

Романенко В.П.

ГРАФОАНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГРУПОВОГО ПОШУКУ ДЕФЕКТІВ ПРИ РЕМОНТІ ТЕХНІКИ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація:

Обґрунтовано модель процесу групового пошуку дефектів при ремонті спеціальної техніки зв'язку екіпажем апаратної зв'язку та технічного забезпечення в польових умовах для досягнення необхідних значень показника якості роботи ремонтних органів, комплексно досліджені різні види групового пошуку з кількісною оцінкою ефективності їх використання.

Аннотация:

Обоснована модель процесса группового поиска дефектов при ремонте специальной техники связи экипажем аппаратной связи и технического обеспечения в полевых условиях для достижения требуемых значений показателя качества работы ремонтных органов, комплексно исследованы различные виды группового поиска с количественной оценкой эффективности их использования.

Abstract:

Grounded model of group finding defects in the repair of special telecommunications hardware crew communications and logistics in the field to achieve the required Quality Score works of repair, comprehensively researched different types of group search with quantitative assessment of the effectiveness of their use.

Актуальність роботи. Відновлення працездатності техніки спеціального зв'язку (ТСЗ) здійснюється екіпажами апаратних зв'язку або технічного забезпечення (АТЗ), тобто групою фахівців. У відомих роботах [1–5] розглянуто окремі види групового пошуку дефектів, аналіз яких дозволяє встановити загальні закономірності їх реалізації для підвищення ефективності спільної діяльності колективу фахівців.

Мета статті – на основі узагальнення отриманих в [1–5] результатів розробити модель процесу групового пошуку дефектів при ремонті ТСЗ екіпажем апаратної зв'язку або АТЗ в польових умовах, а також бригадою фахівців ремонтного органу (РО) на базі пункту технічного обслуговування і ремонту (ПТОР) при розташуванні підрозділу в місцях постійної дислокації для забезпечення необхідних значень показника якості роботи РО.

Показник якості роботи фахівців – пропускна спроможність РО – визначається числом відновлених комплектів ТСЗ за одиницю часу

$$\eta(X) = \frac{\sum_{i=1}^{\tau} N_i(X)}{\sum_{i=1}^{\tau} T_{bi}(X)},$$

де N_i – число відновлених комплектів ТСЗ виду i ;

T_{ei} – середній час відновлення комплекту ТСЗ виду i ;

τ – число типів ТСЗ, відновлюваних у РО;

X – параметри РО, що впливають на якість роботи.

Завдання при модернізації або створенні РО зводиться до досягнення максимальної пропускної спроможності при заданих обмеженнях на параметри

$$\eta(X) = \max_{x \in \Delta} \eta(X^*),$$

де Δ – область допустимих меж зміни параметрів;

X^* – їх значення при рішенні задачі.

Значення $\eta(X)$ визначається головним чином середнім часом відновлення ТСЗ, яке, у свою чергу, залежить від часу діагностування об'єкту T_d . Відомо, що до 60...80% T_e витрачається на пошук дефектів, а 20...40% на усунення несправностей, перевірку працездатності в усіх режимах і при необхідності регулювання [1–5]. Отже, резерв підвищення ефективності роботи РО полягає в удосконаленні ремонтпридатності і діагностичного забезпечення (ДЗ) ТСЗ на етапах її проектування (модульна конструкція, обґрунтування комплекту 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).

Таким чином виникає завдання здобуття в явному вигляді, дослідження і мінімізації функції $T_e(L, S, R, t, t_y, K, p)$ при заданих обмеженнях, що визначаються керівними документами [8–10], організаційно-штатною структурою РО, реалізацією ремонту ТСЗ агрегатним методом, технологічним обладнанням спеціалізованих робочих місць АТЗ і ПТОР:

$$1/L \leq S \leq 0,1; 1 \leq R \leq 5; 0,95 \leq p < 1; \rho \leq 0,5; \rho_{\max} \leq 1; T_e \leq T_{e0}; C \leq C_0,$$

де ρ – математичне сподівання відхилення діагнозу при помилці в оцінці результату виконання перевірки;

ρ_{\max} – максимально можливе значення цього параметра;

S – ступінь пошкодження ТСЗ;

T_{e0} – допустиме значення середнього часу відновлення ТСЗ;

R – число ремонтників (екіпаж АТЗ);

C – вартість ремонту ТСЗ;

t – середній час виконання перевірки;

t_y – середній час усунення несправності;

C_0 – допустиме значення вартості ремонту;

K – середнє число перевірок;

p – ймовірність правильної оцінки результату перевірки.

