

УДК 621.396.6

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

Ю. С. ВАСИЛЮК,

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

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВИМОГ ЩОДО МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ

На основі комплексного використання всіх видів надлишковості техніки зв'язку та здобутих нових функціональних залежностей показників діагностичного забезпечення її поточного ремонту агрегатним методом від застосованого способу компоновання діагностованих виробів формалізовано процес визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильного оцінювання результату вимірювання діагностичних параметрів того чи іншого виробу.

Ключові слова: техніка зв'язку; метрологічні характеристики; засіб вимірювання; ремонтпридатність; середній час відновлення.

Вступ

Підвищення функціональних можливостей техніки зв'язку (ТЗ) призводить до її постійного ускладнення, а це, у свою чергу, вимагає впровадження нових видів відновлення роботоздатності ТЗ у разі її відмови. Вартість відновлення роботоздатності залежить передусім від засобів вимірювання (ЗВ), використовуваних для діагностування. Тому постає потреба в науковому обґрунтуванні можливості використання ЗВ із мінімально необхідними значеннями метрологічних характеристик. У відомих працях при розв'язанні цього завдання не враховуються властивості надлишковості ТЗ, що тягне за собою збільшення вартості ЗВ і тривалості пошуку дефектів у процесі ремонту [1; 2].

Пропонується збільшити кількість видів алгоритмів діагностування, задіяних під час поточного ремонту (ПР) [3–7], із комплексним використанням надлишковості ТЗ, аби забезпечити мінімально необхідні значення характеристик ЗВ.

У статті завдяки використанню нових функціональних залежностей показників діагностичного забезпечення (ДЗ) від способу компоновання виробів розроблено методику визначення вимог до метрологічних характеристик ЗВ діагностичних параметрів (ДП) ТЗ для забезпечення її ремонтпридатності.

Основна частина

Зазначена методика дає змогу обґрунтувати задання окремих метрологічних характеристик ЗВ, використовуваних при ПР ТЗ агрегатним методом, із метою мінімізації вартості обладнання апаратних зв'язку й ремонтних органів (РО) за встановлених обмежень на необхідне значення середнього часу $T_{в}$ відновлення ТЗ.

Як відомо, клас точності, ціна поділки, вартість ЗВ істотно залежать від ймовірності p правильної оцінки виконання перевірки, що, у свою чергу, впливає на показники ремонтпридатності ТЗ — математичне сподівання (МС) відхилення діагнозу від істинного, ймовірність P правильної постановки діагнозу та середній час $T_{в,р}$ відновлення роботоздатності. Тому кількісна оцінка ймовірності p — це головна метрологічна характеристика ЗВ. Значення решти метрологічних характеристик ЗВ визначається за відомими методиками [1; 8; 9].

Структурну схему розробленої методики унаочнює рис. 1, де використано такі позначення:

УАД — умовний алгоритм діагностування;

ЗД — засоби діагностування;

μ — кількість фахівців у РО (μ_d — допустима кількість фахівців у РО);

K — середня кількість перевірок при пошуку дефекту;

L — кількість типових елементів заміни (ТЕЗ) у ТЗ;

ρ_i — МС відхилення діагнозу від істинного на рівні i ;

ω — кількість виходів ТЗ, включаючи контрольні точки для вимірювання значень ДП;

R — кількість режимів роботи зразка ТЗ;

π — кількість одночасно оцінюваних ДП умонтованими ЗД.

Вихідні дані отримуємо з технічного опису ТЗ, завдання на розробку ДЗ, аналізу передбачуваних умов ремонту, а також даних про ремонт аналогічних зразків техніки в РО.

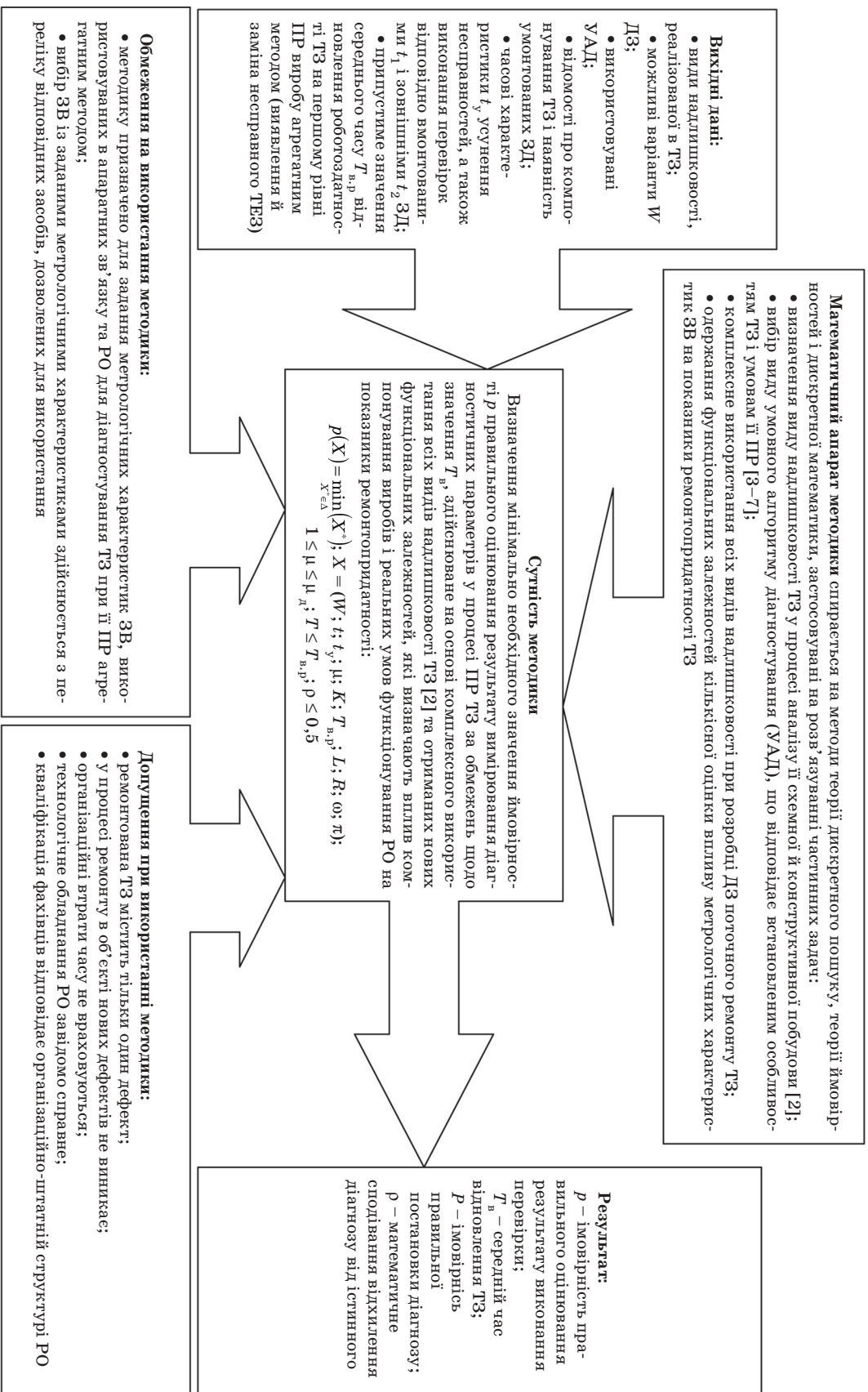


Рис. 1. Структура методик визначення вимог до метрологічних характеристик засобів вимірювання діагностичних параметрів техніки зв'язку для забезпечення її ремонтопридатності

Етапи реалізації розробленої методики наведено в табл. 1. Використовувані в методиці нові функціональні залежності подано в табл. 2–5, де використано такі позначення:

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

p_1 і p_2 — значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметрів відповідно вмонтованими та зовнішніми ЗД;

M — максимальне значення модуля вибору УАД.

Таблиця 1

Етапи методики визначення метрологічних характеристик засобів вимірювання діагностичних параметрів техніки зв'язку згідно з вимогами щодо ремонтпридатності

№ з/п	Етап методики	Використані залежності та схеми алгоритмів	Результат
1	Одержання вихідних даних	Технічний опис ТЗ, завдання на розробку ДЗ, аналіз передбачуваних умов ремонту, а також даних про ремонт аналогічних зразків техніки в РО	$L, T_{в.р}, t, t_y, \Delta p$
2	Аналіз особливостей схемної та конструктивної побудови ТЗ	—	W
3	Визначення наявності видів надлишковості та вибір відповідних варіантів УАД	Варіанти діагностування ТЗ згідно з табл. 2. Характеристики ДЗ згідно з табл. 4	Види надлишковості, варіант УАД
4	Задання мінімального значення ρ і розрахунок кількісних показників ДЗ	Узагальненні відомості про безпомилковість виконання вимірювальних операцій [8], а також дані табл. 2–5	$\rho \geq 0,65$ P, T_b, ρ
5	Перевірка результатів на відповідність вимогам	—	$T_b \leq T_{в.р}; \rho \leq 0,5$
6	За негативного результату збільшення значення ρ і повтор операцій	$\rho = \rho + \Delta \rho$	$\min \rho$
7	За неможливості розв'язання задачі зміна виду УАД	Кількісні характеристики варіантів ДЗ згідно з табл. 2	Варіант УАД
8	У разі задоволення вимог до значень T_b і ρ вивід результатів і перехід до кількісного оцінювання параметрів наступного варіанта ДЗ	Дані табл. 2–5	$\rho_i, P_i, T_{bi}, \rho_i$
9	Порівняльний аналіз кількісних характеристик реалізованих варіантів ДЗ і вибір найкращого з них	Дані табл. 2	ρ, P, T_b, ρ
10	Попередній вибір ЗВ	[8]	ρ
11	Остаточний вибір конкретних типів ЗВ	Відомі методики [8; 9]	Метрологічні характеристики ЗВ

Розглянемо порядок використання методики на прикладі блока групового обладнання багатоканальної системи передавання.

Об'єкт складається з $L = 32$ ТЕЗ; $T_{в.р} \leq 20$ хв; $t = 2$ хв; $t_y \leq 5$ хв; $K = 5,47$; розрахункові значення $\rho = 0,427$ і $\rho_{\min} = 0,973$.

Модифікований УАД з об'єднанням індикаторів у групи наведено на рис. 2, де $K = 3,47$.

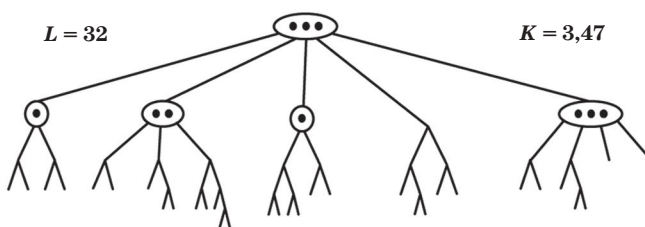


Рис. 2. Модифікований умовний алгоритм діагностування

Останнє значення цілком достатнє. При цьому значення T_b скоротилось на 8,7%, а МС відхилення діагнозу від істинного зменшилось удвічі.

Визначимо мінімально припустиме значення ймовірності правильного оцінювання результату перевірки за умови виконання нерівності $T_b \leq T_{в.р}$:

$$T_b = (3,47 \cdot 1,7 + 5) / 0,966 \cdot 0,9855 \cdot p^{3,47-2} \leq 20 = T_{в.р}; \quad p \geq [0,5724]^{0,68} = 0,684.$$

Тут повністю задовольняються вимоги до ДЗ ПР стосовно середнього часу відновлення $T_b = (3,47 \cdot 1,7 + 5) / 0,966 \cdot 0,9855 \cdot 0,684^{1,47} = 20$ (хв) навіть у разі використання на завершальних кроках діагностування більш дешевих аналогових вимірювачів рівня сигналу.

Утім, при цьому виключається можливість реалізації ремонту агрегатним методом:

$$\rho = 0,5 \left[0,684^{1,47} \left((1 - 0,966) \cdot 25 \cdot 0,9855 + (1 - 0,9855) \cdot 7 \cdot 0,966 \right) + (1 - 0,684) 0,684^{1,47} \cdot 0,966 \cdot 0,9855 \cdot (2 + 0,47) \right] = 0,6752 > 0,5.$$

Інші можливі варіанти реалізації ДЗ наведено на рис. 3 і в табл. 2–5.

Таблиця 2

Варіанти W діагностування при використанні структурної та інформаційної надлишковості об'єкта

Варіант	Вмонтовані засоби			Зовнішні засоби		
	K_1	p_1	Вид алгоритму [3–7]	K_2	p_2	Вид алгоритму [3–7]
1	K_1	p_1	Бінарний із бінарною оцінкою параметрів	K_2	p_2	Бінарний із бінарною оцінкою параметрів
2	ω	p_1	Безумовний із безумовною зупинкою та бінарною оцінкою параметрів	$M-1$	p_2	Неоднорідний зі зменшенням модуля вибору
3	K_1	$p_1(\pi_z)$	Модифікований неоднорідний зі зменшенням кількості перевірок і їх роздільною бінарною оцінкою	K_2	p_2	Неоднорідний зі зменшенням модуля вибору
4	K_1	$p_1(\pi_z)$	Модифікований неоднорідний зі зменшенням кількості перевірок і їх роздільною бінарною оцінкою	K_2	p_2	Бінарний із бінарною оцінкою параметрів
5	K_1	$p(\pi_z)$	Модифікований неоднорідний зі зменшенням кількості перевірок і їх роздільною бінарною оцінкою	—	—	—
6	K_1	p_1	Модифікований неоднорідний зі зменшенням модуля вибору та спільною десятковою оцінкою параметрів	K_2	p_2	Неоднорідний зі зменшенням модуля вибору
7	K_1	p_1	Модифікований неоднорідний зі зменшенням модуля вибору та спільною десятковою оцінкою параметрів	K_2	p_2	Бінарний із бінарною оцінкою параметрів
8	K	p	Модифікований неоднорідний зі зменшенням модуля вибору та спільною десятковою оцінкою параметрів	—	—	—

Таблиця 3

Кількісна оцінка значення математичного сподівання відхилення діагнозу в разі використання структурної та інформаційної надлишковості об'єкта

Варіант	Математичне сподівання значення відхилення ρ діагнозу від істинного
1	$0,5 \left[(K_1 + L - 2^{K_2}) (1 - p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} + (K_2 + 2^{K_2} - 1) p_1^{K_1} (1 - p_2) p_2^{K_2-1} \right]$
2	$0,5 \left[(1 - p_1^\omega) (1 + (M - i)!) p_2^{K-1} + p_1^\omega (1 - p_2) p_2^{K-2} \sum_{i=2}^K (1 + (M - i)!) \right]$
3	$0,5 \left[p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left[(1 - p_1(\pi_i)) (1 + (M - i)!) \prod_{z=1}^{K_1-1} p_1(\pi_z) \right] + (1 - p_2) p_2^{K_2-1} \prod_{j=1}^{K_1} p_1(\pi_j) \sum_{i=1+K_1}^K (1 + (M - i)!) \right]; z \neq i$
4	$0,5 \left[p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} \left[(1 - p_1(\pi_i)) (1 + (M - i)!) \prod_{z=1}^{K_1-1} p_1(\pi_z) \right] + (2^{K_2} + K_2 - 1) (1 - p_2) p_2^{K_2-1} \prod_{j=1}^{K_1} p_1(\pi_j) \right]; z \neq i$
5	$\sum_{i=1}^K \left[\frac{1 - p_i}{(M - i)!} \left(\prod_{z=1}^{K-1} p_z \right) \sum_{j=1}^{(M-i)!} \right] \approx 10^{-3} L [0,126L - 7,94 \cdot 10^{-4} L^2 + 3,3]; z \neq i$
6	$0,5 \left[(1 - p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1 + (M - i)!) + p_1^{K_1} (1 - p_2) p_2^{K_2-1} \sum_{i=1+K_1}^K (1 + (M - i)!) \right]$
7	$0,5 \left[(1 - p_1) p_1^{K_1-1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1 + (M - i)!) + p_1^{K_1} (1 - p_2) p_2^{K_2-1} (2^{K_2} + K_2 - 1) \right]$
8	$0,5 (1 - p) p^{K-1} \sum_{i=1}^K (1 + (M - i)!) \approx (0,65 \cdot 10^{-3} L^2 - 3,85 \cdot 10^{-6} L^3 - 2,6 \cdot 10^{-4} L + 0,55) L (1 - p)^{K-1}$

Таблиця 4

Характеристики діагностичного забезпечення з використанням надлишковості об'єкта

Варіант	Вид надлишковості	Вид алгоритму	P	T_b	ρ
1	Почасова	Повторення r перших перевірок	$(2-p)^r p^K$	$\frac{t(K+r)+t_y}{P}$	$0,5P(1-p)[L+K-1-p(L+r-2^{K-r})]/p$
2		Повтор кожної перевірки	$(2-p)^K p^K$	$\frac{2Kt+t_y}{(2-p)^K p^K}$	$0,5P(1-p)^2(L+K-1)/p$
3	Функціональна	Поділ об'єкта на R частин	$p^{K-\log_2 R}$	$\frac{t \log_2(L/R)+t_y}{P}$	$0,5\left(\frac{L}{R} + \log_2 \frac{L}{R} - 1\right)(1-p)^{\log_2(L/R)}$
4	Конструктивна	Бінарний	p^K	$\frac{Kt+t_y}{P}$	$0,5(Z/l + \log_2 Z - \log_2 l - 1) \cdot (1-p)^{\log_2 Z - \log_2 l - 1}$

Таблиця 5

Характеристики діагностичного забезпечення з використанням структурної та інформаційної надлишковості об'єкта

Варіант	P	T_b
1	$p_1^{K_1} p_2^{K_2}$	$(t_1 K_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
2	$p_1^{\omega} p_2^{K_2}$	$(\omega t_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
3	$p_2^{K_2} \prod_{i=1}^{K_1} p_1(\pi_i)$	$(t_1 K_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
4	$p_2^{K_2} \prod_{i=1}^{K_1} p_1(\pi_i)$	$(t_1 K_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
5	$\prod_{i=1}^{K_1} p(\pi_i)$	$(Kt + t_y)/P$
6	$p_1^{K_1} p_2^{K_2}$	$(t_1 K_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
7	$p_1^{K_1} p_2^{K_2}$	$(t_1 K_1 + t_2 K_2 + t_y)/P$
8	p^K	$(Kt + t_y)/P$

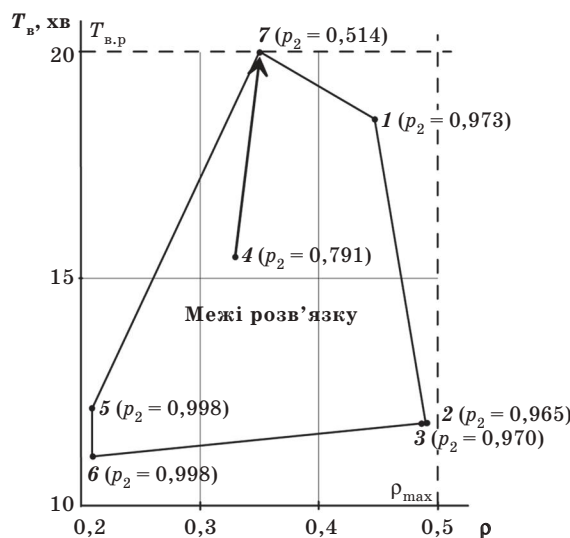


Рис. 3. Характеристики діагностичного забезпечення залежно від варіанта алгоритму пошуку дефектів при мінімальному значенні ймовірності правильного оцінки результату здійснення перевірки

У разі використання на завершальних кроках пошуку дефекту бінарних УАД розв'язання нерівності для розглянутого прикладу (див. табл. 2 і 3, варіант 4) дає в результаті $p_2^{0,47} - 0,714p_2^{1,47} < 0,305$.

Звідси остаточно знаходимо $p_2 \leq 0,97$.

У такому разі

$$T_b = (3,47 \cdot 1,7 + 5) / 0,966 \cdot 0,9855 \cdot 0,97^{1,47} = 12 \text{ (хв)}; \rho = 0,5 \left(0,97 \cdot 0,9357 + (1 - 0,97) 0,97^{0,47} \cdot 3,275 \right) = 0,496.$$

Цей варіант задовольняє поставлені вимоги, але значення p_2 практично не відрізняється від прототипа.

Мінімальне значення p_2 забезпечується спільним оцінюванням стану групи індикаторів та бінарними УАД на завершальному етапі пошуку дефекту (див. табл. 2 і 3, варіант 7):

$$\rho = 0,5 \left[(1 - 0,9975) 0,9975 p_2^{1,47} \left((1 + 4!) + (1 + 3!) + 0,9975^2 (1 - p_2) p_2^{0,47} (2^{1,47} + 1,47 - 1) \right) \right] < 0,5;$$

$$1 - 97525 p_2^{1,47} < 0,3102; \quad 0,791 \leq p_2.$$

Вибираємо $p_2 = 0,791$, тоді $\rho = 0,33$; $P = 0,705$; $T_B = 15,46$ хв. При цьому повністю задовольняються всі вимоги щодо ДЗ.

Наявність резерву часу $\Delta T_B = 20,0 - 15,5 = 4,5$ (хв) дозволяє використовувати почасову надлишковість — повторне виконання перевірок зовнішніми ЗВ. Тоді дістаємо (див. табл. 4):

$$P' = 0,9975^2 [(2 - p_2)]^{1,47}; \quad T'_B = [(2 + 1,47 \cdot 2) 1,7 + 5] / P' \leq 20 \text{ (хв)},$$

звідки $p_2 \geq 0,514$; тоді $P' = 0,67$; $T'_B = 19,99$ хв; $\rho' = 0,36$.

Вимоги щодо ДЗ повністю задовольняються за рахунок комплексного використання конструктивної, почасової, інформаційної та структурної надлишковості об'єкта.

Результати обчислень кількісних характеристик для можливих варіантів реалізації ДЗ зведено в табл. 6. Далі за методикою [8] вибираються метрологічні характеристики, а також тип ЗВ.

Таблиця 6

Кількісні характеристики варіантів діагностичного забезпечення

№ з/п	Алгоритм діагностування	min p_2	P	T_B , хв	ρ
1	Бінарний умовний мінімальної форми (прототип)	0,973	0,861	18,5	0,427
2	Модифікований з угрупованням індикаторів і роздільним оцінюванням їхнього стану	0,965	0,903	12,0	0,497
3	Неоднорідний алгоритм оцінювання індикаторів і бінарний на завершальному етапі	0,970	0,910	12,0	0,496
4	Формування десяткової оцінки стану груп індикаторів і бінарний алгоритм на завершальному етапі	0,791	0,705	15,5	0,330
5	Групкування індикаторів із бінарною оцінкою та роздільне сприйняття їхніх показів	0,998	0,948	12,6	0,209
6	Групкування індикаторів із бінарною оцінкою та спільне сприйняття їхніх показів	0,998	0,948	11,5	0,209
7	Десяткове оцінювання стану груп індикаторів із повторенням перевірок згідно з бінарним алгоритмом на завершальному етапі	0,514	0,670	20,0	0,360

Висновки

◆ Ефект від застосування методики полягає в обґрунтованому виборі *мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання ДП*, що істотно завищується відомими методиками: у розглянутому прикладі *значення p_{\min} зменшено на 47%*, а *значення ρ — на 16%* порівняно з результатами, отриманими за методикою-прототипом (див. рис. 3).

Зниження значення ρ дає змогу зменшити вартість ЗВ [1].

◆ Наукова новизна запропонованої методики полягає в комплексному використанні всіх видів надлишковості ТЗ [2] при розв'язанні поставленого завдання на основі вперше здобутих функціональних залежностей, які дають кількісну оцінку впливу окремих метрологічних характеристик ЗВ на показники ремонтпридатності відновлюваної техніки (див. табл. 2–5).

◆ Ця методика, на відміну од відомих [1; 8; 9], розширює реалізовані типи УАД на базі комплексного використання всіх видів надлишковості ТЗ при розробці ДЗ, що дозволяє обґрунтувати вимоги до ЗВ і мінімізувати їхню вартість без втрати якості ПР.

◆ Дана методика становить основу аналітичних і алгоритмічних засобів розробки метрологічного та діагностичного забезпечення поточного ремонту ТЗ, здійснюваного в умовах РО, а також зусиллями екіпажів безпосередньо в апаратних зв'язку з використанням штатних ЗВ. Її доцільно застосовувати в проектних організаціях при розробці метрологічного й діагностичного забезпечення перспективних зразків ТЗ, а також у РО для зниження вартості поодинокого ремонту в разі задоволення вимог стосовно показників ремонтпридатності.

Література

1. Сакович, Л. М. Вплив ймовірнісних показників засобів вимірювальної техніки на точність оцінки стану техніки зв'язку / Л. М. Сакович, М. Ю. Яковлев // Зв'язок.— 2014.— № 2.— С. 21–27.
 2. Сакович, Л. Н. Использование избыточности техники связи для повышения эффективности диагностирования / Л. Н. Сакович, Ю. С. Василук // Зв'язок.— 2007.— № 2.— С. 54–57.

