

УДК 629.7.036.34

*ЛОБУНЬКО О.П., начальник науково-дослідного відділу, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник*

*КУЗЬМІН С.М., провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник*

ОРГАНІЗАЦІЯ МОНІТОРИНГУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ

Розглядаються науково-технічні аспекти організації моніторингу функціональних параметрів авіаційних двигунів у процесі експлуатації за технічним станом

Для оцінки поточного технічного стану авіаційних двигунів (АД) виконується значний обсяг робіт з огляду конструктивних елементів і вимірювань значень контрольованих параметрів у польоті і на землі. Так як ресурси АД авіації Повітряних Сил Збройних Сил України наближаються до граничних значень, то важливо не лише достовірно визначати їх технічний стан у момент контролю, але й прогнозувати його зміну на певний період (до чергової перевірки). Для цього результати вимірювань параметрів систематично фіксуються, внаслідок чого в експлуатуючих організаціях накопичується статистична інформація, яка відображає технічний стан АД та характеризує динаміку його зміни.

Проведення моніторингу технічного стану АД передбачає визначення методології використання індивідуальної інформації про об'єкт, вимірювальних і обчислювальних засобів, різноманітних математичних методів розв'язання задач оброблення та аналізу інформації про технічний стан двигуна, а також підтримки прийняття рішень щодо перспектив використання двигуна. При цьому важливо забезпечити максимальну автоматизацію та зниження впливу факторів суб'єктивної оцінки технічного стану АД, високу швидкість та ефективність пошуку і видачі відповідних рекомендацій.

Штатні бортові та наземні засоби вимірювання і контролю параметрів АД є джерелом оперативної інформації про об'єкт моніторингу. Сучасні апаратно-програмні засоби оброблення польотної інформації дозволяють зчитувати і обробляти зареєстровану інформацію, а також вирішувати ряд важливих діагностичних задач. Більш повне використання потенційних можливостей зазначених засобів потребує впровадження комплексу алгоритмів діагностування та прогнозування технічного стану АД, а також використання їх у процесі моніторингу функціональних параметрів.

Дефекти і несправності, що виникають у процесі експлуатації, викликають деградацію технічних характеристик складових АД і їх систем. При цьому змінюються функціональні параметри двигунів в аналогічних умовах і режимах роботи. У результаті цього АД перебувають у різних видах технічного стану.

Кожне рішення про можливість призначення чергового етапу експлуатації АД за технічним станом або продовження строку служби, є розв'язком задачі прогнозу, що базується на впевненості в його справному стані у майбутньому. На теперішній час дана задача вирішується, в основному, неформальними методами і рішення про майбутній стан виробів приймається на основі [1]:

якісної або кількісної оцінки параметрів та ознак, які характеризують їх поточний технічний стан;

досвіду експлуатації об'єкта.

Одним з основних питань параметричного методу технічного діагностування АД є вибір для контролю основних функціональних параметрів, що володіють найбільшою діагностичною цінністю [2].

Виникнення дефектів і несправностей елементів конструкції АД безпосередньо впливають на зміну відповідних параметрів, які можливо контролювати в процесі експлуатації.

Існує певний зв'язок між групами несправностей та інформативними параметрами, що реєструються бортовою апаратурою. Так, наприклад, забоїни і деформація робочих лопаток компресора, тріщини в робочих лопатках турбіни, руйнування опори двигуна впливає на зміну вібраційного стану двигуна в цілому. Тому інформативним параметром тут може бути рівень вібрації V_D .

Тріщини і прогари соплових лопаток газової турбіни приводять до зміни опору проточної частини турбіни потоку газу, зменшення її потужності і, як слідство, зростання температури газу перед турбіною. У цьому разі інформативним параметром є зміна температури T_T^* .

Тріщини деталей агрегатів паливної системи, знос їх ущільнень, а також відмови датчиків контролю паливної системи приводять до зміни тиску палива. При цьому інформативним параметром є зміна тиску палива P_T .

Руйнування трубопроводу забору повітря з основної камери згоряння, відмова агрегата НП-96, датчика зворотнього зв'язку приводять до нестійкої роботи реактивного сопла. Інформативним параметром є положення стулок сопла $\alpha_{ГС}$.

Значення зареєстрованих функціональних параметрів АД є випадковими функціями, так як у процесі виконання польоту залежать від випадкових експлуатаційних факторів, внутрішніх і зовнішніх завад, похибок вимірювання та реєстрації [3]. Значення зареєстрованого протягом кількох польотів (опробувань) функціонального параметра АД, що зафіксовані на аналогічних режимах роботи утворюють реалізації випадкових процесів $x_i(t)$.

Ідентифікацію режимів роботи АД необхідно проводити з використанням алгоритмів, які визначають належність поточного режиму роботи двигуна до встановлених типових режимів його роботи, а також до поточних значень режимних параметрів. У перелік режимів, які аналізуються, необхідно включити ті, що мають наступні ознаки:

висока повторюваність;

висока інтенсивність зміни функціональних параметрів (на нестационарних режимах) або незмінність їх значень (на стаціонарних режимах);

можливість оцінити працездатність основних вузлів і агрегатів систем АД.

Такими режимами роботи АД літака-винищувача визначені: запуск (0...МГ), малий газ (МГ), виведення на максимальний режим (МГ...М), максимальний режим (М), виведення на повний форсований режим (М...ПФ), повний форсований режим (ПФ), вимкнення двигуна (МГ...0).

Перевірка правильності функціонування АД і їх систем на основних стаціонарних і нестаціонарних режимах роботи необхідно проводити з використанням комплексу алгоритмів. При цьому доцільно використовувати процедури приведення функціональних параметрів та порівняння з індивідуальними гранично допустимими значеннями $X_{ДОП}$ для відповідного режиму роботи АД.

Автоматизована перевірка правильності функціонування АД, тобто збереження двигунами на функціональних режимах значень параметрів в межах, що встановлені нормативно-технічною документацією, необхідно виконувати з використанням методів допускового контролю. Умовою прийняття рішення про справний стан АД на момент контролю t_k є виконання нерівності

$$X(t_k) \leq X_{ДОП}, \quad (1)$$

де $X(t_k)$ – вектор зареєстрованих (у момент контролю t_k) або розрахованих значень параметрів АД на відповідних режимах роботи; $X_{ДОП}$ – вектор гранично допустимих значень параметрів на відповідних сталих і несталих режимах роботи АД.

У якості вхідних даних необхідно вводити індивідуальні межі допустимих значень параметрів і діагностичні (попереджувальні) межі. Перевірка правильності функціонування АД літака-винищувача повинна забезпечувати порівняння значень контрольованих параметрів $X_{МГ}(t_k)$, $X_{М}(t_k)$, $X_{ПФ}(t_k)$, $X_{0-МГ}(t_k)$, $X_{МГ-М}(t_k)$, $X_{М-ПФ}(t_k)$, $X_{МГ-0}(t_k)$ (рис. 1) з допустимими на стаціонарних та нестаціонарних режимах роботи двигуна.

Судити про появу несправності АД за одним або кількома вимірами навіть найбільш діагностично інформативного параметра проблематично, враховуючи похибки вимірювань, коливання значень параметрів при роботі двигуна та інші фактори. Зважаючи на ці обставини доцільно використовувати досвід аналізу тенденцій зміни параметрів, прогнозування небезпечних станів на основі аналізу функціональних параметрів на сталих та несталих режимах роботи АД [2]. Виявлення тенденцій доцільно здійснювати методами тренд-аналізу, які засновані на виявленні зміни властивостей часових рядів, що утворені значеннями параметрів, зареєстрованими у послідовні моменти часу t_i ($i=1 \dots k$).

Сучасні апаратно-програмні засоби оброблення польотної інформації дозволяють забезпечити накопичення баз даних (архівів) параметрів, що зафіксовані з моменту першого запису t_1 (контрольно-здавального випробування) до моменту контролю t_k . Формування бази даних функціональних параметрів здійснюється внаслідок тривалого процесу їх збору та зберігання структурованими по відповідним каталогам.

Інтегральну оцінку пошкодженості деталей, що лімітують ресурс АД, необхідно виконувати згідно з гіпотезою лінійного підсумування пошкоджень та підходів, наведених у роботі [3]:

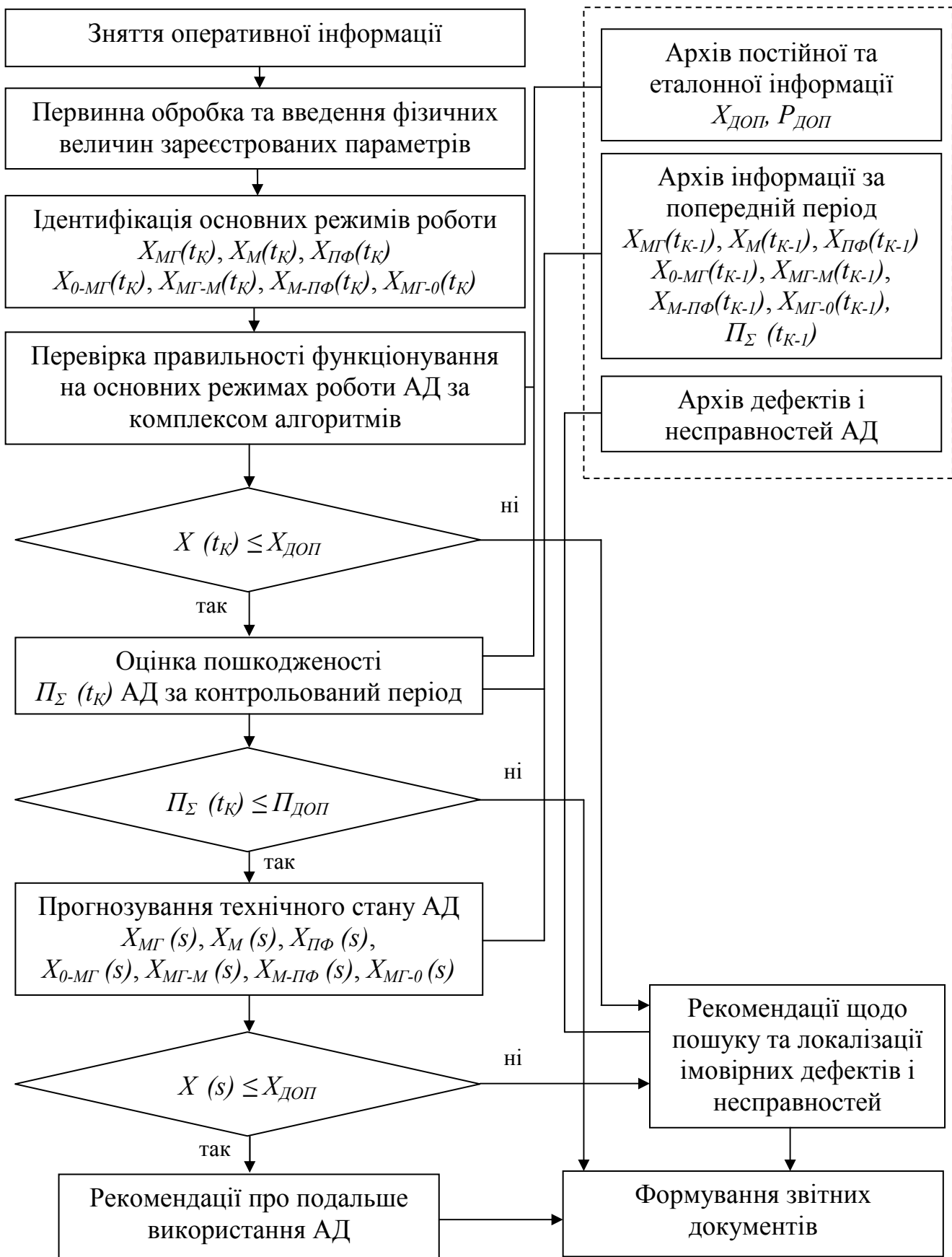


Рис. 1. Схема організації моніторинга функціональних параметрів АД

$$P_{\Sigma\Pi} = P_{P\Pi} + P_{N\Pi} = \sum_{i=1}^m P_{P_i} + \sum_{j=1}^n P_{N_j} = \sum_{i=1}^m \frac{\tau_i}{\tau_{pi}(\sigma_i, T_i)} + \sum_{j=1}^n \frac{1}{N_{P_j}}, \quad (2)$$

де $P_{P\Pi}$ – пошкодженість за політ, накопичена на сталих режимах; $P_{N\Pi}$ – пошкодженість за політ, накопичена на перехідних режимах; n – кількість перехідних режимів; m – кількість сталих режимів; τ_i – тривалість i -го сталого режиму; $\tau_{pi}(\sigma_i, T_i)$ – час до руйнування при роботі на i -му сталому режимі з урахуванням діючих напруг σ_i та температур T_i ; N_{P_j} – кількість циклів до руйнування при параметрах j -го перехідного режиму.

Прогнозування технічного стану АД ґрунтується на використанні математичних моделей, які описують зміну параметрів стану виробу за часом [4]. Використовуються моделі часових рядів, чим забезпечується не тільки логічний, але і функціональний взаємозв'язок між алгоритмами виявлення початку зміни параметра і алгоритмом визначення часу, протягом якого ця зміна приведе до виходу його за допустимі межі.

Прогнозування технічного стану АД полягає у визначенні закону розподілу часу до першого виходу випадкового процесу $X^{PS}(t)$ за межі допускової області $X_{ДОП}$ відносно реалізації, що спостерігається $X(t)$, тобто як задача визначення імовірності [1]:

$$P^{PS}(s) = P \{X^{PS}(s) \in X_{ДОП} / X(t)\}, t_1 < t < t_k, s > t_k. \quad (3)$$

Вираз (3) є умовна імовірність того, що АД безвідмовно пропрацює до моменту $s > t_k$, якщо до моменту t_k включно його стан визначався реалізацією $X(t)$, $t_1 < t < t_k$.

Вихід значень параметрів $X(t_k)$ або $X^{PS}(s)$ за межі допускової області $X_{ДОП}$ є сигналом для визначення несправних вузлів і агрегатів АД або елементів, стан яких змінюється. Для інтерпретації результатів контролю, прогнозування технічного стану за результатами спостережень, а також проведення діагностики несправностей, необхідно використовувати попередньо підготовлений перелік можливих несправностей АД (архів дефектів і несправностей). Цей архів формується на підставі досвіду експлуатації та ремонту даного типу АД та з урахуванням функціональних зв'язків зареєстрованих параметрів з несправностями вузлів і агрегатів.

За результатами моніторингу функціональних параметрів АД формуються обґрунтовані рекомендації, щодо можливості продовження експлуатації або необхідності технічного обслуговування (заводського ремонту) АД. Перевагою запропонованої системи є раннє виявлення зміни технічного стану двигунів і їх агрегатів, а також можливість забезпечення підтримки прийняття рішення про доцільність і періодичність технічного обслуговування або заводського ремонту АД у майбутній термін експлуатації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций. – К.: ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.
2. Технические средства диагностирования: Справочник / Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. и др. – Под общей ред. Клюева В.В. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Самулеєв В.В., Лобунько О.П., Бологін А.С. Методика оцінки пошкодженості лопаток турбін авіадвигунів. К.: НЦ ВПС ЗС України, 2003. – С. 195 – 199.
4. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. – 430 с.

Надійшла до редакції 29.10.2010