

УДК 681.518

П. Д. Лежнюк, д-р техн. наук, проф.;

М. О. Ілюхін, асп.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ ОБ'ЄКТИВНИМ ПРОЦЕСОМ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА І СУБ'ЄКТИВНИМИ ПРОЦЕСАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Запропоновано метод оптимізації взаємодії між об'єктивним процесом зміни технічного стану об'єкта і суб'єктивними процесами експлуатації, шляхом визначення оптимальної кількості контрольованих показників і періодичності їх контролю.

Вступ

Визначення роботоздатності складного об'єкта діагностування відноситься до основних задач технічної діагностики. Вирішення цієї задачі передбачає розв'язання двох підзадач: визначення умов роботоздатності та вибір сукупності контрольованих показників, методу і періодичності їх контролю.

Формулювання умов роботоздатності здійснюється на основі аналізу моделі об'єкта діагностування, при цьому умови роботоздатності визначають як обмеження на зміну динамічних і статичних характеристик або сукупності параметрів об'єкта, або як вимога виконання заданих функцій у відповідності з визначеною логікою [1, 2, 3].

В наявній системі технічного обслуговування та ремонту [3, 5, 6] періодичність технічного обслуговування визначається на основі суб'єктивних оцінок персоналу який, виходить із виробничої можливості і необхідності, які реалізуються за допомогою річного графіка. Останній складається в наперед визначений час і не може відображати реальний технічний стан окремих елементів, окремі елементи об'єкта працюють в різних умовах і тому не можна гарантувати, що в міжремонтний період не будуть виникати відмови. При такій системі діагностування завжди будуть втрати від відмов і недовикористаного ресурсу. Зменшити один вид втрат за рахунок іншого неможливо.

Мета роботи полягає в тому, щоб оптимізувати взаємодію між об'єктивним процесом зміни технічного стану об'єкта і суб'єктивними процесами експлуатації, шляхом визначення оптимальної кількості контрольованих показників і періодичності їх контролю.

Результати дослідження

В загальному випадку елемент може відмовити і буде відновлений до моменту попереднього відновлення з імовірністю

$$p(T_H) = \int_{T_{\min}}^{T_H} f(T_H) dT, \quad (1)$$

де $f(T_H)$ — функція розподілу наробітку на відмову.

Середній наробіток до відмови за умови, що він відбувся до T_H

$$T' = \frac{\int_{T_{\min}}^{T_H} T f(T_H) dT}{p(T_H)}. \quad (2)$$

Середній використаний ресурс елемента з урахуванням відновлення через відмову і попереджувальну заміну через наробіток T_H .

$$\bar{T} = \int_{T_{\min}}^{T_H} T f(T) dT + T_H [1 - p(T_H)]. \quad (3)$$

Питомі втрати за відсутності неперервних витрат від зміни параметра елемента

$$W'_n = \frac{W_o p(T_n) + W [1 - p(T_n)]}{\bar{T}} = \frac{(W_o - W)p(T_n) + W}{\bar{T}}, \quad (4)$$

де W_o — витрати від відмови елементів; W — витрати на контроль і локалізування несправностей в діагностичному циклі.

Для визначення W розглянемо середнє кількість несправностей які можна локалізувати за один цикл роботи системи діагностування. Їх можна визначити як

$$\xi = \int_0^{\infty} (q + x) f(x, \tau) dx, \quad (5)$$

де z — кількість несправностей, що накопичуються; τ — час локалізування q несправностей; q — кількість несправностей, що виникли за час τ ; $f(x, \tau)$ — щільність безумовного розподілу несправностей за час локалізування.

Середнє число несправностей, які можуть з'явитись за час локалізування,

$$\gamma = \int_0^{\infty} x f(x, \tau) dx. \quad (6)$$

Якщо система діагностування передбачає локалізування несправностей із k одиниць, тоді число переходів в режим діагностування з інтенсивністю відмов λ складе λ/k і середня кількість несправностей, які допускають локалізування

$$j = \frac{1}{2}(k + s) + \frac{1}{2}k = k + \frac{s}{2}, \quad (7)$$

де s визначає збільшення середнього рівня додаткових несправностей, що локалізують до кінця циклу локалізування.

Середнє значення витрат для розглянутих умов функціонування можна знайти з виразу

$$W = \frac{\bar{\lambda}}{k} B_o + y B_i \left(k + \frac{s}{2} \right), \quad (8)$$

де B_o — витрати переходу в режим локалізування; B_i — середні витрати на локалізування однієї несправності; y — постійний коефіцієнт, що визначає ризик пропуску, який лінійно змінюється.

Для зменшення імовірності виникнення помилок першого роду (об'єкт справний, а результат контролю негативний) допусковий контроль може бути доповнено вибіркоким. В зв'язку з тим, що час контролю є обмеженим, то буде і обмеженим число елементів, охоплених вибіркоким контролем, тому витрати на локалізування будуть залежати і від математичного сподівання кількості визнаних пошкодженими без додаткової обробки елементів (параметрів), тому вираз (8) набуде вигляду:

$$W = \frac{\bar{\lambda}}{k} B_o + j \left(k + \frac{s}{2} + \frac{\bar{\lambda} m}{k} \right), \quad (9)$$

де \bar{m} — математичне сподівання числа елементів, забракованих без додаткової обробки.

Оптимальне значення критерію раціональності знаходиться в результаті визначення екстремуму функції $W(k, \eta)$.

Для системи діагностування, в якій використовується режим неперервного контролю роботоздатності і пошуком несправності при зміні роботоздатності під час відновлювальних дій за результатами контролю параметрів технічного стану, вважають [4], що розвиток відмови елемента пов'язано зі зміною параметра технічного стану $\Delta\Pi$, тобто відмова виникає, коли параметр досягає граничного стану $\Pi_{гр}$. Для визначення моменту відновлення конкретного елемента з періодичністю T_k проводиться контроль параметра і співставлення отриманого в процесі контролю поточного значення Π_k з допустимим Π_d . Якщо в момент контролю $\Pi_k \geq \Pi_d$, проводять попереджувальне відновлення елемента. Якщо $\Pi_k < \Pi_d$ — останнє не проводять.

В загальному випадку вибрані значення Π_d і Π_k можуть бути такими, що елемент відмовить в

проміжок між двома діагностуваннями, навіть коли в момент попереднього контролю і виконувалась умова $\Pi_k < \Pi_d$ для параметра цього елемента.

Питомі витрати при здійсненні відновлювальних дій за результатами контролю параметрів технічного стану, зі зміною яких неперервні втрати не зростають за аналогією з (4), (8) можна визначити як

$$W_{\Pi}''(\Pi_d, T_k) = \frac{P(\Pi_k, T_k)W_o + [1 - P(\Pi_d, T_k)]W + K_d(\Pi_d, T_k)W_d}{T_{\Phi}(\Pi_d, T_k)}, \quad (10)$$

де $P(\Pi_d, T_k)$ — ймовірність відмови елемента за вибраними допустимими значеннями Π_d і міжконтрольному напрацюванні T_k ; $K_d(\Pi_d, T_k)$ — середнє кількість перевірок параметра елемента за час його роботи; W_d — витрати на діагностування; $T_{\Phi}(\Pi_d, T_k)$ — середній наробіток елемента до відновлення за результатами контролю, або через відмову.

Для першої системи діагностування із (4) можна зробити такі висновки, що в даному випадку маємо два види втрат, відмова одних елементів і недовикористаний ресурс інших. Зменшити один вид втрат без одночасного збільшення другого неможливо. Можна тільки мінімізувати сумарні питомі витрати.

Переваги другої системи діагностування зрозумілі. В даному випадку (10) можна зменшити втрати і від відмов від недовикористаного ресурсу одночасно, при цьому тим більшою мірою, чим нижче рівень витрат на діагностування W_d , але існують два технічні обмеження її сфери застосування. Перша — це складність контролю взагалі, або з потрібною точністю і прийнятною вартістю параметрів технічного стану (ТС) окремих елементів не руйнівними методами; друга — стрибкоподібна зміна параметрів ТС окремих елементів.

Вдосконалення систем діагностування лежить на шляху створення комбінованої системи діагностування [5, 6, 7]. В комбінованій системі діагностування процедуру діагностування будують на основі методу послідовного аналізу і перехід в режим відновлення визначають за сигналом інформаційної змінної неперервного контролю інтегрального діагностичного параметра. В такій системі час початку локалізування змінюється від циклу до циклу. Зміна є наслідком різниці числа і характеру несправностей, що підлягають локалізуванню і відповідає умовам функціонування системи діагностування зі змінними інтервалами циклів. Це дозволяє оптимізувати об'єм дефектів, що накопичуються і зменшити інтенсивність відмов.

Визначимо умови, за яких може функціонувати система зі змінними інтервалами циклів.

Якщо витрати, що пов'язані з j -м циклом контролю позначити як W_j , то витрати які характеризують послідовність несправностей x_1, x_2, \dots, x_n визначимо як

$$W(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n W_j(x_j),$$

де x_j — кількість локалізованих за j -й цикл несправностей; n — кількість циклів контролю за фіксований проміжок часу.

Мінімізацію витрат будемо розглядати як задачу визначення чисел (цілих, невід'ємних), які дозволяють мінімізувати функцію $W(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за такими обмеженнями:

$$x_j \leq k_{\max}; \quad \sum_{j=1}^n x_j \geq k_{\max} n, \quad (11)$$

де k_{\max} — максимально допустиме кількість несправностей, що виникають за діагностичний цикл.

