

УДК 681.518

В. В. Кулик, канд. техн. наук, доц.;

М. О. Ілюхін, асп.

ОЦІНКА СТРАТЕГІЙ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДІЙ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Проведено оцінку ефективності стратегій проведення ремонтно-відновлювальних дій, аналізуючи питомі витрати на їх реалізацію. Отримано залежності для оцінки оптимальних умов функціонування системи діагностування зі змінними інтервалами циклів.

Вступ

Основною класифікаційною ознакою стратегії керування технічним станом об'єкта або його елементів прийнято вважати принцип прийняття рішень щодо проведення відновлювальних дій. Можливі три стратегії відновлення елементів: після відмови; попереджувальна за наробітком — після виконання визначеного обсягу робіт або часу використання елемента; попереджувальна за станом — за результатами контролю параметрів технічного стану, за станом з контролем рівня надійності.

Визначення роботоздатності складного об'єкта діагностування є однією із основних задач технічної діагностики. Розв'язання 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—3].

Вдосконалення систем діагностування передбачає створення комбінованої системи діагностування [5—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 локалізації змінюється від циклу до циклу. Зміна є наслідком різниці кількості і характеру несправностей, що підлягають локалізації, і відповідає умовам функціонування системи діагностування зі змінними інтервалами циклів. Це дозволяє оптимізувати об'єм дефектів, що накопичуються і зменшити інтенсивність відмов.

Результати досліджень

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

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

де $f(T)$ — щільність розподілу ймовірностей відмови елемента; T_H — час, через який потрібно проводити ремонтно-відновлювальні дії; T_{\min} — мінімальний час наробітку на відмову.

Середній наробіток до відмови за умови, що відмова відбулася до T_H ,

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

В цій системі технічного обслуговування та ремонту [3, 5, 6] періодичність технічного обслуговування визначається на основі нормативних документів, що не враховують специфіку та умови

експлуатації, яка реалізується 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. За такої системи діагностування завжди будуть втрати від відмов і недо-використаного ресурсу.

Мета роботи — дати оцінку ефективності існуючих стратегій проведення ремонтно-відновлювальних дій шляхом аналізу питомих витрат на їх реалізацію.

Середній використаний ресурс елемента з урахуванням відновлення через відмову і попере-джувальну 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 у разі відсутності неперервних витрат від зміни параметра елемента

$$W''_{\Pi} = \frac{W_o P(T_H) + W [1 - P(T_H)]}{\bar{T}} = \frac{(W_o - W) P(T_H) + W}{\bar{T}}, \quad (4)$$

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

Для визначення W розглянемо середню 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 x — кількість несправностей, що накопичуються; τ — час локалізації q несправностей; q — кількість несправностей, що виникли за час τ ; $f(x, \tau)$ — густина безумовного розподілу несправностей за час локалізації.

Середня кількість несправностей, які можуть з'явитись за час локалізації,

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

Якщо система діагностування передбачає локалізацію несправностей із k (k вибирається із $\xi + \gamma$) одиниць, тоді кількість переходів в режим діагностування за одиницю часу за частоти від-мов $\bar{\omega}$ складе $\bar{\omega}/k$ і середня кількість несправностей, які допускають локалізацію

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

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

Середнє значення витрат для розглянутих умов функціонування можна знайти з виразу

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

де B_o — витрати переходу в режим локалізації; B_i — середні витрати на локалізацію однієї неспра-вності; 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 обмежена кількість елементів, охоплених вибіркоким контролем, тому витрати на локалізацію будуть залежати і від математичного споді-вання кількості визнаних пошкодженими без додаткової обробки елементів (параметрів), тому вираз (8) набуде вигляду

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

де \bar{m} — математичне сподівання кількості 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 роботоzдатності і пошуком несправності у разі зміни роботоzдатності під час відновлювальних дій за результатами контролю параметрів технічного стану вважають [4], що розвиток відмови елемента пов'язаний 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 часу між двома діагностуваннями, навіть коли в момент попереднього контролю і виконувалась умова $\Pi_k < \Pi_d$ для параметра цього елемента.

Питомі витрати під час здійснення 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 $P(\Pi_k, T_k)$ — ймовірність відмови елемента за вибраними допустимими значеннями Π_d і міжконтрольного напрацювання T_k ; $K_d(\Pi_d, T_k)$ — середня кількість перевірок параметра елемента за час його роботи; W_d — витрати на діагностування; $T_{\Phi}(\Pi_d, T_k)$ — середнє напрацювання елемента до відновлення за результатами контролю або через відмову.

Для першої системи діагностування із (4) можна зробити такі висновки, що в цьому 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 цьому випадку (10) можна зменшити втрати і від відмов від недовикористаного ресурсу одночасно, при цьому тим більшою мірою, чим нижчий 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 неруйнівними методами; друга — стрибкоподібна зміна параметрів ТС окремих елементів.

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:

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

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

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

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

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

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

де

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

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

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

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

Враховуючи (13), отримаємо:

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

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

В 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

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

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:

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

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 з виключенням накопичення мало зростають, тому такий режим функціонування є виправданим і доцільним.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мозгалевский А. В. Техническая диагностика (непрерывные объекты) : учеб. пос. для вузов / А. В. Мозгалевский, 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. Скляр В. Ф. Диагностическое обеспечение энергетического производства / В. Ф. Скляр, В. А. Гуляев. — К. : Техника, 1985 — 184 с.
4. Кутін В. М. Метод визначення періодичності контролю і допустимих величин параметрів для систем діагностування / В. М. Кутін // 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

Стаття надійшла до редакції 23.02.11
Рекомендована до опублікування 4.03.11

Кулик Володимир Володимирович — доцент, **Ілюхін Максим Олександрович** — аспірант.
Кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця