09 Надійність об'єктів, що підлягають ремонту

1. Загальні положення

Для об'єктів, що підлягають ремонту, характерним є чергування справного стану і ремонту після відмови. Появу відмов в кожному з об'єктів можна розглядати як потік відмов.

Показниками безвідмовності об’єктів, що підлягають ремонту, є: ймовірність безвідмовної роботи $P(t_0)$, середнє напрацювання до відмови T_0, параметр потоку відмов $\omega(t)$.

Параметр потоку відмов – це межа відношення математичного сподівання кількості відмов відновлюваного об'єкта за досить малий інтервал його напрацювання до значення цього напрацювання:

$$\omega(t) = \lim \frac{M\left[n(t, t+\Delta t)\right]}{\Delta t}, \tag{1.70}$$

де $n(t,\, t+\Delta t)$ – кількість відмов в інтервалі Δt.

Статистично параметр потоку відмов – це середня кількість відмов за час розглянутого потоку:

$$\tilde{\omega}(t_i) = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i}. \tag{1.71}$$

Вважається, що кількість об'єктів N в процесі випробування залишається незмінною: несправні об'єкти замінюються новими. В складному об'єкті потік відмов ω_k визначають відмови окремих пристроїв ω_i:

$$\omega_k = \sum_1^n \omega_i. \tag{1.72}$$

Основним (найбільш сприятливим) типом потоку відмов РЕП в умовах експлуатації є простіший.

Для об’єктів, що підлягають ремонту, зручним для практики критерієм надійності є середнє напрацювання між двома сусідніми відмовами, яке звичайно називають *середнім напрацюванням до відмови*. Його статистична оцінка:

$$\tilde{\mathrm{T}}_0 = \frac{\tilde{t}_\Sigma}{n}, \tag{1.73}$$

де t_Σ – сумарний час напрацювання;

n – кількість відмов за цей час.

Якщо випробуються N однотипних об'єктів, то середнє напрацювання до відмови визначається відношенням сумарного часу $\mathrm{t_j}$ справної роботи всіх об'єктів до сумарної кількості відмов $\mathrm{n_i}$:

$$\tilde{\mathrm{T}}_0 = \sum_1^N \tilde{t}_i \Big/ \sum_1^n n_i. \tag{1.74}$$

Для ординарних без наслідків потоків відмов ймовірність безвідмовної роботи РЕП на інтервалі (t_1, t_2)

$$P(t, t_2) = \exp\left[-\int_{t_1}^{t_2} \omega(t)\, dt \right]. \qquad (1.75)$$

При стаціонарному ($\omega = const$) потоці ймовірність безвідмовної роботи на інтервалі Δt

$$P(\Delta t) = \exp\left[-\omega \cdot \Delta t \right]. \qquad (1.76)$$

Для простішого потоку

$$\omega = 1/\mathrm{T}_0. \qquad (1.77)$$

Для об’єктів, що підлягають ремонту, вводять поняття *ремонтопридатності* – властивості об'єкта бути пристосованим для підтримання та відновлення стану, в якому він здатний виконувати потрібні функції, за допомогою обслуговування та ремонту. Процес ремонту, який полягає у виявленні та усуненні відмов, є випадковим. Як випадкову величину беремо час відновлення (ремонту) t_P.

Один з показників ремонтопридатності – *середня тривалість відновлення* – математичне сподівання часу відновлення працездатного стану об'єкта після відмови

$$\mathrm{T}_{TB} = \int_0^{\infty} t_P \cdot f(t_P)\, dt; \qquad (1.78)$$

за статистичними даними визначається як

$$\tilde{\mathrm{T}}_{TB} = \left(\sum_1^n \tilde{t}_{pi} \right) \Big/ n, \qquad (1.79)$$

де n - кількість відмов за період часу, що спостерігається.

Величина, зворотна середній тривалості відновлення, називається *інтенсивністю відновлення* і характеризується кількістю ремонтів, проведених за одиницю часу. Для простішого потоку це величина постійна і дорівнює:

$$\mu = 1/\mathrm{T}_{TB}. \qquad (1.80)$$

2. Показники готовності об’єктів, що підлягають ремонту

Готовність РЕП до застосування за призначенням визначається його надійністю, прийнятою системою технічного обслуговування та контролю технічного стану, кваліфікацією персоналу, який обслуговує об'єкт, та іншими факторами. Більшість з цих факторів мають випадковий характер, що обумовлює імовірнісно-статистичний характер показників готовності.

Коефіцієнт готовності $K_{П}(t)$ – це ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільній момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачається (наприклад, технічне обслуговування).

