

УДК 629.735.017.1

Борис Карпінос¹, д.т.н., проф.; Андрій Бологін², к.т.н., с.н.с.; Георгій Горохов², к.т.н., с.н.с.; Юрій Манулін²

¹ Інститут проблем міцності імені Г.С.Писаренка НАН України, Україна

² Державний науково-дослідний інститут авіації, Україна

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

Анотація. Розроблено метод прийняття рішень прогнозування довговічності силових елементів планера повітряних суден на основі використання даних експлуатації та ремонту.

Ключові слова: строк служби, експлуатаційна надійність, планер повітряного судна.

Boris Karpinos, Ph.D., Prof.; Andrii Bolohin, Ph.D.; Heorhii Horokhov, Ph.D.; Yurii Manulin

A METHODOICAL APPROACH TO PREDICTING THE DURABILITY OF AIRCRAFT STRUCTURES BASED ON THE USE OF AIRCRAFT OPERATION AND REPAIR DATA

Abstract. A decision-making method for forecasting the durability of airframe power elements based on the use of operation and repair data has been developed.

Keywords: service life, operational reliability, airframe

Проблемні питання обґрунтування довговічності авіаційних конструкцій та визначення можливості подальшої експлуатації старіючих повітряних суден (ПС) досліджувались в багатьох науково-технічних роботах. В доповіді розглянуто методичний підхід побудови математичної моделі прийняття рішень прогнозування технічного стану планера ПС шляхом комбінованого застосування математичних статистичних методів обробки інформації та неформальних експертних оцінок.

В якості інформаційного показника можливості продовження призначеного строку служби приймається ймовірність β_{CE} руйнування силових елементів (СЕ), як узагальненого показника технічного стану планера ПС.

Постановка задачі прогнозування можливості продовження строку служби на час ΔT_{PP} для конкретного ПС передбачає визначення кількості пошкоджень планера ПС, при якій ще виконуються вимоги безпеки польотів, а саме: ймовірність β_{CE} виникнення аварійної ситуації внаслідок утворення концентраторів напруження (втомних тріщин, місць корозії) не повинна бути більше значення $\beta = 1.0 \times 10^{-6}$ на одну годину польоту.

Аналітичні залежності в математичній моделі прогнозу довговічності СЕ конструкції планера ПС побудовано на основі логарифмічного нормального закону розподілу ймовірності руйнування $\beta_{CE}(\Delta T_{PP})$ та результатів статистичного аналізу даних експлуатації головної групи ПС, які відносно ПС, що досліджується, мають випереджальні значення календарного строку служби t_K , нальоту t_P та рангу пошкоджень R_{II} .

Для визначення головної групи ПС застосовано методи кластерного аналізу в трьохвимірному просторі значень t_K , t_P та рангу пошкоджень R_{II} .

В результаті проведення порівняльного аналізу визначаються СЕ з рангом максимального ступеня пошкоджуваності R_{II}^{MAX} , що і є підставою для прийняття рішень стосовно залишкової довговічності СЕ.

За результатами аналізу на інтегральному рівні опису конструкції планера ПС опосередкованих значень ознак пошкодження R_{II} , таких як загальна кількість тріщин M_{TP} , пошкоджених заклепок $M_{ЗАК}$, місць корозії $M_{КР}$, виконується обчислення значень інтенсивності появи відмов СЕ у вигляді тріщин $\lambda_{TP} = \frac{M_{TP}}{t_P}$, пошкоджених заклепок $\lambda_{TP} = \frac{M_{ЗАК}}{t_P}$, появи місць корозії $\lambda_{КР} = \frac{M_{КР}}{t_K}$ в залежності від часу нальоту t_P та строку t_K експлуатації.

Вказані параметри інтенсивності λ_{TP} , $\lambda_{ЗАК}$, $\lambda_{КР}$ характеризують в цілому ранг пошкодження R_{II} планера ПС.

З метою оцінки можливості дотримання умов безпеки польотів впродовж інтервалу прогнозу ΔT_{PP} знаходиться рішення інтегрального рівняння для отримання оцінки "a" математичного сподівання параметру "a": $a = a_{ПРОГНОЗ} = a_1$:

$$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\lg(\Delta T_{PP})} e^{-(x-a)^2/(2\sigma^2)} dx - \beta_{БП} = 0$$

де $\beta_{БП}$ - граничне значення ймовірності руйнування СЕ впродовж інтервалу прогнозу ΔT_{PP} ; x - втомна довговічність в кількості годин нальоту t_P за даними експлуатації; a - математичне сподівання логарифмів довговічності; σ - середнє квадратичне відхилення логарифмів довговічності, при цьому приймається, що $\sigma = 0,15$ для алюмінієвих сплавів.

Обчислення значень випадкової величини a_1 в математичній моделі виконано з використанням ряду припущень, одним з яких є необхідність лінійної пропорційної зміни параметру "a = a_{ПРОГНОЗ}" відповідно діапазону змін значень результатів контролю появи пошкоджень λ_{TP} , $\lambda_{ЗАК}$, $\lambda_{КР}$.

Таким чином, на основі даних технічної експлуатації кластера головної групи ПС перевіряються умови забезпечення безпеки польотів.

В подальшому для прийняття рішень щодо довговічності конкретного ПС необхідно виконати розрахунки, в яких передбачити сумісне використання результатів статистичного аналізу кластера головної групи ПС та оцінок експертів.

