

Муха А.А.

*кандидат технічних наук, науковий співробітник,
Інститут проблем математичних машин і систем
Національної академії наук України*

ОЦІНКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПРИ ВИМІРІ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

При експлуатації технічних систем існує можливість виміру деяких діагностичних параметрів, які прямо або опосередковано характеризують їх технічний стан та залишковий ресурс. При цьому інформація про технічні показники може бути використана для оцінки реального технічного стану і прогнозування залишкового ресурсу. Для цього пропонується наступна процедура.

За результатами попередніх випробувань або експлуатації встановлюють зв'язок між граничними значеннями визначального (ресурсного) параметра і діагностичних параметрів.

Отримують результати одночасних вимірів ресурсного (визначального) параметра $\varphi(t_i) = x_k(t_i)$ (індекс i відповідає моменту часу

напрацювання і виміру параметрів) і діагностичних параметрів $x_j(t_i)$ (індекс j відповідає номеру контрольованих параметрів; $j = 1, 2, \dots, k$). При цьому ресурсному параметру призначають номер k і вважають відомим його граничне значення ($\Pi = x_{k\text{lim}} \geq x_k(t_n)$).

Після апроксимації змінних $x_1(t_i), x_2(t_i), \dots, x_k(t_i)$ по методу найменших квадратів будується діагностична модель зміни ресурсного і діагностичних параметрів в наступному виді:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1k}x_k, \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2k}x_k, \\ &\dots, \\ \frac{dx_k}{dt} &= a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \dots + a_{kk}x_k,\end{aligned}\tag{1}$$

де a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, k$) – постійні коефіцієнти. Невідомі коефіцієнти a_{ij} знаходяться з мінімізації відповідних квадратичних форм.

Інтегруючи систему диференціальних рівнянь (1), набувають граничних значень $X_{1\text{lim}}, X_{2\text{lim}}, \dots, X_{(k-1)\text{lim}}$ для діагностичних параметрів за умови, що ресурсний параметр досягає свого заданого граничного значення $X_{k\text{lim}} = \Pi$.

Модель зміни ресурсного і діагностичних параметрів при апроксимації змінних будується з використанням лінійної, квадратичної або експоненціальної залежностей. Приймається як рішення найбільш адекватна модель, що мінімізує суму квадратів відхилень вчислених за формулами апроксимацій значень кожної змінної (x_1, x_2, \dots, x_k) у моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n . Для чисельної інтеграції системи рівнянь використовують метод Рунге-Кутта 4-го порядку точності. Чисельну інтеграцію закінчують при досягненні ресурсним (визначальним) параметром свого заданого граничного значення.

Використовуючи результати попередніх досліджень, а також будь-які інші статистичні дані, що стосуються цих параметрів, обчислюють коефіцієнти варіації ресурсного і діагностичних параметрів за формулою:

$$v_j = \frac{\sqrt{n}}{\sum_{i=1}^n \Delta x_{ji}} \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\Delta x_{ji} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_{ji} \right)^2}, \quad (2)$$

де $\Delta x_{ji} = x_{j,i+1} - x_{ji}$; індекс j відповідає номеру контрольованого параметра ($j=1, 2, \dots, k$), а індекс i відповідає моменту часу (напрацювання) t_i ($i=1, 2, \dots, n$).

На основі результатів вимірів діагностичних параметрів будується система динамічних рівнянь, аналогічна (1):

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1(k-1)}x_{k-1}; \\ \frac{dx_2}{dt} &= b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2(k-1)}x_{k-1}; \\ &\dots\dots\dots; \\ \frac{dx_n}{dt} &= b_{n1}x_1 + b_{n2}x_2 + \dots + b_{n(k-1)}x_{k-1}. \end{aligned} \quad (3)$$

Інтегруючи систему (3), обчислюють прогнозований залишковий ресурс, що визначений напрацюванням, за яке хоч би один з діагностичних параметрів досягає свого граничного значення.

Обчислюють мінімальні значення, яке приймається як оцінка середнього значення залишкового ресурсу:

$$\tilde{\pi}(\tau) = \min \{ (t_{x1\text{lim}} - t_{нзм}); (t_{x2\text{lim}} - t_{нзм}) \}, \quad (4)$$

де $t_{нзм}$ – напрацювання, що відповідає останньому виміру діагностичних параметрів.

З метою визначення закону розподілу залишкового ресурсу, а також інших показників, якщо в процесі вимірів встановлено, що зміна ресурсного (визначального) параметра має монотонний характер, приймають як теоретичну модель розподілу залишкового ресурсу (залишкового напрацювання повністю) динамічний монотонний DM-розподіл виду:

$$F(\tau) = DM(\tau; \mu_o, \nu) = \Phi \left(\frac{\tau - \mu_o}{\nu \sqrt{\mu_o \tau}} \right). \quad (5)$$

Оцінкою параметра форми ν розподілу (5) є оцінка коефіцієнта варіації приростів ресурсного (визначального) параметра, обчислена за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta\varphi_i - \tilde{\Delta}\varphi)^2 / \tilde{\Delta}\varphi}, \quad (6)$$

або (2). Оцінкою параметра масштабу μ_o розподілу (5) є:

$$\tilde{\mu}_o = \tilde{\pi}(\tau) / (1 + \tilde{v}^2 / 2), \quad (7)$$

де значення $\tilde{\pi}(\tau)$ обчислюють за формулою (4).

Гамма-процентний залишковий ресурс обчислюють, використовуючи оцінки параметрів розподілу залишкового ресурсу, за формулою:

$$\tilde{\pi}_y(\tau) = \tilde{\mu}_o \left(1 + \frac{\tilde{v}^2 U_\gamma^2}{2} - \tilde{v} U_\gamma \sqrt{1 + \frac{\tilde{v}^2 U_\gamma^2}{4}} \right). \quad (8)$$

Вірогідність безвідмовної роботи за напрацювання $\tau_{зад}$ після моменту $t_{изм}$ обчислюють за формулою:

$$P(\tau_{зад}) = \Phi \left(\frac{\tilde{\mu}_o - \tau_{зад}}{\tilde{v} \sqrt{\tilde{\mu}_o \tau_{зад}}} \right) \quad (9)$$

Список використаних джерел:

1. ДСТУ 3942-2000 (ГОСТ 27.506-2000). Надійність в техніці. Плани испытаний для контролю середней наработки до отказа (на отказ). Киев : Изд-во стандартов, 2000. Ч. 2: Диффузионное распределение. 32 с.