Завдання вирішується при допущеннях, відповідних особливостям функціонування РО: ступінь пошкодження ТСЗ S визначається із заданою ймовірністю в результаті дефектації;

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;

техніка, що ремонтується, забезпечена комплектом документації.

До керованих змінних при розробці ДЗ ТСЗ відносяться:

K – загальне число перевірок для пошуку LS дефектів, визначається значеннями L, S, R , видом і формою умовного алгоритму діагностування (УАД);

Z – число зон пошуку при реалізації групового зонного пошуку дефектів;

P – ймовірність правильної постановки діагнозу.

Залежно від умов функціонування РО його цільова функція полягає в мирний час в забезпеченні заданого значення $T_{\text{до}}$ при мінімальній вартості ремонту C або у військовий час в мінімізації середнього часу відновлення $T_{\text{е}}$ при обмеженнях на ресурси.

З урахуванням приведених міркувань загальна графоаналітична модель процесу (незалежного, спільного, зонного) групового пошуку дефектів групою фахівців є сукупністю безлічі УАД і функціональних залежностей їх параметрів і обмежень від керованих змінних, що дозволяє кількісно оцінити і максимально підвищити виробничі можливості РО в заданих умовах функціонування.

Безліч УАД, що використовуються при розробці ДЗ групового пошуку дефектів, розділяється залежно від особливостей схемної побудови ТСЗ і ступеня її пошкодження за формою:

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

досконала ($K_{\min} = K = K_{\max}$);

мінімальна ($K_{\max} - K_{\min} = 1$);

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

де K_{\min} – мінімальне, а K_{\max} – максимальне число перевірок при локалізації дефекту, і залежно від використовуваних ЗВ, кваліфікації фахівців, діагностичних процедур, що реалізуються, вигляду:

бінарні ($m = 2$);

однорідні ($m = \text{const}$);

неоднорідні ($m = \text{var}$),

де m – модуль вибору УАД (число розрізнених результатів виконання перевірки). Неоднорідні УАД можуть бути як з убаванням модуля вибору $m_j \geq m_{j+1}$, так і з його збільшенням $m_j \leq m_{j+1}$, де $j = \overline{1, K-1}$.

Графічно УАД представляються у вигляді дерев логічних можливостей (ДЛМ) при незалежному і зонному груповому пошуку дефектів або у вигляді групових ДЛМ (ГДЛМ) при спільному груповому пошуку дефектів, які досліджені в [2–4].

Функціональні залежності параметрів УАД при груповому пошуку дефектів на основі узагальнення отриманих результатів, а також оптимальні значення числа груп елементів в алгоритмі n , мінімальні значення загального числа перевірок при пошуку всіх дефектів, мінімальне необхідне число фахівців в групі і інші показники діагностичного забезпечення зведені в табл. 1, де μ – число фахівців в групі при спільному груповому пошуку дефектів.

Подальше узагальнення функціональних залежностей (табл. 1) дозволяє отримати в явному вигляді аналітичні вирази для кількісної оцінки показників якості ДЗ групового пошуку дефектів будь-якого вигляду, які зведені в табл. 2, де c_i – вартість роботи фахівця кваліфікації i за годину, W – загальні працевтрати на ремонт.

Значення μ, R, Z вибираються, виходячи з умов ремонту і конструкції ТСЗ (при необхідності значення R і Z оптимізуються по виразах табл. 1), а значення K і K_z обчислюються по виразах табл. 1.

При усуненні рівномірно розподілених в об'єкті кратних дефектів з реалізацією групового зонного пошуку 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 як один дефект, який виявляється по алгоритму оптимальної форми, після виконання

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

перевірок. 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

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

У такому разі значення математичного сподівання відхилення діагнозу при одній помилці шукача оцінюються по виразах

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

де $\lceil k \rceil$ – округлення значення k до цілого числа;

$\lfloor k \rfloor$ – ціла частина числа k ;

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

Отримана модель дозволяє порівняти ефективність різних видів реалізації групового пошуку дефектів. На рис. 1 показано залежність числа відновлених комплектів

ТСЗ N від часу t і виду групового пошуку дефектів: 1 – незалежний, 2 – спільний, 3 – зонний для $R = 4$ і $\mu = 2$.

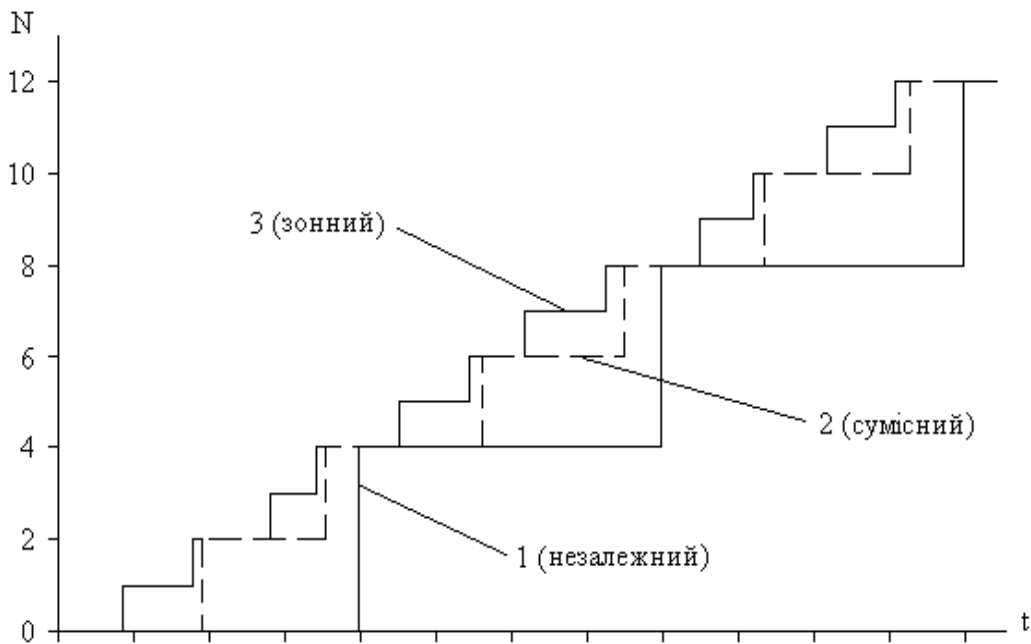


Рис. 1. Залежності числа відновлених комплектів техніки зв'язку від виду групового пошуку дефектів

Вочевидь, що з позицій організації зв'язку надається перевага використанню групового зонного пошуку, що забезпечує ритмічне постачання ТСЗ з ремонту при мінімальних трудовитратах на ремонт одного комплекту.

На рис. 2 показано залежності трудовитрат на ремонт одного комплекту ТСЗ від глибини пошуку дефекту (розмірності об'єкту) L і виду групового пошуку, де фізичний сенс мають лише точки, а пунктирні лінії відображують тенденції зміни параметрів. Тут також очевидні переваги групового зонного пошуку дефектів, що мінімізує як час, так і трудовитрати на ремонт.

Аналогічні результати отримуємо і при дослідженні залежності трудовитрат на ремонт одного комплекту ТСЗ від ступеня його пошкодження S і виду групового пошуку дефектів (рис. 3) для $L = 1000$, $m = 2$, $p = 0,995$.

Розглянемо вплив кваліфікації виконавців на якийсь час і вартість ремонту для різних видів групового пошуку дефектів за тих же умов: $L = 1000$, $S = 0,04$; $p = 0,995$; $Z = 20$; $m = 2$; $R = 4$; $\mu = 2$, але при низькій кваліфікації $c = 5 \text{ грн/год}$, $t = 3 \text{ хв}$, $t_y = 5 \text{ хв}$, а при високій кваліфікації $c = 10 \text{ грн/год}$, $t = 1,5 \text{ хв}$; $t_y = 2,5 \text{ хв}$.

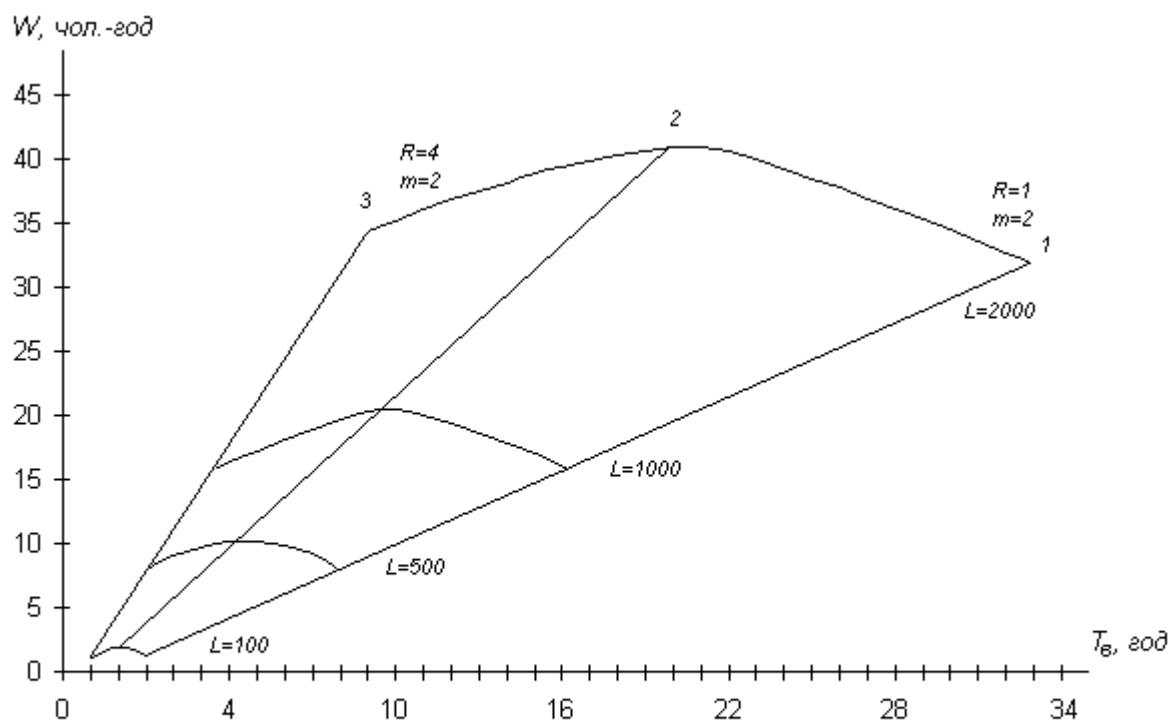


Рис. 2. Залежності трудовитрат на ремонт одного комплекту техніки зв'язку від глибини пошуку дефектів і використовуваних алгоритмів діагностування при $S=0,02$; $m=2$; $p=0,995$

Результати розрахунків по табл. 2 приведені на рис. 4, де номер виду групового пошуку з штрихом відповідає високій кваліфікації, а без штриха – низькій кваліфікації виконавця. Як і раніше, кращі показники має груповий зонний пошук дефектів.

У всіх випадках підвищення кваліфікації веде до зниження часу відновлення завдяки збільшенню інтенсивності праці, використання ефективних УАД (неоднорідних з модулем вибору більше двох).

Таблиця 1

Функціональні залежності параметрів процесу групового пошуку дефектів від керованих змінних

Параметр процесу діагностування	Вид групового пошуку дефектів		
	незалежний	спільний	зонний
Трудовитрати на ремонт одного комплекту $W = T_6 R$	$\frac{tK + t_y SL}{P}$	$\frac{\mu tK + t_y SL}{P}$	$\frac{tK + t_y SL}{P}$
Ймовірність правильної постановки діагнозу P	$p^{1+K/SL}$	$p^{\mu(1+\log_{\mu+1}(L/n))}$	$p^{1+ZK_z/SL}$
Число груп елементів n в алгоритмі діагностування	$\frac{SL(m-1)}{1-S}$	$\frac{\mu SL}{(1-S)\ln(\mu+1)}$	$\frac{SL(m-1)}{Z(1-S)}$
Загальне число перевірок K	$\frac{1-S}{2SL(m-1)^2} \left(\frac{m-1}{1-S} - 1 \right) \left(\frac{m-1}{1-S} + m \right) + 2(SL-1) + SL \log_m \frac{1-S}{S(m-1)}$	$SL \left(1 + \log_{\mu+1} \frac{L}{n} \right) + \frac{n-\mu-1}{\mu}$	$Z(1+K_z) + SL/Z$
Загальне число перевірок в зоні пошуку K_z			$\frac{1-S}{2SL(m-1)^2} \left(\frac{m-1}{1-S} - 1 \right) \left(\frac{m-1}{1-S} + n \right) + 2 \left(\frac{SL}{Z} - 1 \right) + \frac{SL}{Z} \log_m \frac{1-S}{S(m-1)}$
Середній час відновлення одного комплекту T_6	$\frac{tK + t_y SL}{P}$	$\frac{tK + t_y SL/\mu}{P}$	$\frac{tK + t_y SL}{RP}$
Оптимальне число фахівців R	1	$\frac{t_y SL}{PT_{\epsilon\delta} - tK} = \mu$	$\frac{tK + t_y SL}{PT_{\epsilon\delta}}$

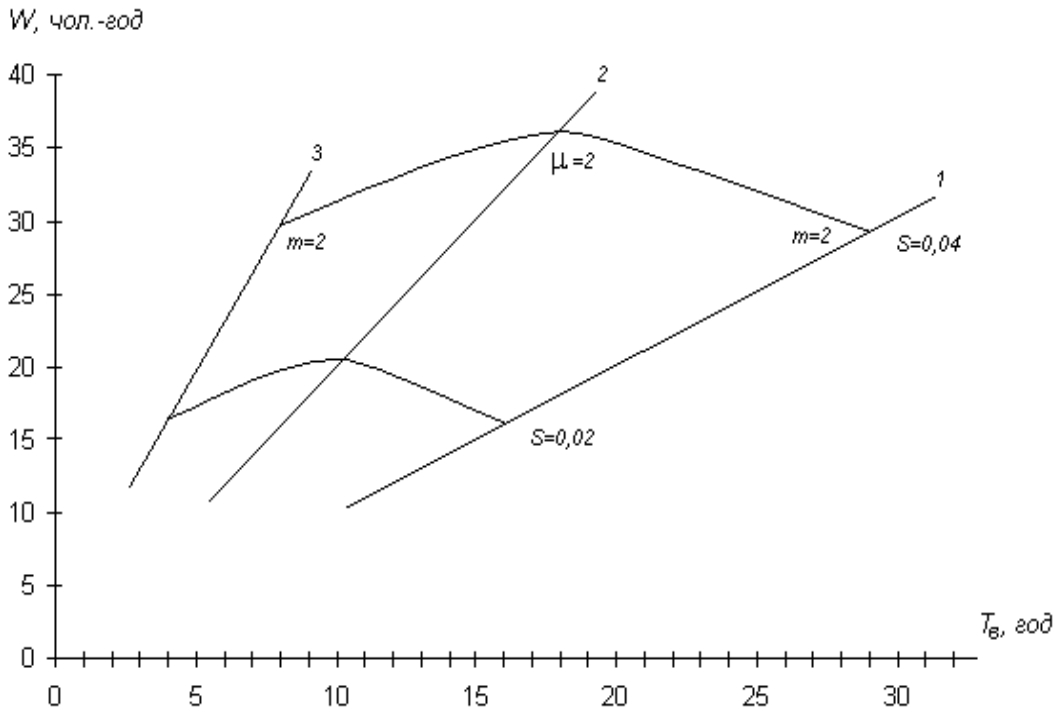


Рис. 3. Залежності трудовитрат на ремонт одного комплекту техніки зв'язку від ступеня його пошкодження та виду групового пошуку дефектів

Таблиця 2

Графоаналітична модель групового пошуку дефектів

Параметр	Вид групового пошуку		
	незалежний	зонний	спільний
вид ДЛМ			
$\{\mu, R, Z, K_z\}$	$\{1, 1, 1, K\}$	$\{1, R, Z, K_z\}$	$\{\mu, \mu, 1, K\}$
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_g	$(\mu t K + SL t_y) / PR$		
W	$(\mu t K + SL t_y) / P$		
C	$[(\mu t K + SL t_y) / P] \sum_{i=1}^R c_i$		

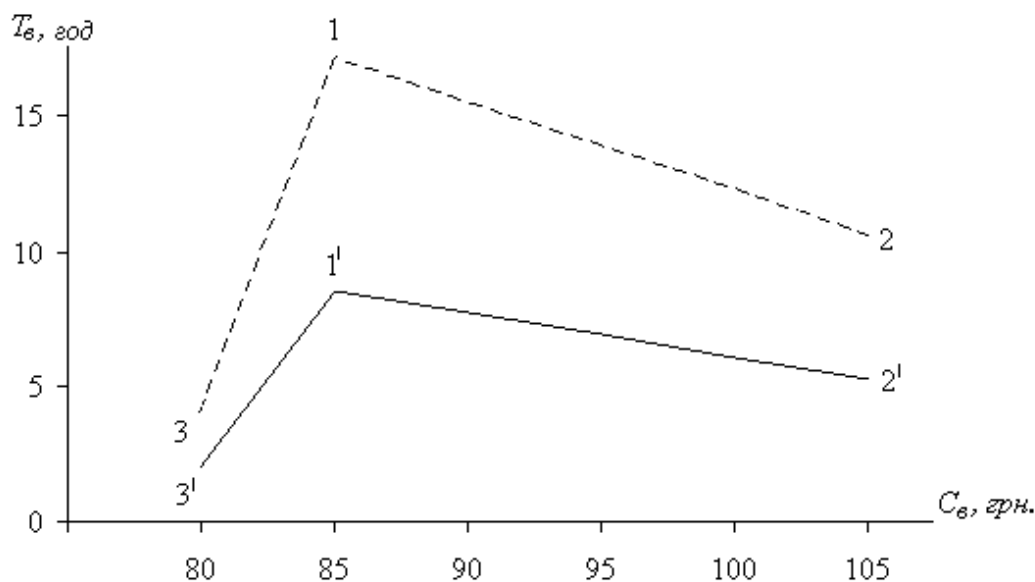


Рис. 4. Залежності часу і вартості ремонту від кваліфікації виконавців та виду групового пошуку дефектів

У практиці ремонту знаходять використання всі види групового пошуку: незалежний – при ремонті різних типів ТСЗ в універсальних АТЗ; спільний – при ремонті об'єктів великої розмірності з просторово рознесеними елементами;

зонний – при ремонті однотипної ТСЗ модульної конструкції в спеціалізованих АТЗ.

Результати моделювання дозволяють кількісно оцінити показники якості діагностичного забезпечення різних видів групового пошуку і залежно від постановки завдання оптимізувати число ремонтників і параметри УАД.

Вперше комплексно розглянуто різні види групового пошуку з кількісною оцінкою ефективності їх використання.

Отримані результати доцільно використовувати при розробці діагностичного забезпечення групового пошуку дефектів при ремонті ТСЗ екіпажами АТЗ в польових умовах.

Література:

1. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / Давыдов П.С.– М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
2. Ксёэнз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств / Ксёэнз С.П.– 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.