3. *Разработка технического обеспечения и построение автоматизированных систем диагностирования и восстановления техники связи и управления; под ред. С. П. Ксенза.*— Л.: ВАС, 1984.— 224 с.
4. *Диагностирование средств связи и управления при эксплуатационных отказах и множественных аварийных повреждениях; под ред. С. П. Ксенза.*— Л.: ВАС, 1987.— 172 с.
5. *Ксенз, С. П. Основы технической диагностики средств и комплексов связи и автоматизации управления / С. П. Ксенз.*— Л.: ВАС, 1989.— 192 с.
6. *Ксенз, С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств / С. П. Ксенз.*— М.: Радио и связь, 1989.— 248 с.
7. *Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации; под ред. С. П. Ксенза.*— Л.: ВАС, 1990.— 336 с.
8. *Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники; под ред. В. А. Кузнецова.*— М.: Радио и связь, 1990.— 240 с.
9. *Сакович, Л. М. Обґрунтування послідовності та кількості параметрів для метрологічного обслуговування техніки зв'язку / Л. М. Сакович, М. Ю. Яковлев // Зв'язок.*— 2014.— № 1.— С. 14–19.

Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К МЕТРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИКИ СВЯЗИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

На основе комплексного использования всех видов избыточности техники связи и полученных новых функциональных зависимостей показателей диагностического обеспечения ее текущего ремонта агрегатным методом от применяемого способа компоновки диагностируемых изделий формализован процесс определения минимально необходимого значения вероятности правильной оценки результата измерения диагностических параметров того или иного изделия.

Ключевые слова: техника связи; метрологические характеристики; средство измерения; ремонтпригодность; среднее время восстановления.

L. M. Sakovych, Yu. S. Vasilyuk

METHOD OF DETERMINING REQUIREMENTS FOR METROLOGICAL SPECIFICATIONS OF MEASURING DIAGNOSTIC PARAMETERS OF COMMUNICATIONS TECHNOLOGY TO ENSURE ITS MAINTAINABILITY

Based on the integrated use of all redundancy of communications technology and received new functional dependences of the diagnostic routine maintenance to ensure its aggregation method of composing articles formalized process of determining the minimum required value of probability of a correct assessment of the measurement result of diagnostic parameters object.

Keywords: communications equipment; metrological characteristics of measuring device; maintainability; average time of recovery.

УДК 621.37

В. С. НАКОНЕЧНИЙ, доктор техн. наук, ст. наук. співробітник,
Державний університет телекомунікацій, Київ

РІЗНОВИДИ ФРАКТАЛЬНИХ АНТЕН ТА ПРИКЛАДИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Подано відомості з історії створення та застосування фрактальних антен. Доведено, що фрактальні антени дозволяють отримати практично той самий коефіцієнт підсилення, що й звичайні антени, але за істотно менших габаритних розмірів, що важливо передусім для мобільних застосувань.

Ключові слова: фрактал; фрактальна антена.

Вступ

Телекомунікаційні технології стрімко входять у повсякденне життя людини. Проте постійне зростання кількості використовуваних телекомунікаційних засобів спонукає до пошуків щодо зниження їхніх розмірів, маси та енергоспоживання. Учені всього світу працюють над розв'язанням зазначених проблем, застосовуючи новітні теорії та підходи.

У зазначеному плані надзвичайно важливу роль відіграло відкриття фракталів, що привело до революції не лише в геометрії, а й у фізиці, радіоелектроніці, хімії, біології тощо. Фрактальні технології знайшли застосування в теоріях стиснення даних, фільтрації сигналів, синтезу тривимірних комп'ютерних моделей природних ландшафтів, а також, що особливо важливо, теорії антен. Адже, як показали результати імітаційного моделювання

та експериментів, фрактальні антени дозволяють отримувати практично той самий коефіцієнт посилення, що й звичайні антени, забезпечуючи водночас істотне зменшення масагабаритних параметрів апаратури.

Мета статті — подати опис фрактальних антен, застосовуваних у сучасній телекомунікаційній апаратурі, розглянути їх різновиди, характеристики та приклади використання.

Основна частина

Велике прикладне значення фрактальної геометрії у різних галузях природознавства зумовлене тим, що фрактальні форми, або фрактали, притаманні величезній кількості процесів і структур у природі. Простим прикладом природного фрактала може бути дерево, стовбур якого поділяється на дві гілки, які,