

УДК 621.372.+621.396.6

**Л. М. САКОВИЧ,**

кандидат технічних наук, доцент  
(Інститут спеціального зв'язку  
та захисту інформації Національного  
технічного університету України "Київський  
політехнічний інститут" ім. Ігоря Сікорського),

**М. Ю. ЯКОВЛЕВ,** доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник,

**Є. В. РИЖОВ,** кандидат технічних наук  
(Національна академія сухопутних військ  
ім. гетьмана Петра Сагайдачного),

**О. В. ХОДИЧ** (Інститут спеціального зв'язку та  
захисту інформації Національного технічного  
університету України "Київський політехнічний  
інститут" ім. Ігоря Сікорського)

## Оцінка достовірності діагностичних засобів спеціального зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями

*Розглянута оцінка достовірності діагностування засобів спеціального зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями. Отримано і досліджено функціональні залежності значень показників достовірності діагностування об'єктів з кратними дефектами від умов ремонту, якості діагностичного та метрологічного забезпечення, а також формалізовані у вигляді блок-схеми алгоритму практичні рекомендації щодо обґрунтування вимог до метрологічного забезпечення ремонту об'єктів з кратними дефектами.*

*Рассмотрена оценка достоверности диагностирования средств специальной связи с аварийными и боевыми повреждениями. Получены и исследованы функциональные зависимости значений показателей достоверности диагностирования объектов с кратными дефектами от условий ремонта, качества диагностического и метрологического обеспечения, а также формализованы в виде блок-схемы алгоритма практические рекомендации по обоснованию требований к метрологическому обеспечению ремонта объектов с кратными дефектами.*

Достовірність діагностування, що кількісно оцінюється ймовірністю правильної постановки діагнозу  $P$  і математичним сподіванням (МС) відхилення діагнозу від істинного значення за умовним алгоритмом діагностування (УАД) при одній помилковій оцінці результату виконання перевірки ремонтником, істотно впливає на середній час відновлення  $T_0$  засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ).

У роботах [1–5] отримані й досліджені функціональні залежності кількісної оцінки достовірності діагностування при пошуку дефектів за УАД мінімальної форми від їх показників якості під час поточного ремонту ЗСЗ при наявності в об'єкті тільки одного несправного елемента ( $Q = 1$ ). У роботі [6] розглянуто можливі підходи до оцінки достовірності діагностування об'єктів з кратними ( $Q > 1$ ) дефектами з використанням усіченої процедури пошуку (УПП) [7, 8] під час відновлення ЗСЗ з аварійними та бойовими пошкодженнями.

**Мета** статті – отримання та дослідження функціональних залежностей оцінки достовірності діагностування ЗСЗ від керованих змінних (показників якості УАД) під час усунення кратних дефектів ЗСЗ з аварійними та бойовими пошкодженнями для обґрунтування вимог щодо їх метрологічного обслуговування.

У мирний час кратні дефекти в ЗСЗ виникають переважно в надзвичайних ситуаціях у результаті впливу техногенних факторів, несприятливих фізико-кліматичних умов, а також з причини неадекватних дій обслуговуючого персоналу в стресовому стані при порушенні правил експлуатації. У подібних випадках ЗСЗ отримують множинні пошкодження, методи усунення яких за критерієм мінімуму  $T_0$  досліджені недостатньо повно, що викликає необхідність наукового аналізу технології відновлення і обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ремонтпридатності об'єктів з кратними дефектами і підвищення ефективності їхнього метрологічного обслуговування [7–9].

Зараз при локалізації кратних дефектів рекомендується використовувати УПП, яка полягає в скороченні простору пошуку в процесі виявлення дефектів і усунення викликаних ними несправностей [2, 3, 7, 8]. У результаті дефектації після усунення явних дефектів, частка яких становить до 90% від їх загальної кількості, визначається ступінь пошкодження ЗСЗ і прогнозована кількість прихованих дефектів  $Q$ , для пошуку яких необхідно використовувати УАД спеціальної форми і УПП [10–14].

Для реалізації УПП об'єкт поділяється на  $Q$  груп елементів, причому в першу чергу перевіряється і відновлюється підсистема електроживлення, потім підсистема управління функціонуванням і генераторне обладнання формування сигналів, потім підсистеми і блоки в порядку проходження енергії та інформації. Якщо ЗСЗ складаються з  $L$  типових елементів заміни (ТЕЗ), з глибиною до яких здійснюється пошук дефектів при ремонті агрегатним методом, то кожна група містить по  $L/Q$  ТЕЗ і в гіршому з позицій діагностування випадку – при рівномірному розподілі дефектів в об'єкті – по одному з них. Нехай об'єкт поділяється на рівновеликі групи ТЕЗ  $l_i = l = L/Q$  і перевірка діагностичних

параметрів виконуються одним засобом вимірювання, тоді ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки  $j$  буде постійна  $p_j = p$  і при пошуку дефектів в групі за бінарним УАД мінімальної форми  $1 \leq j \leq K_i = \log_2(L/Q)$  (рис. 1).

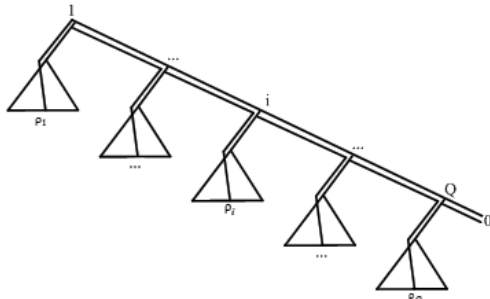


Рис. 1. Умовний алгоритм діагностування об'єкта з усіченою процедурою пошуку кратних дефектів

Тоді ймовірність правильного виявлення дефекту  $i = 1, Q$  буде дорівнювати  $p^{1+K_i}$ , так як кожна група елементів перевіряється двічі з урахуванням можливості наявності в групі більше одного дефекту, де  $K_i$  – середня кількість перевірок при локалізації дефекту в групі  $i$ ,  $p_i$  – МС відхилення діагнозу в групі  $i$ , причому за умови ремонту агрегатним методом  $p_i \leq 0,5$  [5].

У загальному випадку ймовірність безпомилкового виявлення всіх дефектів в об'єкті

$$P(p_i \neq p, l_i \neq l) = p_i^{2Q} \prod_{i=1}^Q p_i^{K_i},$$

або за умови наявності рівновеликих груп елементів і використання тільки одного типу виміральної техніки

$$P(p_i = p, l_i = l) = p^{Q(2+K)},$$

де  $K = \log_2 l = \log_2(L/Q)$ .

При використанні цифрових засобів вимірювання з кількістю розрядів від трьох до семи і більше  $0,9985 \leq p \leq 0,9997$ , тобто з достатньою для практики точністю можна вважати  $p \approx 1$ , тоді

$$P(p, l) \approx 1 - Q(2 + K)(1 - p).$$

Оскільки  $0 < p < 1$ , то значення  $P(p, l)$  убуває зі збільшенням кратності дефектів  $Q$  (рис. 2) або розмірності групи елементів (рис. 3), а також з погіршенням метрологічних характеристик засобів вимірювання в усіх випадках.

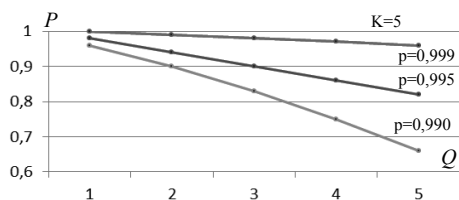


Рис. 2. Залежності ймовірності правильного знаходження всіх дефектів від їх кількості в об'єкті

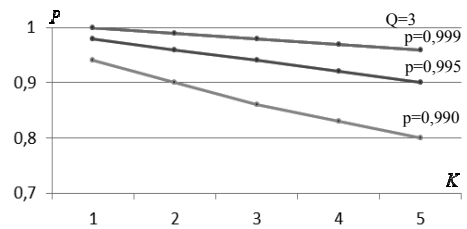


Рис. 3. Залежності ймовірності правильного знаходження всіх дефектів від розмірності груп елементів

Середній час відновлення ЗСЗ не повинен перевищувати допустимого значення, що задається керівними документами:

$$T_{в}(Q > 1) = \frac{t K_{\Sigma}(Q) + t_y Q}{p^{Q(2+K)}} \leq T_{вд}(Q),$$

де  $t$  – середній час виконання перевірки діагностичного параметра;  $t_y$  – середній час усунення несправності;  $K_{\Sigma}(Q)$  – сумарна кількість перевірок для виявлення всіх  $Q$  дефектів.

Для наведеного на рис. 1 УАД з застосування УПП отримаємо

$$K_{\Sigma}(Q) = Q(2 + \log_2(L/Q))$$

і після підстановки в попередню нерівність можна обґрунтувати вимоги до засобів вимірювання:

$$p \geq \left[ \frac{t K_{\Sigma}(Q) + t_y Q}{T_{вд}(Q)} \right]^{\frac{1}{Q(2+K)}} = \left[ \frac{Q(t(2 + \log_2(L/Q)) + t_y)}{T_{вд}(Q)} \right]^{\frac{1}{Q(2+K)}}$$

Рішення існує, якщо  $p < 1$ , тобто

$$Q(t(2 + \log_2(L/Q)) + t_y) < T_{вд}(Q).$$

При використанні високоточних мікропроцесорних цифрових засобів вимірювання і наближеного виразу для оцінки  $P(p, l)$  отримуємо

$$p \geq 1 - \frac{T_{вд}(Q) - Q(t(2 + \log_2(L/Q)) + t_y)}{Q T_{вд}(Q)(2 + \log_2(L/Q))},$$

і рішення існує при тій самій умові.

У військових ремонтних органах реалізується відновлення ЗСЗ зі слабким ступенем пошкодження  $Q < 0,1L$  [12–14], при цьому

$$p \geq \left[ \frac{0,1L(5,4t + t_y)}{T_{вд}(Q = 0,1L)} \right]^{\frac{1}{3,4(2+K)}}$$

без урахування усунення явних пошкоджень. Наприклад, при  $L = 32$ ,  $t = 2$  хв,  $t_y = 3$  хв,  $T_{вд} = 50$  хв,  $Q = 3$ , отримуємо  $p \geq 0,988$ , що показує можливість використання цифрових засобів вимірювання.

Розглянемо передумови реалізації іншого обмеження для ремонту ЗСЗ агрегатним методом:  $p \leq 0,5$ . Оскільки перевірка працездатності кожної групи елементів здійснюється двічі (рис. 1), то ймовірність помилки при цьому мізерно мала і МС значення діагностичної

помилки визначається як середньоарифметичне для всіх груп елементів:

$$\rho = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q \rho_i(l_i),$$

де для рівновеликих груп елементів [5]

$$\rho_i(l, p) = 0,5(l + \log_2 l - 1)(1 - p)p^{\log_2 l - 1} = \rho.$$

Так, для наведеного прикладу отримуємо  $\rho = 0,0785$ , що достатньо (рис. 4).

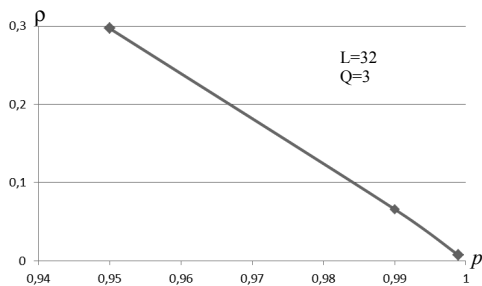


Рис. 4. Залежність значення діагностичних помилок від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки

Для орієнтовної оцінки при  $p \geq 0,995$  можна використовувати наближений вираз

$$\rho \approx 0,5(l + \log_2 l - 1)(1 - p) \times (1 - (1 - p)(\log_2 l - 1)).$$

Отримані вирази справедливі для випадків пошуку дефектів за УАД досконалої форми, коли  $\log_2 l$  – ціле число. У загальному випадку

$$\rho_i = \frac{0,5(1 - p)}{p l_i} \sum_{j=1}^{K_{max}} l_j (2^j + j - 1) p^j,$$

де  $l_j$  – кількість випадків пошуку після виконання  $j$  перевірок, причому

$$\sum_{j=1}^{K_{max}} l_j = l_i.$$

У практиці ремонту ЗСЗ найбільш часто використовують УАД мінімальної форми, коли різниця між максимальною  $K_{max}$  і мінімальною кількістю перевірок в підгрупі елементів дорівнює одиниці, тоді

$$\rho_i = \frac{(1 - p)p^{\lceil K \rceil - 1}}{2l_i} \left[ \frac{(2^{\lceil K \rceil} - l_i)(2^{\lceil K \rceil - 1} + \lceil K \rceil - 2)}{p} + (2l_i - 2^{\lceil K \rceil})(2^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil - 1) \right],$$

де  $\lceil K \rceil$  – округлене до цілого числа значення  $K = \log_2 l_i$ .

Так, для розгляду прикладу  $\lceil K \rceil = 4$  і  $\rho_i = 0,0855$ , що на 8,2% більше, ніж при оцінці по наближеному виразу для УАД досконалої форми.

Результати досліджень дозволяють формалізувати процес завдання вимог до засобів вимірювань за значенням  $p$  у залежності від виконання обмежень  $T_e \leq T_{\text{вд}}$  і  $\rho \leq 0,5$  у вигляді блок-схеми алгоритму (рис. 5).

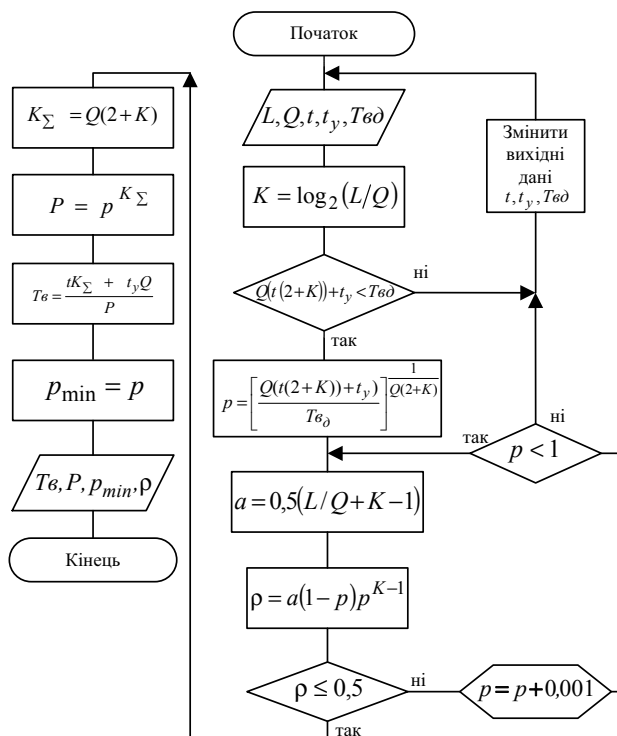


Рис. 5. Блок-схема алгоритму формалізованих вимог до метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки

Виходячи з отриманого мінімально необхідного значення  $p_{min}$ , визначається кількість розрядів цифрових або клас точності аналогових засобів вимірювань [15, 16], при цьому виконуються всі вимоги до ремонтпридатності ЗСЗ, а вартість засобів вимірювань буде мінімальною.

### Висновки

1. Отримано і досліджено функціональні залежності значень показників достовірності діагностування об'єктів з кратними дефектами від керованих змінних: умов ремонту ( $t, t_y$ ), якості діагностичного ( $K, K_{\Sigma}$ ) та метрологічного ( $p$ ) забезпечення.

2. Формалізовано у вигляді блок-схеми алгоритму практичні рекомендації щодо обґрунтування вимог до метрологічного забезпечення ремонту об'єктів з кратними дефектами.

3. Отримані результати доцільно використовувати при розробці діагностичного та метрологічного забезпечення існуючих і перспективних зразків ЗСЗ для задоволення вимог з ремонтпридатності при мінімальних витратах.

### СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ксєнз С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1989. 248 с.
2. Рыжаков В. А. Методики обеспечения ремонтпригодности военной техники связи Вооруженных Сил Украины : дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14. К., 2000. 235 с.

3. Курченко О. А. Методики разработки алгоритмов и программ диагностирования военной техники связи при агрегатном методе ремонта : дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14. К., 2001. 245 с.
4. ДСТУ 2389–94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Чинний від 1995.01.01. К. : Держ. стандарт України, 1994. 20 с.
5. Рижаків В. А., Сакович Л. М. Кількісне оцінювання діагностичних помилок під час поточного ремонту техніки зв'язку // Зв'язок. 2005. № 3. С. 45–50.
6. Сакович Л. Н., Вансович Ю. П. Количественная оценка достоверности диагностирования при устранении аварийных повреждения техники связи // Зв'язок. 2010. № 2. С. 47–49.
7. Сакович Л. Н., Елисов Ю. Н. Повышение эффективности агрегатного метода ремонта техники связи // Зв'язок. 1995. № 1. С. 47–48.
8. Елисов Ю. Н. Методики синтеза алгоритмов диагностирования военной техники связи и автоматизации : дис. ... канд. техн. наук : 20.01.09. К., 1997. 297 с.
9. Лихачёв А. М., Кузнецов В. Е., Могильный В. В. Метод обоснования требований по ремонтпригодности к комплексам средств связи с учетом их эксплуатации в чрезвычайных ситуациях // Информатика и космос. 2004. № 3. С. 18–22.
10. Сакович Л. Н., Павлов В. П. Моделирование процесса ремонта техники связи с аварийными повреждениями // Зв'язок. 2004. № 3. С. 54–58.
11. Сакович Л. Н., Павлов В. П., Рыжаків В. А. Моделирование процесса ремонта оборудования систем защиты информации с аварийными повреждениями // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. Вип. 8. К. : НТУУ «КПІ», 2004. С. 10–19.
12. Сакович Л. Н., Павлов В. П. Дефектация техники связи с аварийными повреждениями // Зв'язок. 2004. № 7. С. 52–56.
13. Сакович Л. Н., Павлов В. П. Алгоритмизация и формализация процесса дефектации оборудования систем защиты информации с аварийными повреждениями // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні. Вип. 9. К. : НТУУ «КПІ». 2004. С. 168–180.
14. Павлов В. П. Методики дефектации военной техники связи при неплановых ремонтах : дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14. К., 2006. 182 с.
15. Яковлев М. Ю., Рижов Є. В. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку // Військово-технічний збірник Академії СВ. 2014. № 1 (10). С. 119–127.
16. Сакович Л. М., Яковлев М. Ю. Обгрунтування мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань параметрів військової техніки зв'язку // Озброєння та військова техніка. 2015. № 1 (5). С. 29–34.

**Рецензент П. І. Ванкевич**, д-р техн. наук, старший наук. співробітник (Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів).