

УДК 621.396.6

Л. М. САКОВИЧ, канд. техн. наук, доцент;

Ю. С. ВАСИЛЮК,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУУ «КПІ»

МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ З КОМПЛЕКСНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇЇ НАДЛИШКОВОСТІ

Запропоновано методику, що формалізує процес розробки діагностичного забезпечення поточного ремонту техніки зв'язку із комплексним використанням усіх видів її надлишковості на основі застосування вперше здобутих функціональних залежностей кількісного оцінювання показників якості умовних алгоритмів діагностування від керованих змінних.

Ключові слова: надлишковість; техніка зв'язку; діагностичне забезпечення; ремонтпридатність.

Вступ

Техніка зв'язку (ТЗ) безперервно вдосконалюється в напрямку розширення функціональних можливостей, що призводить до її подальшого ускладнення. При цьому вимоги до ремонтпридатності ТЗ лишаються незмінні. Усунути цю суперечність можна вдосконаленням діагностичного забезпечення (ДЗ), що не вимагає значних витрат.

Утім і досі ще немає не тільки інженерних методів, а й теоретичних розробок стосовно аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, зумовленою їх багатофункціональністю. Тому забезпечення необхідного рівня надійності систем із реконфігурацією структури являє собою новий перспективний напрямок у розвитку теорії надійності складних технічних систем [1].

Мета статті — формалізація процесу розробки ДЗ на етапах проектування та експлуатації ТЗ.

Основна частина

Пропонована методика охоплює розробку діагностичного забезпечення перспективних та існуючих зразків ТЗ, яке задовольняє вимоги щодо ремонтпридатності при поточному ремонті (ПР) виробів агрегатним методом у ремонтних органах (РО).

Структурну схему цієї методики наведено на рис. 1, де використано такі позначення: ЗД — засоби діагностування; ЗВ — засоби вимірювання; УАД — умовні алгоритми діагностування; ТЕЗ — типові елементи заміни.

Вихідні дані отримують із технічного опису зразка ТЗ, відповідних інструкцій щодо експлуатації та технічного обслуговування, із завдання на розробку ДЗ, даних про ремонт аналогічних зразків ТЗ та організаційно-штатну структуру РО. Наявні обмеження та припущення повною мірою відповідають умовам відновлення роботоздатності ТЗ у РО.

На етапі проектування ТЗ, коли йдеться про реалізацію ПР агрегатним методом і діагностування з використанням УАД мінімальної форми, математичне сподівання (МС) відхилення діагнозу від істинного визначається виразом

$$\rho = (Z/l + \log_2 Z - \log_2 l - 1)(1 - p)p^{\log_2 Z - \log_2 l - 1} \leq 0,5,$$

де Z — кількість електрорадіоелементів (ЕРЕ) у зразку ТЗ; l — кількість ЕРЕ в ТЕЗ; p — імовірність правильного оцінювання результату виконання перевірки.

Звідси в разі відомого значення p знаходимо мінімально припустиму кількість ЕРЕ в ТЕЗ. Для готового виробу за значенням l обґрунтовуємо вимоги до ЗВ (мінімально необхідне значення p).

За наявності почасової надлишковості, коли розрахункове значення середнього часу $T_{\text{в}}$ відновлення ТЗ менше від припустимого значення $T_{\text{в,п}}$, можливе підвищення ймовірності правильної постановки діагнозу повторенням r перших перевірок або кожної з них [2; 3]. Звідси при $T_{\text{в}} \leq T_{\text{в,п}}$ можливе обґрунтування мінімально необхідного значення p , що зменшує вартість використовуваних ЗВ.

Якщо при аналізі структури об'єкта встановлено, що він належить до класу БВО, то можливе скорочення використовуваної при діагностуванні кількості перевірок з одночасним аналізом показів умонтованих ЗД, що призводить до мінімізації значення середньої кількості K перевірок і, відповідно, $T_{\text{в}}$.

У загальному випадку вираш обчислюється згідно з виразом

$$\eta = \frac{(1 + \log_2(n+1))(n+1) + n((\omega-1)(0,5\omega+1 + \log_2 n) - 1)}{(1+n\omega)\log_2(1+n\omega)},$$

де n — кількість елементів у гілках БВО; ω — кількість виходів ТЗ, включаючи контрольні точки для вимірювання значень діагностичних параметрів.