Коефіцієнт простою *(коефіцієнт неготовності)* – це ймовірність того, що об'єкт виявиться непрацездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачається:

$$К_{П}(t) = 1 - К_{Г}(t). \tag{1.81}$$

Звичайно $К_{Г}(t)$ (і $К_{П}(t)$ також) протягом часу експлуатації прямує до усталеного значення. В цьому випадку

$$К_{Г} = \lim_{t\to\infty} К_{Г}(t). \tag{1.82}$$

Статистичні оцінки коефіцієнта готовності та коефіцієнта простою:

$$\tilde{K}_{Г} = \frac{\tilde{Т}_0}{\tilde{Т}_0 + \tilde{Т}_{ТВ}}, \tag{1.83}$$

$$\tilde{K}_{П} = \frac{\tilde{Т}_{ТВ}}{\tilde{Т}_0 + \tilde{Т}_{ТВ}}, \tag{1.84}$$

де $\tilde{Т}_0$ – середнє напрацювання на відмову;

$\tilde{Т}_{ТВ}$ – середня тривалість відновлення.

Коефіцієнт готовності характеризує долю часу, протягом якої об'єкт працездатний, а коефіцієнт простою – долю часу, протягом якої об'єкт ремонтується.

Позначимо ймовірність находження системи, що підлягає ремонту, в працездатному стані, як $P_0(t)$, а ймовірність находження її в непрацездатному стані, як $Q(t)$. Очевидно, що

$$K_{Г}(t) = P(t), K_{п}(t) = Q(t),$$

Причому

$$K_{Г}(t) + K_{П}(t) = Q(t) = P(t) = 1.$$

При тривалій експлуатації можуть бути досягнуті усталені значення

$$K_{Г} = P_0, \cdots K_{П} = Q.$$

Розглянемо випадок експоненціального розподілу часу безвідмовної роботи для структури станів об’єкта, що підлягає ремонту, наведеної у вигляді графу (рис. 1.14): «1» – працездатний стан об'єкту, «0» – об'єкт непрацездатний; λ – інтенсивність відмов, μ – інтенсивність відновлення.

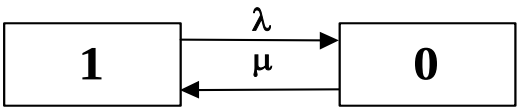

Рис. 1.14 – Граф станів об’єкта, що підлягає ремонту

Такій структурі відповідає система диференціальних рівнянь Колмогорова:

$$\begin{cases} P_0'(t) = -\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot Q(t) \\ Q'(t) = \ \lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot Q(t) \end{cases}. \tag{1.85}$$

Якщо при $t = 0$ система перебувала в працездатному стані, то початкові умови $P_0(0) = 1, Q_0(0) = 0$. Якщо при $t = 0$ система перебувала в ремонті, то $P_0(0) = 1, Q_0(0) = 0$. В результаті розв'язання системи рівнянь (1.85) одержимо

$$\begin{cases} K_Г(t) = P_0(t) = \dfrac{\mu}{\mu + \lambda} + \dfrac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp\left[-\left(\mu + \lambda\right) \cdot t\right] \\ K_П(t) = Q_0(t) = \dfrac{\lambda}{\mu + \lambda} - \dfrac{\lambda}{\mu + \lambda} \exp\left[-\left(\mu + \lambda\right) \cdot t\right] \end{cases} \tag{1.86}$$

При тривалій експлуатації $(\mathrm{t} \to \infty)$ одержимо стаціонарні значення

$$\begin{cases} K_Г = \dfrac{\mu}{\mu + \lambda} \\ K_П = \dfrac{\lambda}{\mu + \lambda} \end{cases}. \tag{1.87}$$

Якщо в вихідних умовах не вказаний початковий стан об'єкта, то слід вважати, що об'єкт на початку експлуатації був працездатним.

Коефіцієнт оперативної готовності характеризує ймовірність того, що об'єкт, який перебуває в режимі очікування, буде працездатним в довільний момент часу й, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого інтервалу часу t, тобто

$$K_{ОГ} = K_Г \cdot P_0(t) \tag{1.88}$$

На практиці також застосовують *коефіцієнт технічного використання* $\hat{\mathrm{E}}_{\grave{O}\hat{A}}$ – відношення часу працездатного стану об'єкта $\tilde{\mathrm{T}}_0$ до часу експлуатації, що складається з часу роботи $\tilde{\mathrm{T}}_0$, технічного обслуговування $\tilde{\mathrm{T}}_{TO}$ та ремонтів (відновлень) $\tilde{\mathrm{T}}_{TB}$:

$$\tilde{K}_{тв} = \frac{\tilde{\mathrm{T}}_0}{\tilde{\mathrm{T}}_0 + \tilde{\mathrm{T}}_{TB} + \tilde{T}_{TO}}, \tag{1.89}$$