

УДК 621.396.6

В.П. Романенко

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України "КІП", Київ

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГРУПОВОГО ПОШУКУ ДЕФЕКТІВ ПРИ РЕМОНТІ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Запропоновано модель процесу групового пошуку дефектів при ремонті техніки зв'язку для досягнення необхідних значень показників якості роботи ремонтних органів, комплексно розглянуті різні види групового пошуку з кількісною оцінкою ефективності їх використання.

Ключові слова: груповий пошук дефектів, умовний алгоритм діагностування.

Вступ

Постановка проблеми. Відновлення працездатності технічних об'єктів телекомунікаційних систем (ТОТС) як об'єктів великої розмірності здійснюється групою фахівців.

Ефективність роботи колективу фахівців характеризується T_B – середнім часом відновлення ТОТС, який, у свою чергу, залежить від часу діагностування об'єкту. Відомо, що до 60–80% часу ремонту витрачається на пошук дефектів, а 20–40% на усунення несправностей, перевірку працездатності у всіх режимах і при необхідності регулювання [1 – 5]. Отже, резерв підвищення ефективності роботи колективу фахівців або ремонтного органу (РО) полягає у вдосконаленні ремонтпридатності і діагностичного забезпечення (ДЗ) ТОТС на етапах їх проектування (модульна конструкція, обґрунтування комплексу штатних засобів вимірювань (ЗВ), раціональне розміщення вбудованих засобів діагностування, формування ЗІП для реалізації ремонту агрегатним методом) і експлуатації (технічна і технологічна документація, підготовка фахівців, впровадження сучасних досягнень технічної діагностики в практику ремонту). Для забезпечення необхідних значень середнього часу відновлення ТОТС за рахунок раціонального розподілу сил та засобів РО необхідно розглянути можливі варіанти діяльності фахівців. Ця задача не вирішена у відомих роботах [1 – 6] і вирішується у статті.

Аналіз літератури. Питання вдосконалення процесу діагностування радіоелектронних засобів різноманітного призначення досить глибоко розглянуті і дослідженні у наукових роботах вітчизняних і зарубіжних авторів, серед яких Ксенз С.П., Мозгалевський А.В., Креденцер Б.П., Жердев М.К., Давидов П.С., Сакович Л.М. та багато інших. У відомих роботах [1 – 5] розглянуті окремі види групового пошуку дефектів (ГПД), аналіз яких дозволяє встановити загальні закономірності їх реалізації для підвищення ефективності спільної діяльності колективу фахівців. Відсутність загальної моделі, яка об'єднує всі можливі

види ГПД, затрудняє прийняття рішення щодо практичного використання відомих результатів.

Мета статті – на основі узагальнення отриманих в роботах [1 – 6] результатів створити модель процесу групового пошуку дефектів при ремонті ТОТС екіпажем апаратної зв'язку (АЗ) або технічного забезпечення (АТЗ) в польових умовах, а також бригадою фахівців РО на базі пункту технічного обслуговування та ремонту (ПТОР).

Основна частина

Створення моделі процесу групового пошуку дефектів. У практиці ремонту ТОТС знаходять використання всі види групового пошуку [3, 4]:

незалежний (ГПД_н) – при ремонті різних типів технічних об'єктів в універсальних АТЗ;

спільний (ГПД_с) – при ремонті об'єктів великої розмірності з просторово рознесеними елементами;

зонний (ГПД_з) – при ремонті однотипних ТОТС модульної конструкції в спеціалізованих АТЗ.

Значення показника якості роботи РО визначається головним чином середнім часом відновлення технічного об'єкту, тобто виникає завдання здобуття в явному вигляді, дослідження і мінімізації при заданих обмеженнях функції

$$T_B(L, S, R, C, t, t_y, K, p),$$

де L – глибина пошуку дефекту (розмірність об'єкту); S – ступінь аварійних пошкоджень ТОТС (відношення кількості пошкоджених елементів до їх загального числа); R – число ремонтників; C – вартість ремонту ТОТС; t – середній час виконання перевірки; t_y – середній час усунення несправності; K – середнє число перевірок; p – ймовірність правильної оцінки результату перевірки.

Попередній аналіз моделювання процесів ремонту техніки зв'язку [5] не враховує використання всіх видів ГПД, тому постає необхідність створення моделі ГПД. Сутність моделі полягатиме в виборі переважного виду ГПД за критерієм мінімуму наступних показників якості ремонту на відновлення працездатності ТОТС в залежності від допустимих

меж зміни параметрів умовних алгоритмів діагностування (УАД) з врахуванням кількісної оцінки їх імовірнісних характеристик: T_B – середній час відновлення; ρ – математичне сподівання відхилення діагнозу при помилці в оцінці результату виконання перевірки; ρ_{max} – максимально можливе значення цього параметру; C – мінімальна вартість ремонту; W – загальні трудовитрати на ремонт.

Постановка задачі:

$$\text{ГПД} \begin{cases} \text{ГПД}_n \\ \text{ГПД}_3 \\ \text{ГПД}_c \end{cases} \text{ при } \begin{cases} W_3 < W_c < W_n; & C \leq C_d; \\ T_B \leq T_{вд}; & 0,01 < S < 0,2; \\ 1 \leq \mu \leq R; & \rho_{max} \leq 1, \\ \rho \leq 0,5; & 0,6 \leq p < 0,9997. \end{cases}$$

Вихідні дані отримують: L, Z, R, p – із технічного опису ТОТС, інструкцій з технічної експлуатації, схемної побудови ТОТС, засобів вимірювання (ЗВ), кваліфікації фахівців, K, n, m – діагностичних процедур, що реалізуються, де Z – число зон пошуку при реалізації ГПД₃, n – число груп елементів в алгоритмі пошуку дефектів; m – модуль вибору перевірок однорідних алгоритмів пошуку.

Завдання вирішується при допущеннях, відповідних особливостям функціонування РО:

ступінь пошкодження технічного об'єкту S визначається із заданою імовірністю в результаті дефекації: $0,01 \leq S \leq 0,2$;

розглядається найгірший з позицій діагностування випадок рівномірного розподілу дефектів в об'єкті;

під час діагностування нових дефектів в об'єкті не виникає;

організаційні втрати часу не враховуються; технологічне обладнання, ЗВ і комплекти ЗПП-0 завідомо справні;

кваліфікація фахівців відповідає посаді; ремонтвана техніка забезпечена комплектом документації.

До керованих змінних при розробці ДЗ ТОТС відносяться: K – загальне число перевірок для пошуку LS дефектів, що визначається значеннями L, S, R , видом і формою УАД; P – імовірність правильної постановки діагнозу.

Залежно від умов функціонування РО його цільова функція полягає в забезпеченні заданого значення $T_{вд}$ при мінімальній вартості ремонту C або в мінімізації значення середнього часу відновлення T_B при обмеженнях на ресурси.

Обмеження при використанні моделі:

кількість персоналу що виконує ремонт (μ) – екіпаж АЗ і АТЗ (в польових умовах) або штатний персонал РО (в стаціонарних умовах);

середній час відновлення – не більш допустимого;

застосування для комплексних об'єктів, що складаються з механічних, радіоелектронних та електричних елементів;

розраховано на планово-виробничі відділення стаціонарних і польових РО та науково-дослідні організації і підприємства-виробники при модернізації існуючих та розробці перспективних об'єктів.

Узагальнення функціональних залежностей оптимального значення числа груп елементів в алгоритмі, мінімального значення загального числа перевірок при пошуку всіх дефектів, мінімально необхідного числа фахівців в групі і інших показників ДЗ [3 – 5] дозволило отримати в явному вигляді аналітичні вирази для кількісної оцінки показників якості ДЗ ГПД будь-якого вигляду, які зведені в табл. 1, що є моделлю ГПД, де c_i – вартість роботи фахівця кваліфікації i за годину. Структура моделі приведена на рис. 1. Модель призначена для визначення виду ГПД з метою зменшення трудовитрат при відновленні працездатності ТОТС і задоволення вимог керованого технічного матеріалу (КТМ) з ремонтпридатності.

З врахуванням приведених міркувань загальна модель процесу (незалежного, спільного, зонного) ГПД є сукупністю множини УАД, які реалізуються групою фахівців і функціональних залежностей їх параметрів і обмежень від керованих змінних, що дозволяє кількісно оцінити і максимально підвищити виробничі можливості РО в заданих умовах функціонування. Множина використовуваних при розробці ДЗ групового пошуку дефектів УАД розподіляється залежно від особливостей схемної побудови технічного об'єкту і ступеню його пошкодження за формою:

незавершена ($K_{min} < K < K_{max}$);

досконала ($K_{min} = K = K_{max}$);

мінімальна ($K_{max} - K_{min} = 1$);

максимальна ($K_{min} = 1; K_{max} = L - 1$);

і залежно від використовуваних ЗВ, кваліфікації фахівців, діагностичних процедур, що реалізуються, виду: бінарні ($m = 2$); однорідні ($m = const$); неоднорідні ($m = var$).

Неоднорідні УАД можуть бути як з убуванням модуля вибору $m_j \geq m_{j+1}$, так і з його збільшенням $m_j \leq m_{j+1}$, де $j = \overline{1, K - 1}$.

Аналітичні вирази за кількісною оцінкою значень ρ і ρ_{max} для різних видів групового пошуку дефектів і УАД зведені в табл. 2 для ГПД_c і табл. 3 для ГПД_n і ГПД₃, де M – максимальне значення модуля вибору неоднорідних УАД.

При використанні табл. 3 для оцінки показників групового зонного пошуку дефектів за алгоритмами мінімальної і максимальної форми в розрахункові вирази замість L слід підставляти L/Z , а замість K підставляти K_z .

Таблиця 1

Модель групового пошуку дефектів

Параметр	Вид групового пошуку		
	незалежний	зонний	спільний
{μ, R, Z, K _Z }	{1, 1, 1, K}	{1, R, Z, K _Z }	{μ, μ, 1, K}
K	$\frac{1-S}{2SL(m-1)^2} \left(\frac{m-1}{1-S} - 1 \right) \times \left(\frac{m-1}{1-S} + m \right) + 2(SL-1) + SL \log_m(1-S)/(S(m-1))$	$Z(1+K_Z) + SL/Z$	$SL \left(1 + \log_{\mu+1} \frac{L}{n} \right) + \frac{n-\mu-1}{\mu}$
K _Z	-	$\frac{1-S}{2SL(m-1)^2} \left(\frac{m-1}{1-S} - 1 \right) \left(\frac{m-1}{1-S} + m \right) + 2 \left(\frac{SL}{Z} - 1 \right) + \frac{SL}{Z} \log_m \frac{1-S}{S(m-1)}$	-
n	$SL(m-1)/Z(1-S)$		$\mu SL/(1-S) \ln(\mu+1)$
P	$p^{1+ZK_Z/SL}$		$p^{\mu(1+\log_{\mu+1}(L/n))}$
T _B	$(\mu K + SLt_y)/PR$		
W	$(\mu K + SLt_y)/P$		
C	$\left[(\mu K + SLt_y)/P \right] \sum_{i=1}^R c_i$		

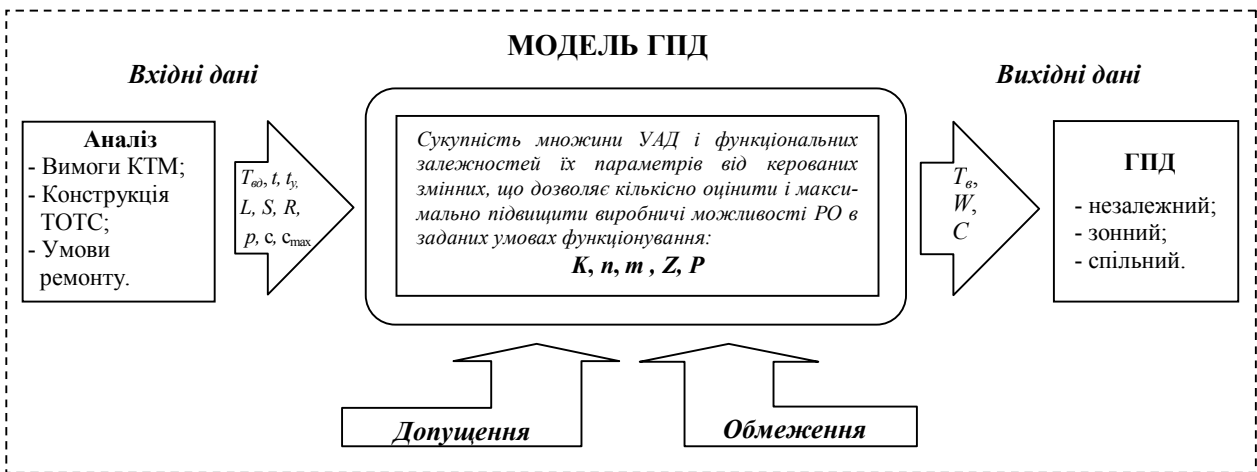


Рис. 1. Структура моделі групового пошуку дефектів

Таблиця 2

Кількісна оцінка математичного сподівання відхилення діагнозу при одній помилці фахівця і спільному груповому пошуку дефектів

Форма групового УАД	ρ	ρ _{max}
Досконала	$0,5[K + (L-1)/\mu] g p^{\mu K-1}$	$[(L-1)/\mu] g p^{\mu K-1}$
Незавершена	$\frac{0,5g}{\mu p L} \sum_{i=1}^{K_{max}} l_i [(\mu+1)^i + i\mu - 1] p^{i\mu}$	$\frac{g}{\mu L} \sum_{i=1}^{K_{max}} l_i [(\mu+1)^i - 1] p^{i\mu-1}$
Мінімальна	$(g p^{\mu[K-1]}/2L\mu^2) \left[((\mu+1)^{[K]} - L) \times \left((\mu+1)^{[K]-1} + ([K]-1)\mu - 1 \right) \div \div p^\mu + (\mu+1)(L - (\mu+1)^{[K]-1}) \times \left((\mu+1)^{[K]} + [K]\mu - 1 \right) \right]$	$\left((\mu+1)^{[K]} - 1 \right) g p^{\mu[K]-1} / \mu$ для $\mu^{[K]-2}(2\mu+1) \leq L \leq (\mu+1)^K$ $\frac{g p^{\mu[K]-1}}{\mu^2 (\mu+1)^{[K]-2}} \left[\left((\mu+1)^{[K]} - 1 \right) \left(L - (\mu+1)^{[K]-1} \right) p + \left((\mu+1)^{[K]-1} - 1 \right) \left((\mu+1)^{[K]-2} (2\mu+1) - L \right) \right]$ для $(\mu+1)^{[K]-1} \leq L \leq \mu^{[K]-2}(2\mu+1)$
Максимальна	$\frac{0,5g}{\mu p L} \left[(\mu+1) p^{K_{max}} \left((\mu+1)^{K_{max}} + L - 2 \right) + \mu \sum_{i=1}^{K_{max}-1} \left((\mu+1)^i + i\mu - 1 \right) p^i \right]$	$(L - \mu) g p^{\mu K_{max}-1}$

Кількісна оцінка математичного сподівання відхилення діагнозу (с) при одній помилці фахівця і пошуку дефектів по УАД

Форма Вид	незавершена	мінімальна	максимальна
Бінарні $m = 2$	$\frac{0,5(1-p)}{pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i (2^i + i - 1) p^i$	$\left(\frac{gp^{L[K]}}{2L} \right) \left[\frac{(gp^{L[K]}/2L)(2^{L[K]} + \lceil K \rceil - 2)}{\div p + 2(L - 2^{L[K]})} (2^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil - 1) \right]$	$\frac{0,5(1-p)}{pL} \left[\frac{(2^L + 2L - 4)p^{L-1} + \sum_{i=1}^{L-2} (2^i + i) p^i - \frac{p(1-p^{L-2})}{1-p}}{K_{\max} = L-1} \right]$
Одно- рідні $m \geq 2$	$\frac{0,5(1-p)}{(m-1)pL} \times \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i (m^i + i(m-1) - 1) p^i$	$\left(\frac{gp^{L[K]}}{2L(m-1)^2} \right) \times \left[\frac{(m^{\lceil K \rceil} - L)(m^{L[K]} + \lceil K \rceil(m-1) - m)}{\div p + m(L - m^{L[K]})} (m^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil(m-1) - 1) \right]$	$\frac{0,5(1-p)}{(m-1)pL} \left[\frac{mp^{K_{\max}}(m^{K_{\max}} + L - 2) + \sum_{i=1}^{K_{\max}-1} (m^i + i(m-1) - 1) p^i}{K_{\max} = (L-1)/(m-1)} \right]$
Гру- по- ві $m = \mu + 1$	$\frac{0,5(1-p)}{\mu pL} \times \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i \left[(\mu + 1)^i + i\mu - 1 \right] p^{i\mu}$	$\left(\frac{gp^{\mu \lceil K \rceil - 1}}{2L\mu^2} \right) \left[\frac{((\mu + 1)^{\lceil K \rceil} - L) \times \left((\mu + 1)^{L[K]} + (\lceil K \rceil - 1)\mu - 1 \right)}{\div (p^\mu + (\mu + 1)(L - (\mu + 1)^{L[K]}))} \times \left((\mu + 1)^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil\mu - 1 \right) \right]$	$\frac{0,5(1-p)}{\mu pL} \times \left[\frac{(\mu + 1)p^{K_{\max}}((\mu + 1)^{K_{\max}} + L - 2) + \sum_{i=1}^{K_{\max}-1} ((\mu + 1)^i + i\mu - 1) p^i}{K_{\max} = (L-1)/\mu} \right]$
Неодно- рідні $m_i = -m_{i+1} + 1$	$\frac{0,5(1-p)}{pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i \left[i + \sum_{j=1}^i j! \right] p^i$	$\frac{gp^{L[K]}}{2L} \left[\frac{((1 + \lceil K \rceil)! - L) \left(\lceil K \rceil - 1 + \sum_{j=1}^{\lceil K \rceil} j! \right)}{\div p + (2L - (1 + \lceil K \rceil)!)} \left(\lceil K \rceil + \sum_{j=1}^{\lceil K \rceil} j! \right) \right]$	$\frac{0,5(1-p)}{pL} \left[\frac{2 \left(M - 1 + \sum_{j=1}^{M-1} j! \right) p^{M-1} + \sum_{j=1}^{M-2} (M - i) \left(i + \sum_{j=1}^i j! \right) p^i}{K_{\max} = M-1} \right]$