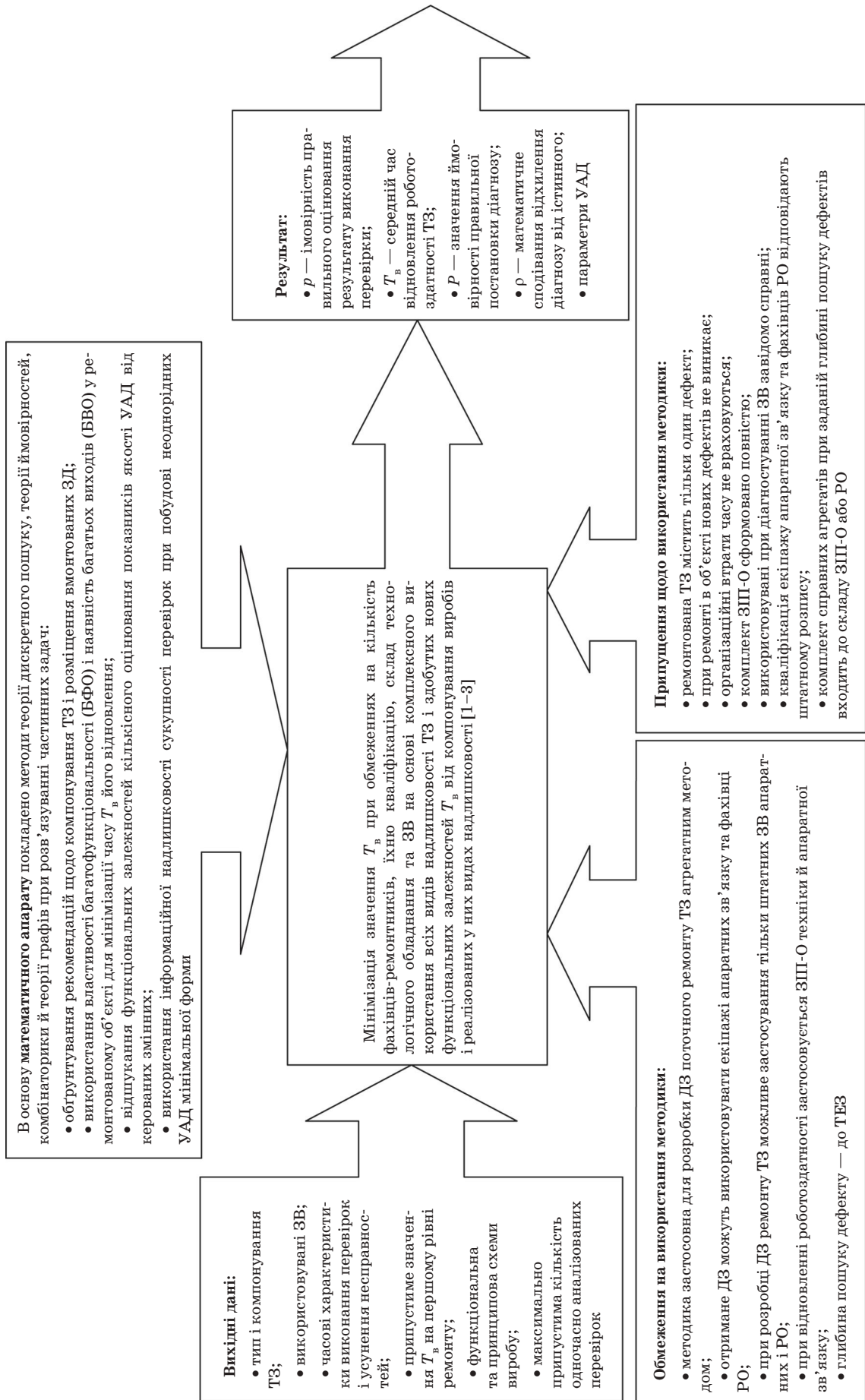


Рис. 1. Структура методики розробки діагностичного забезпечення поточного ремонту техніки зв'язку з комплексним використанням її надлишковості

Тоді МС відхилення діагнозу від істинного визначається так:

$$\rho = \frac{2}{L} \left[p_1^{K_1-1} (1-p_1) p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left(\frac{2^{i-1}}{2} \cdot \frac{L}{2^i} \left(1 + \frac{L}{2^L} \right) \right) + p_1^{K_1} (1-p_2) p_2^{K_2-1} \sum_{i=1}^{K_2} \left(\frac{2^{K_1+i-1}}{2} \cdot \frac{L}{2^{K_1+i}} \left(1 + \frac{L}{2^{K_1+i}} \right) \right) \right] =$$

$$= 0,5 \left[(K_1 + L - 2^{K_2}) p_1^{K_1-1} (1-p_1) p_2^{K_2} + (K_2 + 2^{K_2} - 1) p_1^{K_1} (1-p_2) p_2^{K_2-1} \right],$$

де K_1 і K_2 — середня кількість перевірок відповідно вмонтованими та зовнішніми ЗД;

p_1 і p_2 — значення ймовірності правильного оцінювання результату вимірювання параметрів відповідно вмонтованими та зовнішніми ЗД;

при цьому середній час відновлення

$$T_B = [(K_1 + 1,4K_2)t + t_v] / p_1^{K_1} p_2^{K_2} \leq T_{B,П},$$

де t — середній час виконання перевірки;

t_v — середній час усунення несправності.

Подальше об'єднання перевірок із бінарною або десятковою оцінкою стану сукупності вихідних сигналів об'єкта дозволяє перейти до побудови неоднорідних УАД мінімальної форми, що поліпшує показники ДЗ: знижує значення ρ і T_B , підвищує P .

Кількісне оцінювання МС відхилення діагнозу від істинного при пошуку дефектів за неоднорідним УАД мінімальної форми здійснюється згідно з виразами:

- із попередньою перевіркою значень π вихідних сигналів

$$\rho = \frac{(1-p_1^\pi) p_2^{K-1}}{(M-1)!} \sum_{j=1}^{(M-1)!} j + p_1^\pi (1-p_2) p_2^{K-2} \sum_{i=2}^K \left(\frac{1}{(M-i)!} \sum_{j=1}^{(M-i)!} j \right) =$$

$$= 0,5 \left[(1-p_1^\pi) (1+K!) p_2^{K-1} + p_1^\pi (1-p_2) p_2^{K-2} \left(K-1 + \sum_{i=2}^{K-1} i! \right) \right];$$

- при постійному значенні ймовірності правильного оцінювання параметра

$$\rho = (1-p) p^{K-1} \sum_{i=1}^K \left(\frac{1}{(M-i)!} \sum_{j=1}^{(M-i)!} j \right) = 0,5 (1-p) p^{K-1} \left(K + \sum_{i=1}^K i! \right); p = \text{const}; M = K + 1;$$

- при зменшенні значення p зі збільшенням кількості π одночасно оцінюваних індикаторів

$$\rho = \sum_{i=1}^K \left[\frac{(1-p_i)}{(M-i)!} \left(\prod_{z=1}^{K-1} p_z \right) \sum_{j=1}^{(M-i)!} j \right] = 0,5 \sum_{i=1}^K \left[(1-p_i) (1+(M-i)!) \prod_{z=1}^{K-1} p_z \right]; z \neq i; p = \text{const};$$

- при використанні на першому етапі діагностування однорозрядних десяткових індикаторів оцінювання стану груп елементів

$$\rho(p_1 \neq p_2) = (1-p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left(\frac{1}{(M-i)!} \sum_{j=1}^{(M-i)!} j \right) + (1-p_2) p_2^{K_2-1} p_1^{K_1} \sum_{i=K_1+1}^{K_1+K_2} \left(\frac{1}{(M-i)!} \sum_{j=1}^{(M-i)!} j \right) =$$

$$= 0,5 \left[(1-p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1+(M-i)!) + (1-p_2) p_2^{K_2-1} p_1^{K_1} \sum_{i=K_1+1}^K (1+(M-i)!) \right];$$

- при використанні на першому етапі діагностування однорозрядних індикаторів, а на другому етапі — бінарних УАД

$$\rho(p_1 \neq p_2) = 0,5 \left[(1-p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1+(M-i)!) + (1-p_2) p_2^{K_2-1} p_1^{K_1} (2^{K_2} + K_2 - 1) \right];$$

- при оцінюванні стану груп елементів за вмонтованими бінарними індикаторами, об'єднаними у групи, і використанні УАД зі зменшенням модуля вибору на завершальному етапі пошуку дефектів

$$\rho(p_1 \neq p_2) = 0,5 \left[p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left[(1-p_i(\pi_i)) (1+(M-i)!) \prod_{z=1}^{K_1-1} p_1(\pi_z) \right] + (1-p_2) p_2^{K_2-1} \prod_{j=1}^{K_1} p_1(\pi_j) \sum_{i=K_1+1}^K (1+(M-i)!) \right], z \neq i;$$

- в аналогічному випадку при використанні на другому етапі діагностування бінарних УАД

$$\rho(p_1 \neq p_2) = 0,5 \left[p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left[(1 - p_i(\pi_i))(1 + (M - i)!) \prod_{z=1}^{K_1-1} p_1(\pi_z) \right] + (2^{K_2} + K_2 - 1)(1 - p_2) p_2^{K_2-1} \prod_{j=1}^{K_1} p_1(\pi_j) \right]; z \neq i; m = 2;$$

- при повторі перших r перевірок за бінарним УАД мінімальної форми

$$\rho = \frac{2(1-p)^r p^{K-r-1}}{L} \left[(1-p)^2 \sum_{i=1}^r \left(2^{i-1} \sum_{j=1}^{L/2^i} j \right) + (1-p) \sum_{i=r+1}^K \left(2^{i-1} \sum_{j=1}^{L/2^i} j \right) \right] = 0,5(2-p)^r [L + K - 1 - p(L + r - 2^{K-r})] g p^{K-1};$$

- при повторному виконанні кожної перевірки за бінарним УАД мінімальної форми ($r = K$)

$$P = [p(2-p)]^K = (2-p)^K p^K; T_{в.п} = (2Kt + t_y) / ((2-p)^K p^K); \rho(r=K) = 0,5(2-p)^K (L + K - 1) g^2 p^{K-1},$$

де m — модуль вибору УАД; M — максимальне значення модуля вибору.

Для БФО їх поділ при діагностуванні на $R > 1$ рівновеликих підмножин елементів також знижує значення T_b і зменшує відхилення діагнозу в γ раз:

$$T_{вR} = \left(t \log_2 \frac{L}{R} + t_y \right) / p^{K - \log_2 R}; L = \bigcup_{r=1}^R L_r; \bigcap_{r=1}^R L_r = \emptyset; \gamma = \frac{\rho(L)}{\rho(L/R)} = \frac{L + K - 1}{L/R + K - 1 - \log_2 R},$$

де L — кількість ТЕЗ у зразку ТЗ.

Застосування теоретико-множинної моделі об'єкта дозволяє використовувати граф-схемне подання УАД, що призводить до зменшення значення K .

Здобуті нові функціональні залежності використано при формалізації процесу розробки ДЗ поточного ремонту ТЗ у вигляді схеми алгоритму, наведеного на рис. 2.

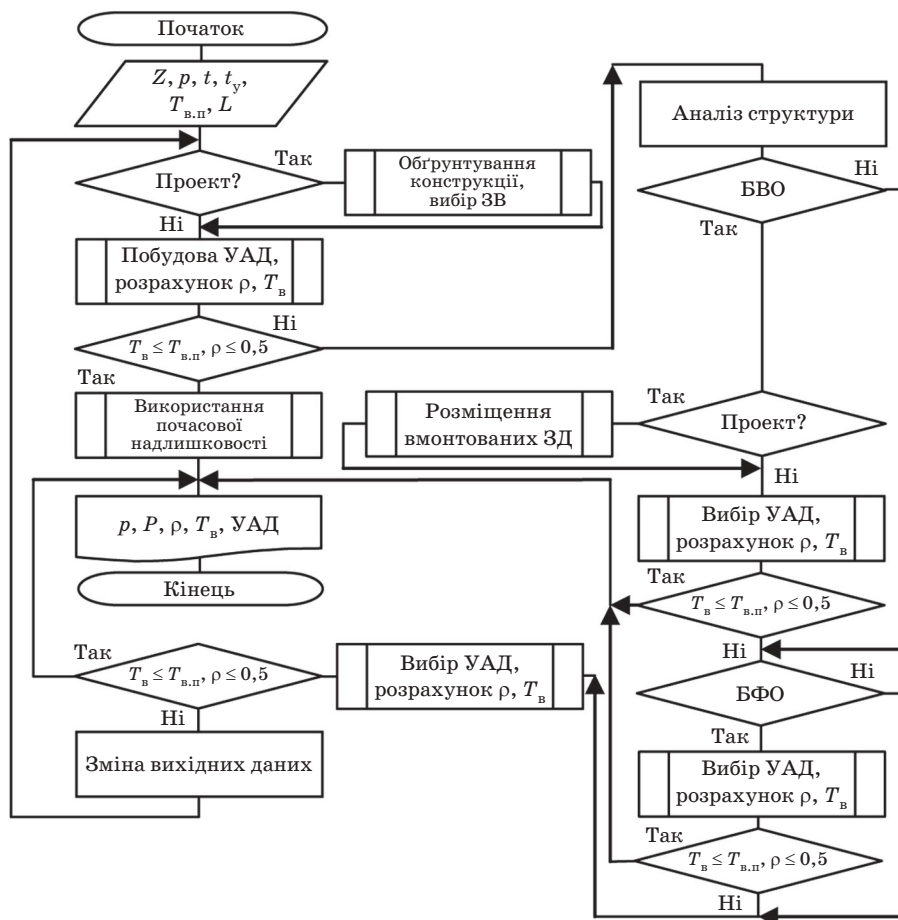


Рис. 2. Схема алгоритму реалізації методики розробки діагностичного забезпечення поточного ремонту техніки зв'язку з комплексним використанням її надлишковості

Запропонована послідовність операцій дозволяє за необхідності обґрунтувати вимоги до ЗВ і мінімізувати їхню вартість.

Розглянемо порядок використання методики при розробці ДЗ блока живлення збуджувача радіостанції. Блок складається з $L = 63$ елементів (рис. 3). Припустимий середній час відновлення

роботоздатності $T_{в.п} \leq 30$ хв. При діагностуванні можливі перевірки елементів: покази вмонтованого приладу ($t_1 = 0,5$ хв), перевірка запобіжника ($t_2 = 1$ хв), вимірювання напруги всередині блока ($t_3 = 4$ хв). Вимірювання виконуються ЗВ загального призначення — універсальним вольтметром ($p = 0,985$) [4; 5]. Середній час усунення несправності $t_y = 6$ хв. Ремонт блока в польових умовах здійснюється одним майстром в апаратній технічному забезпечення.

Діагностичну модель об'єкта у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків наведено на рис. 4, а УАД, побудований за методикою [4], — на рис. 5. Здобутий УАД дозволяє виявити будь-який дефект після виконання в середньому $K = 8$ перевірок. Оскільки 14 значень вихідних напруг перевіряються вмонтованим індикаторним приладом, а запобіжники й напруга всередині блока — комбінованим приладом, то середній час виконання перевірки

$$t = (14 \cdot 0,5 + 12 \cdot 1,0 + 34 \cdot 4) / (14 + 12 + 34) = 2,6 \text{ (хв.)}$$

У такому разі ймовірність правильної постановки діагнозу [4; 5] $P = p^K = 0,985^8 = 0,885$, а МС відхилення діагнозу від істинного

$$\rho = 0,5(L + K - 1)(1 - p)p^{K-1} = 0,5(63 + 8 - 1)(1 - 0,985)0,985^7 = 0,472 < 0,5$$

не перевищує припустимого значення, а середній час відновлення

$$T_{в} = (Kt + t_y) / P = (8 \cdot 2,6 + 6) / 0,885 = 30,3 \text{ (хв)}$$

виходить за припустимі межі $T_{в.п} \leq 30$ хв. Очевидно, що використовувати цей УАД при розробці ДЗ поточного ремонту блока живлення сенсу немає.

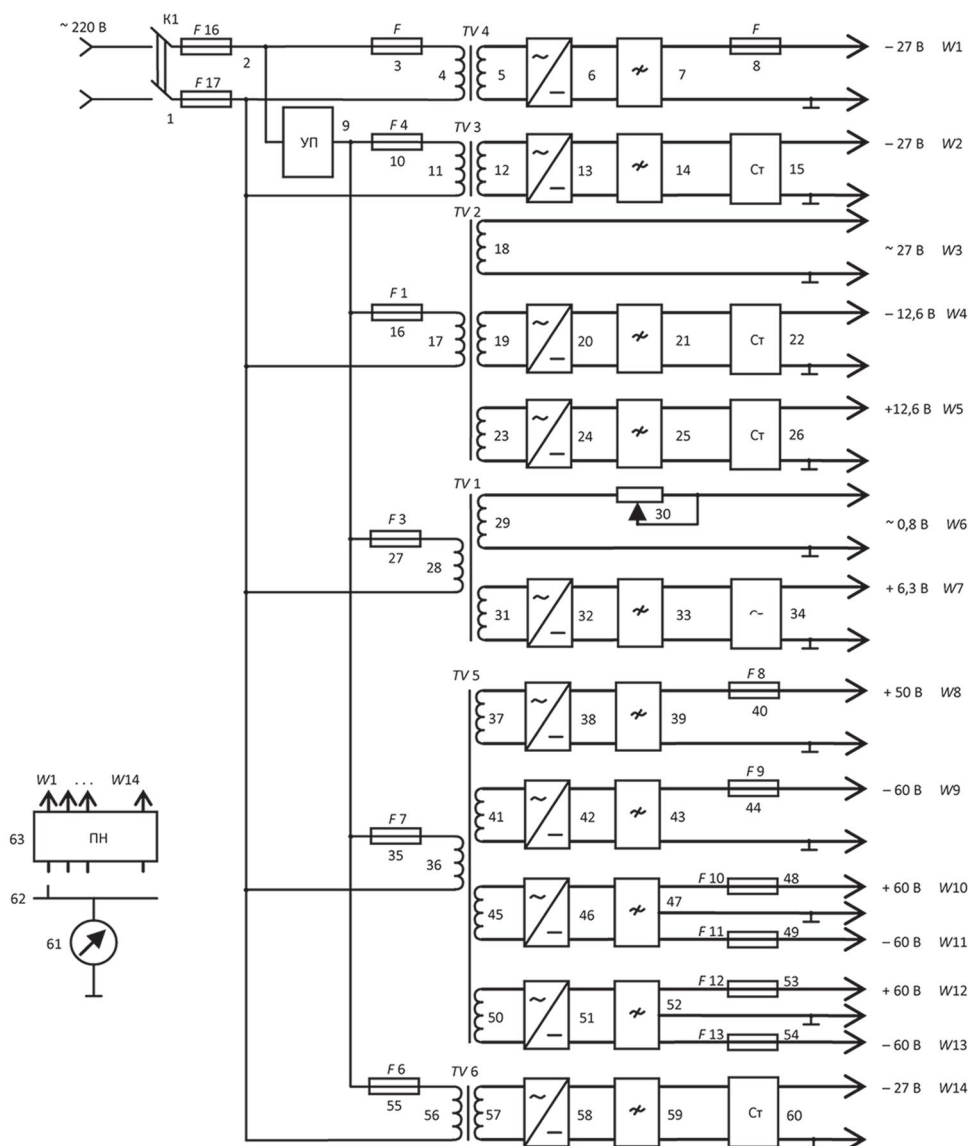


Рис. 3. Функціональна схема блока електроживлення

Аналіз структури об'єкта показує, що він є БВО, причому однофункціональний, тому при розробці УАД доцільно використовувати конструктивну, інформаційну й структурну надлишковість від об'єднання перевірок вихідних напруг. Нехай максимальне значення модуля вибору неоднорідного УАД $M = 6$ при одночасному аналізі результатів виконання $\pi = 3$ перевірок, тоді вихідний УАД (див. рис. 5) набирає вигляду згідно з рис. 6. При цьому середня кількість перевірок $K = 4,49$.

Об'єднавши результати контролю вихідних напруг, дістаємо:

$$t' = (0,5 \cdot 3 \cdot 4 + 0,5 \cdot 2 + 11 \cdot 1,0 + 30 \cdot 4,0) / (4 + 1 + 11 + 30) = 3,0 \text{ (хв)}; P' = 0,985^{4,49} = 0,934;$$

$$\rho' = 61(0,126 \cdot 61 - 7,94 \cdot 10^{-4} \cdot 61^2 + 3,3)10^{-3} = 0,49; T'_B = (4,49 \cdot 3 + 6) / 0,934 = 20,8 \text{ (хв)}.$$

Неоднорідний УАД (див. рис. 6), отриманий з урахуванням інформаційної надлишковості групи перевірок і багатовихідної структури об'єкта, повністю задовольняє поставлені вимоги і може бути використаний при розробці ДЗ.

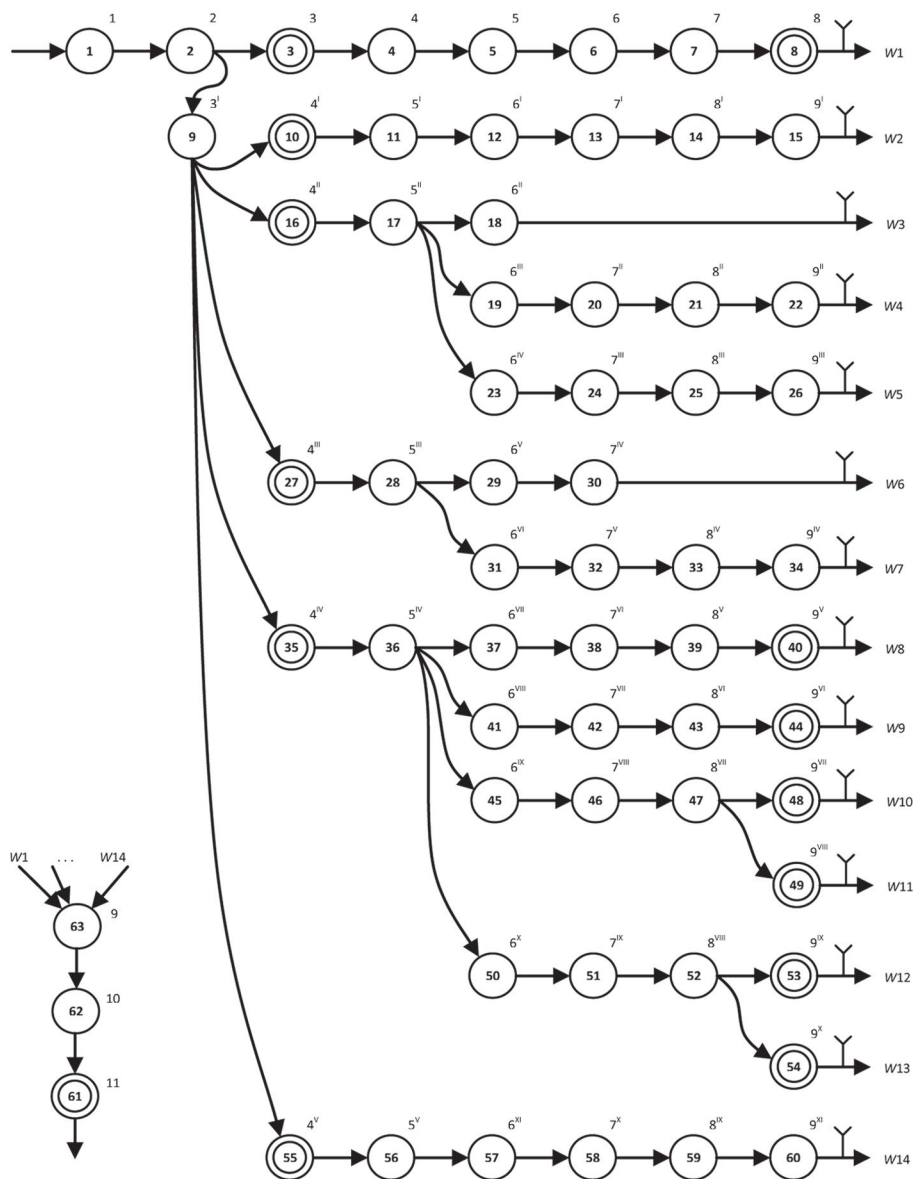
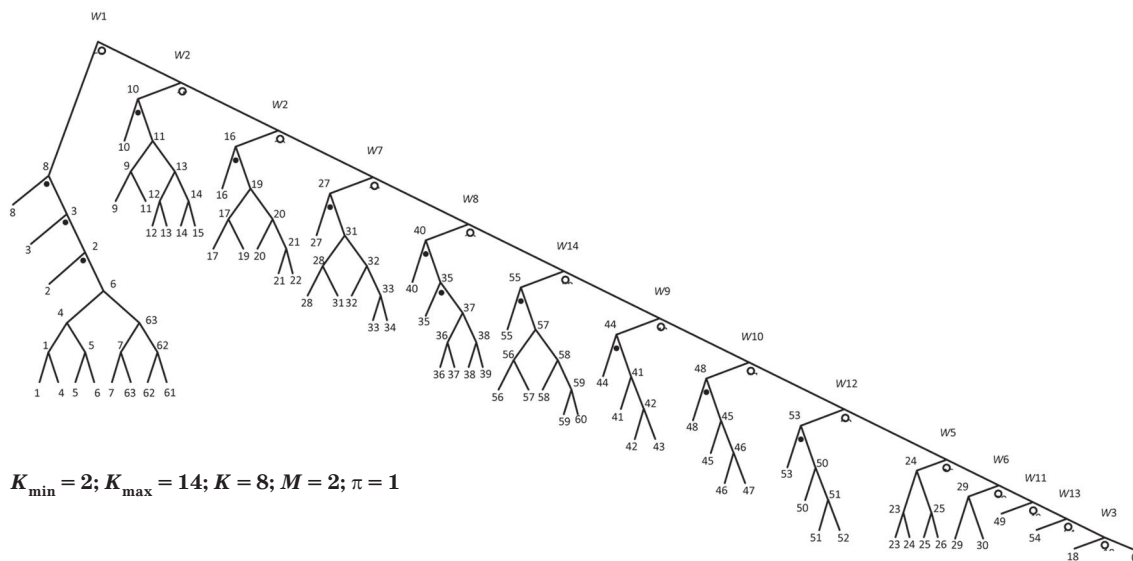


Рис. 4. Діагностична модель об'єкта у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків

Оцінювання ефективності використання методики здійснюється за відносним зменшенням значення T'_B :

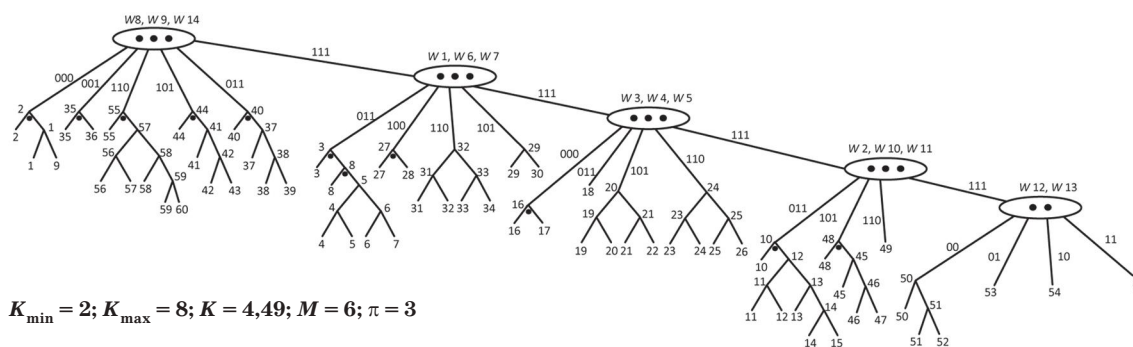
$$\eta = (T_B - T'_B) / T_B = (30,3 - 20,8) / 30,3 = 0,31.$$

Отже, застосування методики при розробці ДЗ дозволило на 31% знизити значення T'_B блока електроживлення, що сприяє підвищенню пропускну здатності РО як у польових, так і в стаціонарних умовах роботи.



$K_{\min} = 2; K_{\max} = 14; K = 8; M = 2; \pi = 1$

Рис. 5. Бінарний умовний алгоритм діагностування



$K_{\min} = 2; K_{\max} = 8; K = 4,49; M = 6; \pi = 3$

Рис. 6. Неоднорідний умовний алгоритм діагностування

При модернізації виробу доцільно вмонтований стрілочний прилад і перемикач на 14 положень замінити цифровим десятковим індикатором і перемикачем на п'ять положень (відповідно до алгоритму, поданого на рис. 7), а вимірювання напруг усередині блока також виконувати цифровим комбінованим приладом. Тоді при виконанні перевірок імовірність правильного оцінювання їх результату підвищиться до значення $p = 0,997 [1; 4; 5]$, що призведе до зменшення значення середнього часу відновлення ще на 5% (рис. 8):

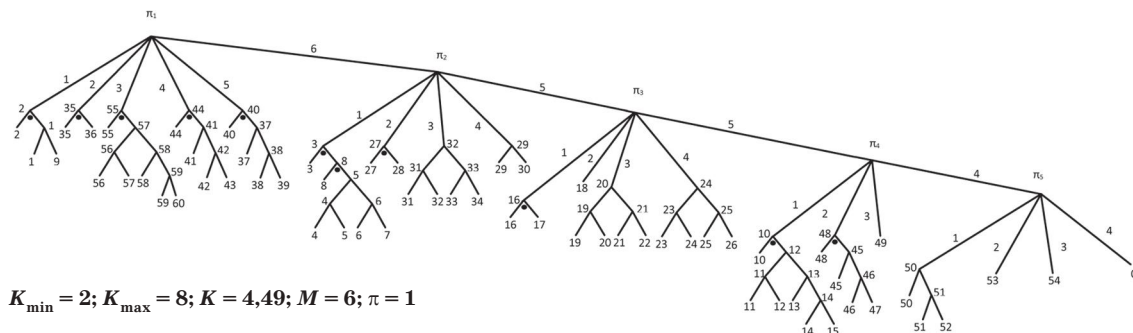
$$t'' = (0,5 \cdot 5 + 11 \cdot 1,0 + 30 \cdot 4,0) / (5 + 11 + 30) = 2,9 \text{ (хв)}; P'' = 0,997^{4,49} = 0,987;$$

$$T_B'' = (4,49 \cdot 2,9 + 6) / 0,987 = 19,3 \text{ (хв)}; \eta' = \frac{30,3 - 19,3}{30,3} \cdot 100 = 36,3\%,$$