Для фіксованої кількості x_i , область допустимих змін x_1, x_2, \dots, x_n буде визначатись вибором значення x_n . Наприклад, якщо

$$\min_{x_1, x_{n-1}} W = W(x_n) + \min_{x_1, x_{n+j}=1} \sum_{j=1}^n W_j(x_j),$$

то з урахуванням обмежень (11), оптимальне значення функції витрат

$$\bar{W} = \min \{W(x_n) + W_{n-1}(k_{\max}n - x_n)\}, \quad (12)$$

де

$$W_{n-1}(k_{\max}n - x_n) = \min_{x_1, x_{n-1}} \sum_{j=1}^n W_j(x_j); \quad (13)$$

$$\bar{W} = \text{opt} W(x_1, x_2 \dots x_n).$$

Якщо функція $W_{n-1}(\xi)$ є відомою для всіх цілих числових значень ξ на відрізку $[0; k_{\max}(n)]$, то для визначення \bar{W} необхідно обчислити:

$$\left. \begin{array}{l} W_n(0) + W_{n-1}[k_{\max}(n)]; \\ W_n(0) + W_{n-1}[k_{\max}(n-1)]; \\ W_n(0) + W_{n-2}[k_{\max}(n-2)]; \\ \dots \dots \dots \end{array} \right\} \quad (14)$$

Враховуючи (13), отримаємо

$$\left. \begin{array}{l} W_1(\xi) = \min_{x_1} W_1(x_1); \\ W_1(\xi) = \min_{x_2} \{W_2(x_2) + W_1(\xi - x_2)\}; \\ \dots \dots \dots \end{array} \right\}$$

Після знаходження значень $W_1 \dots W_{n-1}$ за допомогою (13) визначимо оптимальну величину $\bar{W} = \text{opt} W$.

У тому випадку, коли x_j є незалежними випадковими величинами, ймовірність $P_j(x_j)$ яких характеризує їх розподіл, функція $W_j(x_j)$ буде характеризувати середні витрати j -го циклу, тоді W можна визначити як

$$W = \sum_{x_j \geq 0} \left[\prod_{j=1}^n P_j(x_j) \right] \left[\sum_{j=1}^n W_j(x_j) \right]. \quad (15)$$

Якщо вважати, що

$$W_i(\xi) = \min_{x_j \geq 0} \left\{ \sum_{j=i}^n \left[\prod_{j=i}^n P_j(x_j) \right] \left[\sum_{j=i}^n W_j(x_j) \right] \right\}$$

і, враховуючи те, що

$$\sum_{x_j \geq 0} \left[\prod_{j=i}^n P_j(x_j) \right] = 1,$$

отримаємо вираз для оцінки оптимальних умов функціонування систем діагностування зі змінними інтервалами циклів контролю:

$$\begin{aligned} F_i(\xi) &= \min_{x_i} \left\{ W_i(x_i) + \min_{x_j \geq 0} \sum_{j=i}^n \left[\prod_{j=i}^n P_j(x_j) \right] \times \right. \\ &\times \left. \left[\sum_{j=i+1}^n W_j(x_j) \right] \right\} = \min_{x_i} \left\{ W_i(x_i) + \sum_{x_j=0}^{\infty} P_i(x_i) F_{i+1}(x_i) \right\}. \end{aligned} \quad (16)$$

Висновки

Оптимізувати взаємодію між об'єктивним процесом зміни технічного стану і суб'єктивним процесом експлуатації можна, використовуючи комбіновану систему діагностування, яка передбачає керування ТС об'єкта зі змінними інтервалами циклів. Отримано залежності для оцінки оптимальних умов функціонування системи діагностування зі змінними інтервалами циклів. Витрати локалізування системи діагностування, які передбачають локалізацію за цикл декількох несправностей за виключенням накопичення, мало зростають, тому такий режим функціонування є виправданим і доцільним.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мозгалеvский А. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) учеб. пособие для вузов / А. В. Мозгалеvский, Д. В. Гаскаров. — М. : Высш. школа, 1975. — 207 с.
2. Технические средства диагностирования / [Клюев В. В., Пархоменко П. П., Абрамчук В. К. и др.] ; под общей ред. Клюева В. В. — М. : Машиностроение, 1989, — 672 с.
3. Склярв В. Ф. Диагностическое обеспечение энергетического производства / Склярв В. Ф., Гуляев В. А. — К. : Техника, 1985 — 184 с.
4. Кутін В. М. Метод визначення періодичності контролю і допустимих величин параметрів для систем діагностування / Кутін В. М. // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2004. — № 1. С. 36—38.
5. Афанасьев Н. А. Система технического обслуживания и ремонт оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система ТОРЭО) / Н. А. Афанасьев, Т. А. Юсипов. — М. : Энергоатомиздат, 1989. — 528 с.
6. Кутін В. М. Аналіз наявної системи діагностики електричних розподільних мереж і шляхи її вдосконалення / Василь Кутін, Василь Вашковський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 1999. — № 4. — С. 31—35.
7. Кутін В. М. Методика розрахунку ефективності комбінованої діагностичної системи керування розподільною мережею / Василь Кутін, Василь Вашковський // Вісник Вінницького політехнічного інституту — 2000. — № 6. — С. 29—37.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем

Надійшла до редакції 1.10.09
Рекомендована до друку 26.11.09

Лежнюк Петро Дем'янович — завідувач кафедри, **Глюхін Максим Олександрович** — аспірант.

Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет