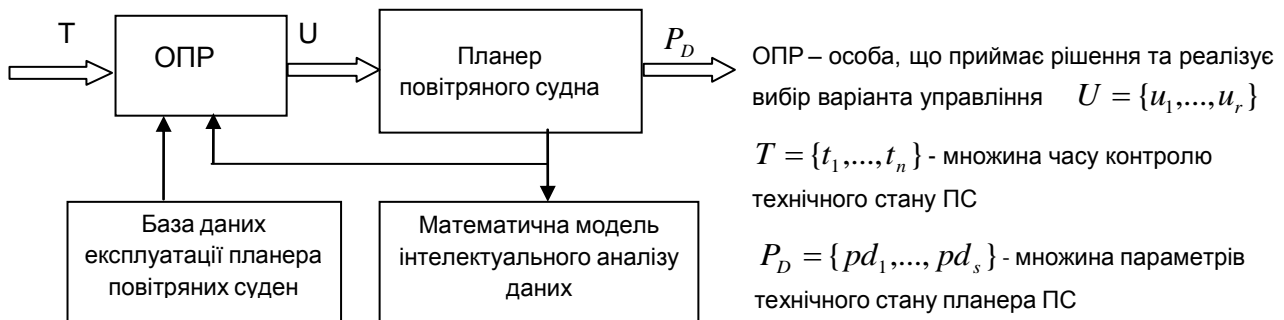


Рис.1. Структура моделі управління динамічною системою процесу експлуатації планера ПС

Послідовність правил $W = (\varphi_l), l = \overline{1, m}$ визначає стратегію управління на протязі послідовності $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ дискретних моментів прийняття рішень. Для пошуку оптимальної стратегії управління W_{opt} необхідно визначити математичну модель об'єкта експлуатації, характеристики зовнішнього середовища (умов експлуатації), задати критерії оптимізації процесу управління.

Оптимальна стратегія управління W_{opt} визначається в результаті розробки математичної ігрової моделі та проведення ймовірнісної гри з СЕ, технічний стан якого встановлюється на основі оцінки поточного та прогнозованого значення рангу пошкодження при обмеженому обсягу даних експлуатації і ремонту [4].

Матриця гри створюється шляхом обчислення критерію K_E ефективності експлуатації планера ПС. Критерій K_E повинен складатися з двох частин: перша складова це оцінки рангів пошкодження або ймовірності руйнування СЕ, друга – один із комплексних показників надійності.

В якості критерія K_E при прогнозуванні доцільно вибрати, згідно роботи [4], співвідношення:

$$K_E = K_M * K_R * K_B, \quad (3)$$

де $K_R = \frac{\beta_R}{\beta_{3AD}}$ -множник, який вказує відносне поточне значення ймовірності β_R руйнування СЕ планера ПС стосовно заданого значення β_{3AD} ; $K_B = \frac{\Delta K_{TB} * N_K}{K_{3AD}}$ - множник, що характеризує відносне зменшення коефіцієнта технічного використання ПС при проведенні N_K додаткових контрольно-технічних оглядів, кожний з яких зменшує на ΔK_{TB} коефіцієнт технічного використання стосовно заданого значення K_{3AD} ; K_M - множник масштабу при обчисленні коефіцієнта K_E .

Моделювання змін рангів технічного стану СЕ, згідно залежності (1), дозволяє визначити перелік стратегій змін рангів пошкодження та провести розпізнавання - до якого образу технічного стану необхідно віднести СЕ. Мінімальну кількість образів встановлюють в свою чергу наступні образи:

ω_1 - коли не слід очікувати відмови СЕ протягом інтервалу прогнозу;

ω_2 - кінцева точка інтервалу прогнозу ранга практично співпадає з обмеженнями, які визначено для рангів пошкодження з умов безпеки польотів;

ω_3 - ранг пошкодження перевищує дозволене значення на інтервалі прогнозу.

В таблиці 1 наведено приклад матриці ймовірнісної гри для виконання розрахунків щодо визначення стратегії управління W_{opt} .

Таблиця 1
Коефіцієнти ефективності експлуатації K_E в залежності від стратегій гри

Стратегії		Рішення управління				
		W_1	W_2	W_3	...	W_q
Силовий елемент	ω_1	K_{E11}	K_{E12}	K_{E13}	...	K_{E1q}
	ω_2	K_{E21}	K_{E22}	K_{E23}	...	K_{E2q}
	ω_3	K_{E31}	K_{E32}	K_{E33}	...	K_{E3q}

Стратегія W_{opt} є оптимальною, якщо вона забезпечує для процесу управління на інтервалі прогнозу максимум ρ середнього значення коефіцієнта K_E :

$$\rho = \sup M[R_n(W)], \quad (4)$$

де R_n є функціонал, який характеризує значення поточного середнього значення коефіцієнта K_E , що залежить від обраної стратегії управління $W = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots\}$, M - математичне очікування.

Особливості прогнозування змін технічного стану планера повітряних суден

Визначення оптимальної стратегії управління W_{opt} потребує встановлення ймовірнісного розподілу траєкторій змін рангів R_{CE} поміж образами $\omega_1, \omega_2, \omega_3$. Для цього передбачено проведення імітаційного моделювання згідно залежностей (1), (2). Початкові дані імітаційного моделювання отримуються на основі статистичного аналізу бази даних експлуатації та ремонту.

Особливість бази даних експлуатації та ремонту ПС полягає в наявності обмеженого обсягу даних. При імітаційному моделюванні з метою доповнення існуючого обсягу даних пропонується використання методів відновлення пропущених значень в таблицях даних [1].

Заповнення неповних даних здійснюється на основі поєднання детермінованого та ймовірнісного підходів при побудові математичних моделей.

Детермінований підхід реалізується шляхом визначення рангів R_{CE} пошкодження СЕ згідно співвідношення (1).

Ймовірнісний підхід в математичній моделі прогнозних оцінок змін рангів R_{CE} пошкодження СЕ передбачає використання методів кластерного аналізу параметрів напрацювання по ресурсу та строку служби, а також регресійного аналізу змін цих параметрів для парку ПС згідно залежності (2).

Прогноз рангу R_{CE} пошкодження СЕ, як випадкової величини $r(t)$, складається з двох частин $r(t) = r_1(t) + r_2(t)$, кожна з яких є випадковою величиною. Першу складову $r_1(t)$ створюють результати кластерного та регресійного аналізу, друга $r_2(t)$ описує невизначеність обмеженого обсягу бази даних і отримується як результат імітаційного моделювання при умові рівномірного ймовірнісного розподілу траєкторій змін рангів R_{CE} .

Програмна реалізація співвідношень (1), (2) при імітаційному моделюванні дозволяє отримати ймовірнісний розподіл траєкторій змін рангів пошкодження СЕ і за допомогою методів лінійного програмування на основі (4) знайти оптимальну стратегію управління W_{opt} , яка полягає в визначенні оптимальної кількості додаткових оглядів при використанні критерія ефективності (3).

На рис.2а показано для парку умовних ПС розподіл на кластери ПС та визначення рангів на лінії прогнозу. Як приклад впливу на ранг пошкодження R_{CE} особливостей умов експлуатації ПС показано, що для ПС кластеру К1, які мають менший наліт в порівнянні з ПС кластеру К2, може мати місце випадок наявності більших пошкоджень в порівнянні з кластером К2.

На рис.2б показано результати імітаційного моделювання змін рангів пошкодження на лінії прогнозу, яка складається з двох частин. Перша складова

визначається як сума $r_1(t)$ та $r_2(t)$, друга – тільки зміною $r_2(t)$. Вказана особливість пояснюється належністю другої частини $r_2(t)$ до кластеру КТ, де відсутні ПС.

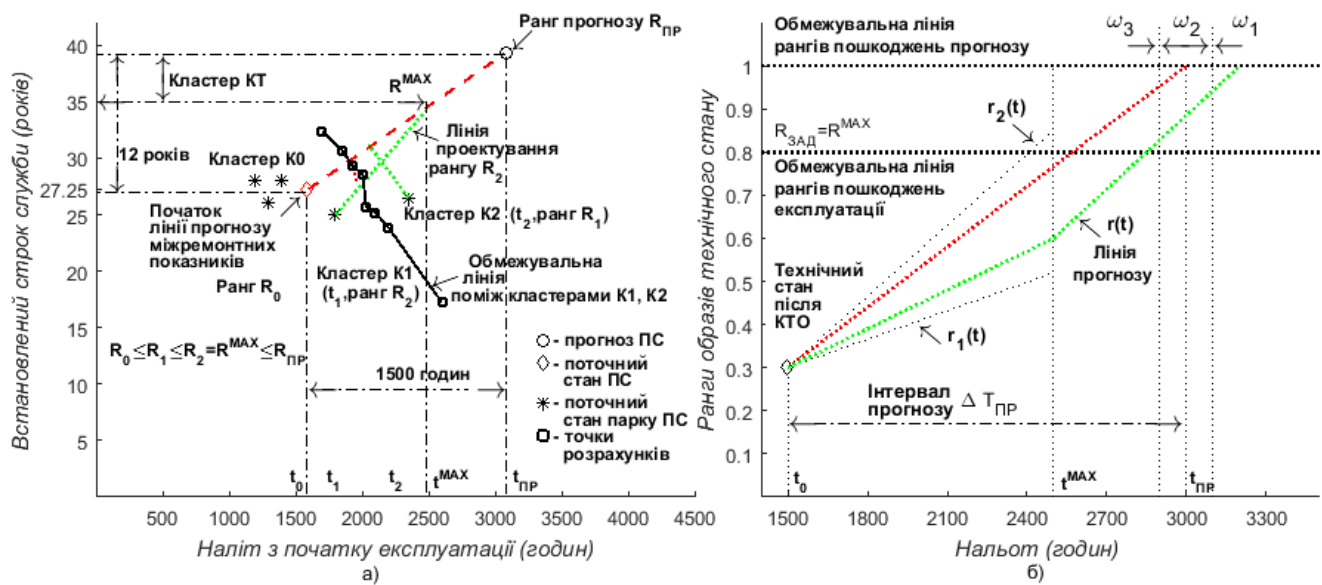


Рис.2. а) результати кластерного аналізу парку умовних ПС; б) результати імітаційного моделювання траєкторій змін рангів пошкодження

ВИСНОВОК. Розроблені математичні моделі статистичної обробки та прогнозування технічного стану планера ПС застосовано при продовженні призначених показників експлуатації ПС типу Л-39С, Іл-76МД.

Запропонований підхід до побудови математичних моделей дозволяє на системному рівні проводити підготовку прийняття рішень щодо експлуатації ПС за межами показників, що призначено розробниками ПС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности.- К.: "МП Леся", 2015.-347 с.
2. Селихов А.Ф., Чижов В.М. Вероятностные методы в расчетах прочности самолета. – М.: Машиностроение, 1987. - 236с.
3. Карпінос Б.С., Горохов Г.Т. Прогнозування залишкової довговічності елементів планера повітряних суден з урахуванням експертних оцінок умов експлуатації / Зб. наук. праць ДНДІА. – К., 2016. – Вип.12(19).
4. Буравлев А.И., Доценко Б.И., Казаков И.Е. Управление техническим состоянием динамических систем.- М.: Машиностроение, 1995.-375 с.
5. Бологін А.С., Горохов Г.Т. Особливості прогнозування змін встановлених показників планерів повітряних суден / Технологические системы. – К., 2016. – №1(74). – С.13-18.

Надійшла до редакції 23.10.2016

Рецензент: професор Карускевич М.В.