Аналіз розташування даних t_K , t_P , R_{II} в трьохвимірному просторі координат дозволяє для кластера головної групи прийняти припущення щодо наявності лінійної регресійної залежності поміж випадковими значеннями t_K , t_P , R_{II} .

Доцільність вказаного припущення та адекватність математичної лінійної регресійної моделі процесу реальної експлуатації ПС головної групи підтверджується значенням вибіркового коефіцієнта кореляції, який вказує на тісний зв'язок даних експлуатації.

$$\text{Лінія прогнозу має вигляд рівняння: } t_K(t_P) = Kut_{ПРОГНОЗ} \times t_P + B_{ПРОГНОЗ}.$$

Коефіцієнти рівняння обчислюються шляхом застосування комбінованого методу, який передбачає поєднання методів математичного та евристичного прогнозу.

Значення коефіцієнта $Kut_{PROGNOZ}$ отримано на підставі припущення щодо обчислення середнього значення двох куткових коефіцієнтів: Kut_{REG} та Kut_{EKC} .

Згідно методу математичного прогнозу обчислено значення коефіцієнтів лінії регресії, верхньої та нижньої границі лінії регресії з довірчим інтервалом 0,001.

Метод евристичного прогнозу дозволяє отримати значення куткового коефіцієнта Kut_{EKC} в результаті експертної оцінки технічного стану ПС. Обробку даних прогнозних оцінок експертів доцільно проводити на основі методу нечіткого логічного висновку, так як експерти приймають рішення в умовах деякої невизначеності стосовно впливу факторів реальної експлуатації.

В якості прикладу на рисунку показано застосування методичного підходу до прийняття рішення щодо можливості продовження призначеного строку служби умовного ПС №1234 після виконання ремонту.

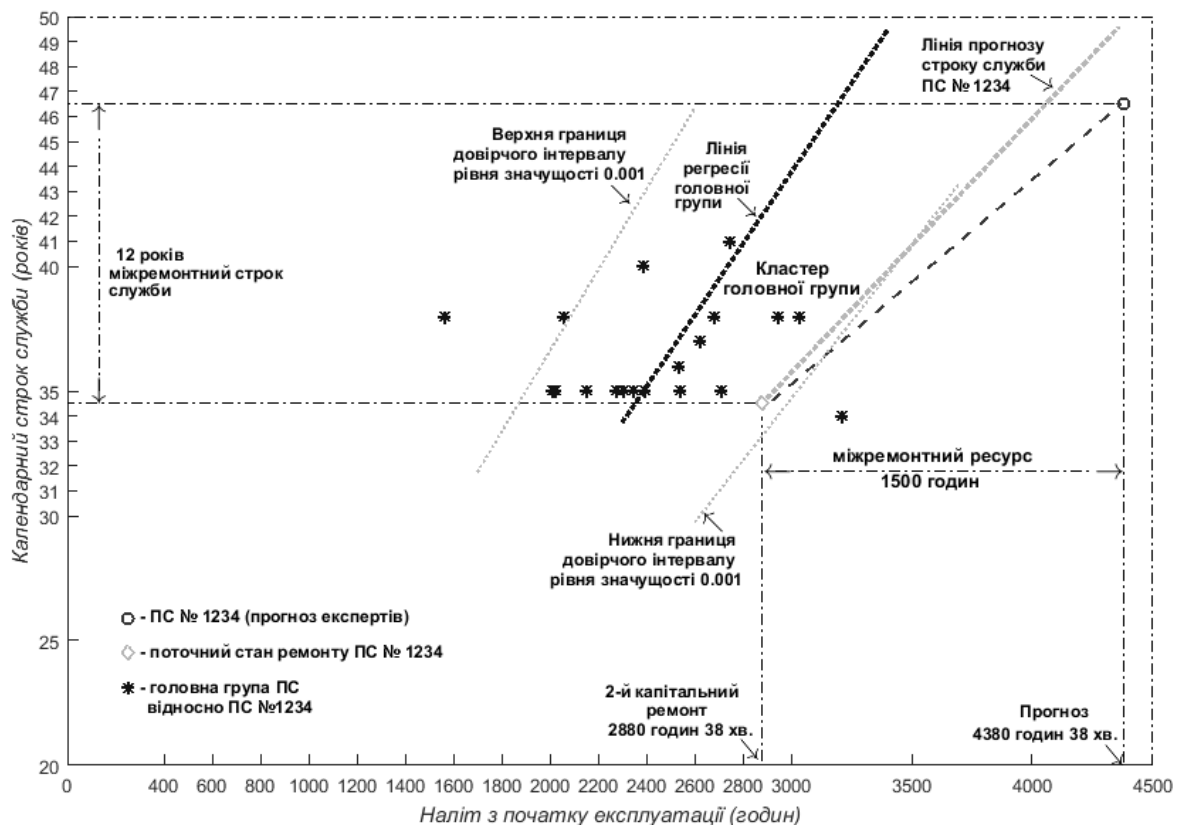


Рис.1 – Порівняльний аналіз прогнозованих ресурсних показників ПС №1234 з ресурсними показниками головної групи ПС

Реалізація на практиці методичного підходу прийняття рішень прогнозування довговічності СЕ планера ПС в процесі технічної експлуатації дозволить отримувати науково обгрунтовані строки продовження призначених показників і визначати для системи управління інженерно-авіаційної служби часові інтервали виконання переліків необхідних профілактичних робіт.