Функціональні залежності табл. 2 і 3 справедливі для поточного ремонту ТОТС, за наявності кратних дефектів після отримання аварійних пошкоджень, використовують для оцінки значень ρ і ρ_{\max} у кожній групі елементів, оскільки при реалізації усіченої процедури пошуку в УАД при рівномірному розподілі дефектів несправні не більш за один елемент в групі.

Значення μ, R, Z вибираються виходячи з умов ремонту і конструкції технічного об'єкту. При усуненні рівномірно розподілених в об'єкті кратних дефектів з реалізацією ГПД_з в кожній з Z зон міститься по SL/Z дефектів серед L/Z елементів. Для мінімізації загального числа перевірок в зоні K_z при побудові УАД елементи підрозділяються на $n \approx SL / Z$ груп, в кожній з яких не більш за один дефект, який виявляється по алгоритму оптимальної форми, після виконання перевірок.

$$k = \log_2 \frac{L}{Zn} \approx \log_2 \frac{L}{SL} = -\log_2 S$$

При визначеному по табл. 1 значенні K_z отримуємо

$$K_z = (1 + k) \frac{SL}{Z} + \frac{SL}{Z} = \frac{SL}{Z} (k + 2),$$

звідки

$$k = ZK_z/SL - 2 = K_z/n - 2.$$

В такому разі значення математичного сподівання (МС) відхилення діагнозу при одній помилці фахівця оцінюються по виразах

$$\rho = 0,5Sgp^{L[k]} \left[\frac{(2^{\lceil k \rceil} - 1/S)(2^{L[k]} + \lceil k \rceil - 2)}{p} + \frac{+2(1/S - 2^{L[k]}) (2^{\lceil k \rceil} + \lceil k \rceil - 1)}{p} \right];$$

$$\rho_{\max} = (1 - p)(1 - S)p^{k-1}/S.$$

Отримана модель дозволяє порівняти ефективність різних видів реалізації ГПД.

У всіх випадках підвищення кваліфікації веде до зниження часу відновлення за рахунок збільшення інтенсивності праці, використання ефективних умовних алгоритмів діагностування (неоднорідних з модулем вибору більше двох).

Адекватність моделі – здатність описувати вихідні параметри з відносною погрішністю не більш заданого значення [6].

Адекватність моделі перевіряємо на прикладі розробки ДЗ Р-423 за умови спільного пошуку дефектів двома майстрами при наступних вихідних даних:

$$L = 51, S = 0,01; p = 0,995; T_{вд} \leq 20 \text{ хв};$$

$$t = 3 \text{ хв}, t_y = 5 \text{ хв}; m = 2; \mu = 2.$$

Результати перевірки адекватності моделі зведені в табл. 4, аналіз якої показує, що відносна похибка результатів обчислень середнього часу відновлення $dT_b = 3,35\%$, а трудовитрат $dW = 5,0\%$, це і підтверджує доцільність використання моделі для оцінки можливості застосування виду ГПД.

Таблиця 4

Результати перевірки адекватності моделі групового пошуку дефектів

Вид пошуку	P	T_b , хв	W, чол. год
ГПД _с – прототип	0,931	17,9	0,6
Результати моделювання	ГПД _н	0,944	24,0
	ГПД _з	0,944	20,3
	ГПД _с	0,911	17,3

Невідповідність результатів моделювання (наявність похибки) показникам якості ДЗ пояснюється тим, що модель орієнтована на використання однорідного алгоритму, а реально в залежності від особливостей конкретного об'єкту можливе використання неоднорідних алгоритмів.

В прикладі, що розглядається, незалежний і зонний пошук не відповідають умовам відновлення $T_b > T_{вд}$. Крім того, конструкція об'єкта практично не дозволяє реалізувати зонний пошук.

Висновки

Використання моделі дозволяє до розробки конкретного алгоритму пошуку кількісно оцінити можливі показники якості процесу пошуку.

Ефект від використання моделі заключається в скороченні трудовитрат на розробку ДЗ за рахунок того, що для вибору виду ГПД відсутня необхідність розробки алгоритму пошуку для кожного з них тому що можливо заздалегідь оцінити з необхідною точністю показники їх якості і вибрати найбільш переважний по заданому критерію.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГРУПОВОГО ПОИСКА ДЕФЕКТОВ ПРИ РЕМОНТЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.П. Романенко

Предложена модель процесса группового поиска дефектов при ремонте техники связи для достижения необходимых значений показателей качества работы ремонтных органов, комплексно рассмотрены разные виды группового поиска с количественной оценкой эффективности их использования.

Ключевые слова: групповой поиск дефектов, условный алгоритм диагностирования.

MODEL OF THE PROCESS OF GROUP SEARCHING DEFECTS IN THE REPAIR OF TELECOMMUNICATION SYSTEMS TECHNICAL OBJECTS

V.P. Romanenko

A model of the process of group searching defects in the repair of communication equipment to achieve the required levels of quality indicators of the work done by bodies in charge of repairs is suggested. Also different forms of group searching mechanisms with quantitative assessment of their use effectiveness are considered.

Keywords: group defects search, conditional algorithms of diagnostics.

Наукова новизна моделі полягає в отриманні спільних аналітичних виразів для кількісної оцінки показників якості будь-якого виду ГПД.

Вперше реалізована перевірка можливості використання всіх видів ГПД для виконання ремонту агрегатним методом за рахунок кількісної оцінки відхилення діагнозу при помилці виконавця.

Результати моделювання дозволяють кількісно оцінити показники якості ДЗ різних видів групового пошуку і залежно від постановки задачі оптимізувати число ремонтників і параметри УАД. Вперше комплексно розглянуті різні види групового пошуку з кількісною оцінкою ефективності їх використання.

Отримані результати доцільно використовувати в методиці розробки діагностичних програм ГПД при ремонті ТОТС екіпажами АТЗ в польових умовах.

Список літератури

1. Давыдов П.С. *Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем* / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
2. Ксёэнз С.П. *Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств* / С.П. Ксёэнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.
3. Рыжаков В.А. *Групповой зонный поиск кратных дефектов при ремонте техники связи* / В.А. Рыжаков, Л.Н. Сакович // *Зв'язок*. – 2005. – № 1. – С. 57–60.
4. Сакович Л.Н. *Совместный групповой поиск кратных дефектов при ремонте техники связи* / Л.Н. Сакович, В.А. Рыжаков // *Зв'язок*. – 2005. – № 2. – С. 59–62.
5. Сакович Л.Н. *Определение численности специалистов при восстановлении работоспособности техники связи с аварийными повреждениями* / Л.Н. Сакович, Р.А. Бобро // *Зв'язок*. – 2006. – № 1. – С. 41–44.
6. Томачевский В.М. *Моделирование систем* / В.М. Томачевский. – К.: Видавнична група ВНУ, 2007. – 352 с.

Надійшла до редколегії 4.08.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.В. Козловський, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут", Київ.