а значення ρ порівняно з першим варіантом (див. рис. 5) зменшиться в 315 разів:

$$\rho'' = (0,65 \cdot 10^{-3} \cdot 61^2 - 3,85 \cdot 10^{-6} \cdot 61^3 - 26 \cdot 10^{-3} \cdot 61 + 0,55) 61 \cdot 0,003 \cdot 0,997^{3,5} = 0,0015.$$

Траєкторію процесу вибору варіанта ДЗ поточного ремонту блока живлення наведено на рис. 8.



$K_{\min} = 2; K_{\max} = 8; K = 4,49; M = 6; \pi = 1$

Рис. 7. Неоднорідний умовний алгоритм діагностування модернізованого блока живлення

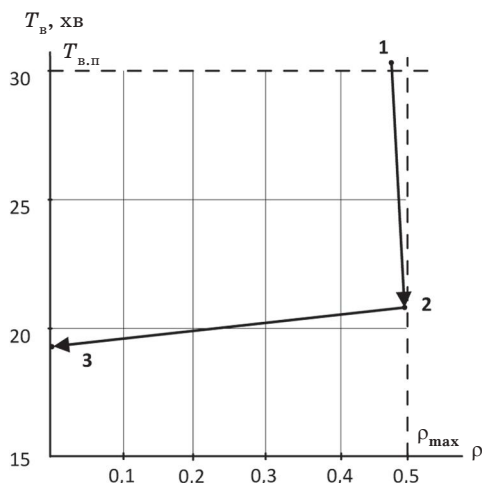


Рис. 8. Траскторія процесу вибору варіанта діагностичного забезпечення поточного ремонту блока живлення

Висновки

◆ Наукова новизна запропонованої методики полягає у формалізації процесу розробки ДЗ поточного ремонту ТЗ із комплексним використанням усіх видів її надлишковості на основі застосування вперше отриманих функціональних залежностей, якими кількісне оцінювання показників якості УАД пов'язана з керованими змінними.

◆ Методика, на відміну від усіх відомих [4], спирається на цілком оригінальний порядок розробки ДЗ із урахуванням специфічних особливостей об'єктів, зумовлених наявністю в них різних видів надлишковості.

◆ Методика являє собою основу аналітичних і алгоритмічних засобів розробки ДЗ поточного ремонту ТЗ в умовах РО. Її доцільно використовувати в проектних організаціях при розробці експлуатаційної документації перспективних зразків ТЗ, а також у РО для підвищення ефективності ДЗ існуючих зразків.

Література

1. Половко, А. М. Основы теории надежности.— 2-е изд. / А. М. Половко, С. В. Гуров.— СПб.: БХВ-Петербург, 2006.— 704 с.
2. Сакович, Л. Н. Использование избыточности техники связи для повышения эффективности диагностирования / Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк // Зв'язок.— 2007.— № 2.— С. 54–57.
3. Сакович, Л. Н. Методика визначення вимог щодо метрологічних характеристик засобів вимірювання діагностичних параметрів техніки зв'язку для забезпечення її ремонтпридатності / Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк // Зв'язок.— 2015.— № 3.— С. 47–53.
4. Ксенз, С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств / С. П. Ксенз.— М.: Радио и связь, 1989.— 248 с.
5. Острейковский, В. А. Теория надежности.— М.: Высш. шк., 2003.— 463 с.

Рецензент: доктор техн. наук, професор В. В. Вишнівський, Державний університет телекомунікацій, Київ.

Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ТЕХНИКИ СВЯЗИ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЕЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ

Предложена методика, формализующая процесс разработки диагностического обеспечения текущего ремонта техники связи с комплексным использованием всех видов ее избыточности на основе впервые полученных функциональных зависимостей количественной оценки показателей качества условных алгоритмов диагностирования от управляемых переменных.

Ключевые слова: избыточность; техника связи; диагностическое обеспечение; ремонтпригодность.

L. M. Sakovych, Yu. S. Vasilyuk

METHOD OF DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC PROVIDING OF PERMANENT REPAIR OF TECHNIQUE OF CONNECTION IS WITH THE COMPLEX USE OF ITS SURPLUS

A method which formalizes a development of the diagnostic providing of permanent repair of technique of connection process with the complex use of all of kinds it is offered to surplus on the basis of application of the first got functional dependences quantitative estimation of indexes of quality of conditional algorithms of diagnosticating from guided variables.

Keywords: surplus; technique of connection; diagnostic providing; maintainability.