

УДК 621.396

М.Ю. Яковлев, Є.В. Рижов

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ПІДХІД ДО ВИБОРУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ

У статті розроблено підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за умовним алгоритмом довільної форми.

Ключові слова: військова техніка зв'язку, метрологічне обслуговування, клас точності, метрологічні характеристики, засоби вимірювальної техніки військового призначення, ймовірність правильної оцінки результату вимірювання, умовні алгоритми.

Постановка проблеми

Оцінка технічного стану військової техніки зв'язку (ВТЗ) проводиться з використанням засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) при перевірці її працездатності, проведенні метрологічного обслуговування (МОБ) і в процесі поточного ремонту (ПР) екіпажами апаратних зв'язку та апаратних технічного забезпечення (АТЗ) [1]. Достовірність оцінки технічного стану ВТЗ залежить від обраного ЗВТВП. Обґрунтування вибору ЗВТВП з урахуванням вимог до точності вимірювань є одним із найбільш актуальніших завдань проведення метрологічної експертизи ВТЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням вибору ЗВТВП присвячена велика кількість робіт, наприклад [2-16]. Однак вони не враховують специфіки експлуатації та МОБ ВТЗ, що в свою чергу призводить до неможливості визначення достовірних параметрів експлуатації ВТЗ та збільшення вартості МОБ ВТЗ.

Метою роботи є розроблення підходу до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за умовним алгоритмом довільної форми, що забезпечить зменшення витрат на метрологічне обслуговування військової техніки зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Вартість ЗВТВП залежить від їх метрологічних характеристик, зокрема, від класу точності (K_T). Так, наприклад для універсальних вольтметрів зміна K_T з 0,02 до 0,002 збільшує їх вартість у 7,5 раза [2-7]. При обґрунтуванні необхідного значення K_T використовуються ймовірнісні показники ЗВТВП – ймовірність правильної оцінки значення вимірюваного параметра (p), яка для застосовуваних в процесі МОБ і ПР ЗВТВП змінюється в межах від 0,645 до 0,9997 [2-7]

і впливає на значення ймовірності правильного визначення технічного стану (P), середнього (ρ) і максимального (ρ_M) відхилення у визначенні технічного стану ВТЗ від його істинного значення.

Послідовність і порядок проведення вимірювань параметрів при МОБ і ПР ВТЗ залежать від результатів виконання попередніх перевірок і представляється у вигляді умовних алгоритмів (УА). При відхиленні значень вимірюваних параметрів від норми здійснюється пошук дефектів з використанням штатних ЗВТВП за програмами, які реалізують УА діагностування.

Умовні алгоритми, що застосовуються під час оцінки технічного стану ВТЗ, розрізняють за видами (бінарні, однорідні, групові) і формами (досконала $F=1$, мінімальна $F=2$, довільна $F=3$, максимальна $F=4$). Вид УА визначається кількістю можливих результатів виконання перевірки – модулем вибору (m) і кількістю одночасно вимірюваних параметрів (μ). Групові алгоритми використовують у разі застосування багатоканальних ЗВТВП: наприклад, дво- або чотириканальних осцилографів. При $m=2$ (норма або не норма) УА називають бінарним, а при $m>2$ (менше норми, норма, більше норми або відсутність сигналу, менше норми, норма, більше норми і так далі) – однорідним. Однорідні УА легко реалізуються при $m=3$, коли номінальне значення параметра виділено сектором на шкалі ЗВТВП. Чим більше значення m , тим менша середня кількість перевірок K по УА для визначення елемента, що відмовив у ВТЗ, із сукупності можливих станів L , включаючи справне [8].

На рис. 1 наведені приклади видів і форми УА:

– бінарний ($m=2$) досконалиї форми ($K = \log_2 L$) (рис. 1а);

– бінарний мінімальної форми (різниця максимальної K_{\max} і мінімальної K_{\min} кількості перевірок дорівнює одиниці) (рис. 1в);

– бінарний довільної форми ($K = \frac{1}{L} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} i \cdot l_i$, l_i - кількість результатів пошуку після виконання i перевірок) (рис. 1с);

– бінарний максимальної форми ($K_{\min}=1, K_{\max} = \frac{L-1}{m-1}$, $K(m=2) = \frac{(L-1)(L+2)}{2L}$) (рис. 1d);

– груповий (одночасна перевірка μ параметрів довільної форми ($K_{\min} < K < K_{\max}$)) (рис. 1e);

– однорідний ($m = 3$) довільної форми (рис. 1f).

Застосування групових УА дещо знижує значення ймовірності правильної постановки діагнозу, але значно скорочує середню кількість перевірок і тривалість оцінки технічного стану ВТЗ.

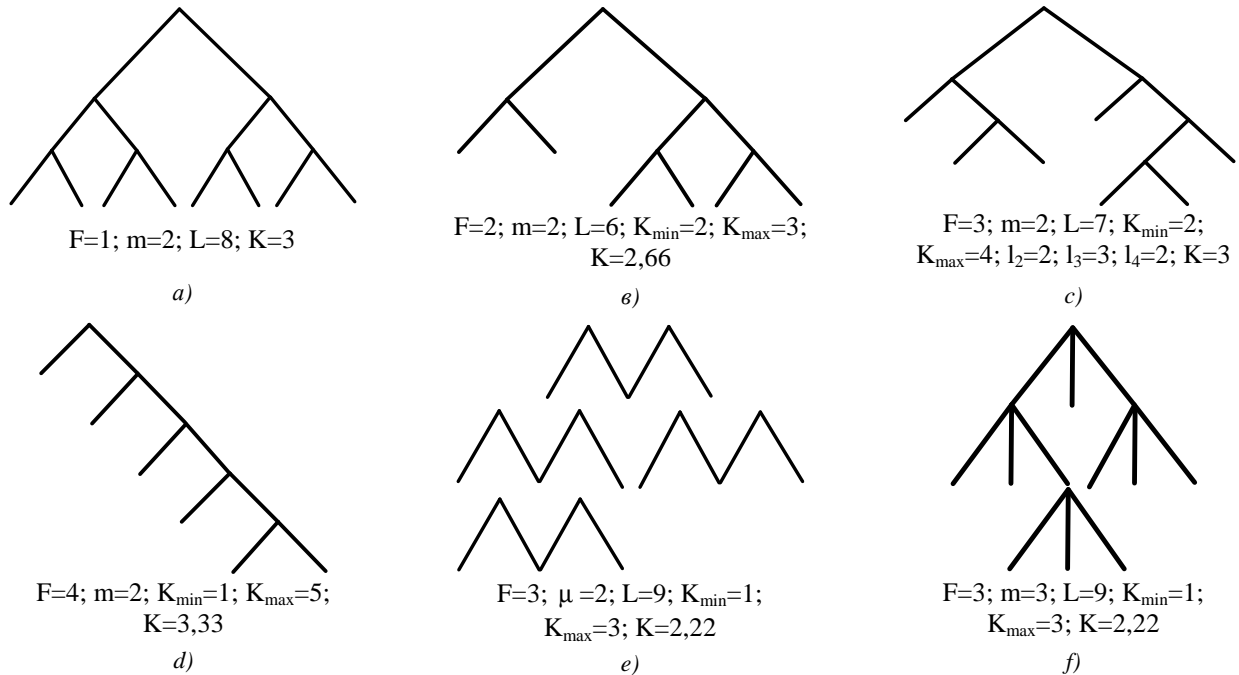


Рис. 1. Приклади видів і форми умовних алгоритмів

Найбільш досліджені бінарні алгоритми досконалої форми [8], як досить прості та зручні для використання у військових умовах. У відомих методиках обґрунтування значення K_T ЗВТВП [2-7] для обчислення середнього (p) і максимального (p_M) значень відхилення у визначенні технічного стану ВТЗ при допущенні однієї

помилки виконавця в оцінці значення параметра, що перевіряється, для УА будь-якої форми використані функціональні залежності, наведені в табл., де P – ймовірність правильного визначення технічного стану ВТЗ, які завищують необхідне значення p і, як наслідок, вартість обраних ЗВТВП.

Таблиця

Співвідношення для кількісної оцінки відхилення результату визначення технічного стану об'єкта по умовному алгоритму досконалої форми ($F = 1$)

Вид алгоритму	Середнє значення відхилення, p	Максимальне значення відхилення, p_M	K	L	P
Бінарний $m = 2$	$0,5(L + K - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$(L - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$\log_2 L$	2^K	p^K
Однорідний $2 \leq m = const$	$\frac{m-1}{m} \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\log_m L$	m^K	p^K
Груповий $m=\mu+1$	$\frac{\mu}{\mu+1} \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\log_{\mu+1} L$	$(\mu+1)^K$	$p^{\mu K}$

Завищення значення p пояснюється тим, що при $m > 2$ передбачалося рівноймовірне прийняття рішення по будь-якому можливому результату виконання перевірки (наприклад, при відсутності сигналу

рівноймовірно передбачалося ухвалення рішення “менше норми”, що на практиці виключено). Ця обставина врахована в [9-11], де отримані більш точні розрахункові вирази для УА досконалої форми

(при помилці передбачається відхилення в оцінці значення параметра тільки на одну градацию в кожну сторону з ймовірністю $0,5(1-p)$):

$$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}; \quad (1)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = 0,5 \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}. \quad (2)$$

Для практичних розрахунків з досить високою точністю (похибка не більше 0,2% при $K \leq 7$) можна використовувати наближені вирази [9-11]:

$$\rho(m \geq 2) \approx 0,5 \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)(1-(1-p)(K-1));$$

$$\rho(\mu \geq 1) \approx 0,5 \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)(1-(1-p)(\mu K-1)).$$

У загальному випадку при допущенні декількох помилок в оцінці результатів вимірювань верхня межа можливого відхилення оцінки технічного стану ВТЗ:

$$\max p = 0,5(L + K - 1)(1 - p^K),$$

де $(1 - p^K)$ – ймовірність помилкової оцінки технічного стану ВТЗ

З аналізу виразів (1) і (2) отримуємо область існування рішень для $0,6 \leq \frac{\mu K - 1}{\mu K} \leq p \leq 1$.

Очевидно, що зі збільшенням значень μ мінімально допустиме значення p зростає (рис. 2) внаслідок збільшення ймовірності виникнення помилки.

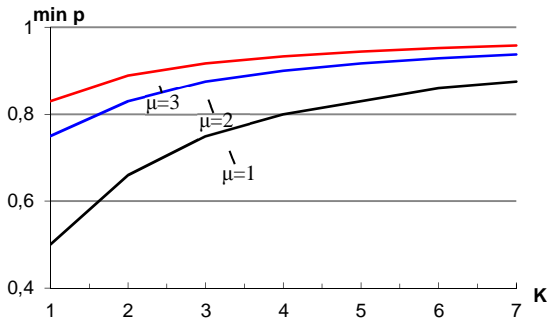


Рис. 2. Визначення мінімально допустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювання

Визначимо область існування розв'язків для обчислення мінімально допустимого значення p в процесі оцінки технічного стану ВТЗ за УА досконалої форми при дотриманні вимог до можливості реалізації ПР ВТЗ агрегатним методом, коли навіть при постановці помилкового діагнозу несправний елемент знаходиться в агрегаті, що замінюється (блоці або модулі) [2-11]:

1. Середнє значення відхилення встановленого технічного стану від його істинного значення $\rho \leq 0,5$

для $m = 2$ маємо: $(1-p)p^{K-1} \leq (K+L-1)^{-1}$;

для $m \geq 2$ маємо: $(1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{K(m-1)+L-1}$;

для $m = \mu + 1$ маємо: $(1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{K\mu+L-1}$.

2. Максимальне значення відхилення встановленого технічного стану від його істинного значення $\rho_M \leq 1$

для $m = 2$ маємо: $(1-p)p^{K-1} \leq (L-1)^{-1}$;

для $m \geq 2$ маємо: $(1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{L-1}$;

для $m = \mu + 1$ маємо: $(1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{L-1}$.

Отже, якщо виконується умова $\rho \leq 0,5$, то умову $\rho_M \leq 1$ можна не перевіряти, так як вона реалізується при більшому значенні p , ніж у першому випадку.

3. Оцінювання технічного стану ВТЗ за допустимий час T_δ . Розрахунковий час визначення технічного стану [8]

$$T = \frac{Kt + t_y}{p} = \frac{Kt + t_y}{p^K},$$

де t – середнє значення тривалості виконання перевірки; t_y – середнє значення тривалості усунення несправностей [8]:

$$T \leq T_\delta : p \geq \left(\frac{Kt + t_y}{T_\delta} \right)^{\frac{1}{K}}.$$

Узагальнюючи отримані результати, розроблена блок-схема алгоритму обчислення мінімально не обхідного значення p при оцінці технічного стану ВТЗ по УА досконалої форми (рис. 3). На рис. 3 Δp – крок зміни значення p .

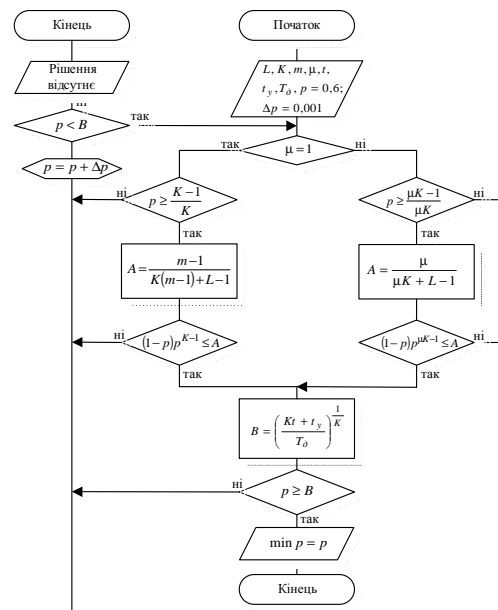


Рис. 3. Блок-схема алгоритму обчислення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки для умовного алгоритму досконалої форми (F=1)

У роботах [9-11] отримані розрахункові вирази для орієнтовної оцінки значення ρ при використанні УА довільної форми ($F=3$):

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2(m-1)pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i [m^i + i(m-1)-1] p^i; \quad (3)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2\mu pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i [(\mu+1)^i + i\mu - 1] p^{i\mu}. \quad (4)$$

Подальші дослідження [15, 16] були спрямовані на отримання більш простих розрахункових виразів введенням припущень $p \approx 1$, що справедливо для цифрових мікропроцесорних ЗВТВП ($p \geq 0,9997$). У такому випадку для УА мінімальної форми ($F=2$) з відносною похибкою до 4% при $m=2$:

$$\rho \approx 0,5(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[\left(2^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor \right) - \left(2^{\lfloor K \rfloor} + 1 \right) \frac{l}{L} \right],$$

а для УА максимальної форми ($F=4$) з похибкою до 5% при $m=2$:

$$\rho \approx \frac{(1-p)(L^2-1)}{6} + \frac{p-(2p-1)p^{L-2}}{L};$$

$$\rho_M \approx 0,5L(L-1)(1-p),$$

де $K_{\min} = \lfloor K \rfloor$ – ціла частина числа K ;

$K_{\max} = \lceil K \rceil$ – округлення K до цілого числа.

$$\begin{aligned} \rho(m \geq 2) &= \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \left[\frac{l(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor)(m-1)-1}{m^{\lfloor K \rfloor}} p^{\lfloor K \rfloor} + \frac{(L-l)(m^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil)(m-1)-1}{m^{\lceil K \rceil}} p^{\lceil K \rceil} \right] = \\ &= \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[\left(1 + \frac{\lfloor K \rfloor - 1}{2^{\lfloor K \rfloor}} \right) l + \left(1 + \frac{\lceil K \rceil}{2^{\lceil K \rceil}} \right) (L-l)p \right]}{2(m-1)m^{\lfloor K \rfloor}}. \end{aligned}$$

Звідси після підстановки $m = \mu + 1$ для групових УА мінімальної форми ($F=2$) отримуємо

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[(\mu+1)l \left((\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor \mu - 1 \right) + (L-l) \left((\mu+1)^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil \mu - 1 \right) p \right]}{2\mu(\mu+1)^{\lfloor K \rfloor}}. \quad (6)$$

З виразів (3) і (4) після підстановки $l_i = m-1$ значення ρ для УА максимальної форми ($F=4$): отримуємо розрахункові формули для оцінки

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=1}^{L-1} \frac{2^i + i - 1}{2^i} p^i = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{(1-p^{L-1})p}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1} \frac{i-1}{2^i} p^i \right].$$

$$\text{При } p \rightarrow 1: \rho(m=2) \approx \frac{1-p}{2p} \left[\frac{1-p^{L-1}}{1-p} + \frac{2^{L-1}-L}{2^{L-1}} \right];$$

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2p(m-1)} \sum_{i=1}^{L-1} \frac{(m-1)[m^i + i(m-1)-1]}{m^i} p^i = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p(1+p^{L-1/m-1})}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1} \frac{i(m-1)-1}{m^i} p^i \right];$$

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p(1+p^{L-1/\mu})}{1-p} + \sum_{i=1}^{\mu} \frac{\mu i - 1}{(\mu+1)^i} p^i \right].$$

Проведений комбінаторний аналіз результатів прямих обчислень значень ρ для УА довільної форми ($F=3$) дозволив отримати аналітичні вирази:

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i (2^i + i - 1) p^i}{2^i}; \quad (5)$$

$$\rho(m \geq 2) = \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i [m^i + i(m-1)-1] p^i}{m^i};$$

$$\rho(m = \mu + 1) = \frac{1-p}{2p\mu} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i [(\mu+1)^i + i\mu - 1] p^{i\mu}}{(\mu+1)^i}.$$

Звідси отримуємо розрахункові вирази для оцінки ρ для УА мінімальної форми ($F=2$), коли $K_{\max} - K_{\min} = 1$ і $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$:

$$\begin{aligned} \rho(m=2) &= \frac{1-p}{2p} \left[l \frac{2^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor - 1}{2^{\lfloor K \rfloor}} p^{\lfloor K \rfloor} + (L-l) \frac{2^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil - 1}{2^{\lceil K \rceil}} p^{\lceil K \rceil} \right] = \\ &= \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1}}{2} \left[\left(1 + \frac{\lfloor K \rfloor - 1}{2^{\lfloor K \rfloor}} \right) l + \left(1 + \frac{\lceil K \rceil}{2^{\lceil K \rceil}} \right) (L-l)p \right], \end{aligned}$$

де l – кількість станів ВТЗ після виконання K_{\min} перевірок.

Для однорідних УА аналогічним чином отримуємо

Порядок застосування отриманих теоретичних результатів розглянемо на прикладі оцінки технічного стану тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423 по УА: довільної форми (рис. 4) для $\mu=1$ і мінімальної (рис. 5) для $\mu=2$ (перевірка і відновлення працездатності двома майстрами в АТЗ К9). Для розрахунків використано такі вихідні дані: $L=51$; $T_0=25\text{хв}$; $t=3\text{хв}$; $t_y=5\text{хв}$.

Для рис. 4: $F=3$; $m=2$; $\mu=1$; $K_{\min}=5$; $K=5,765$; $K_{\max}=7$; $l_5=14$; $l_6=35$; $l_7=2$.

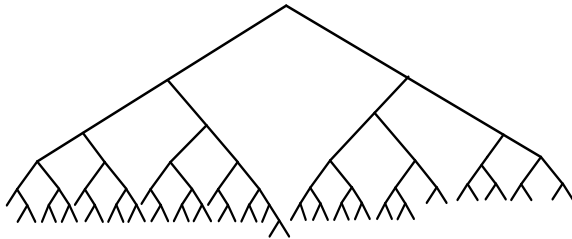


Рис. 4. Умовний бінарний алгоритм оцінки технічного стану

Рис. 5: $F=2$; $\mu=2$; $K_{\min}=3$; $K=3,882$; $K_{\max}=4$; $l=6$; $L-l=45$.

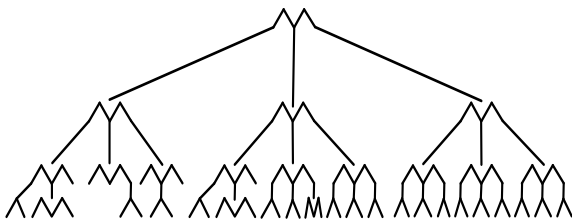


Рис. 5. Умовний груповий алгоритм оцінки технічного стану

Для алгоритму рис. 4 за виразом (5) отримуємо

$$\rho = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=5}^7 \frac{l_i(2^i+i-1)}{2^i} p^i = 0,5(1-p)p^4(15,75 + 37,73p + 2,09p^2).$$

Далі з умови $\rho \leq 0,5$ отримуємо нерівність

$$15,75(1-p)(1 + 2,395p + 0,133p^2)p^4 \leq 1.$$

Результати розв'язання цієї нерівності представлені графічно на рис. 6, звідки слідує мінімально необхідне значення $p \geq 0,98$.

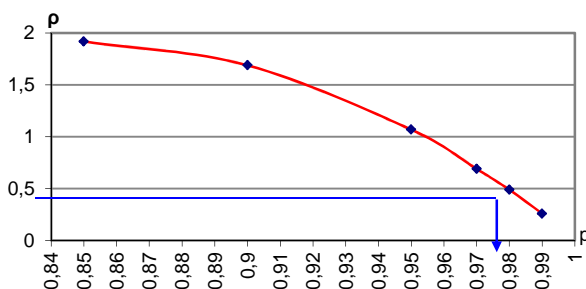


Рис. 6. Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра

Перевірка умови $T \leq T_0 = 25\text{хв}$ показує, що значення $p \geq 0,98$ недостатньо

$$T = \frac{5,765 \cdot 3 + 5}{0,98^{5,765}} = 25,2\text{хв} > T_0,$$

тому після збільшення значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра до $p=0,982$ отримуємо $T=24,9\text{хв} < T_0$.

Застосування нових залежностей дозволяє знизити вимоги до K_T ЗВТВП за значенням p на 1,3%.

У другому випадку при оцінці технічного стану ВТЗ за алгоритмом рис. 3 і виразом (6) отримуємо

$$\rho(\mu=2) = \frac{(1-p)p^2[3 \cdot 6 \cdot (3^3 + 3 \cdot 2 - 1) + 45(3^4 + 4 \cdot 2 - 1)p]}{2 \cdot 2 \cdot 3^4} = (1-p)p^2(1,78 + 12,22p).$$

Далі з умови $\rho \leq 0,5$ за рис. 7 визначаємо $p \geq 0,96$.

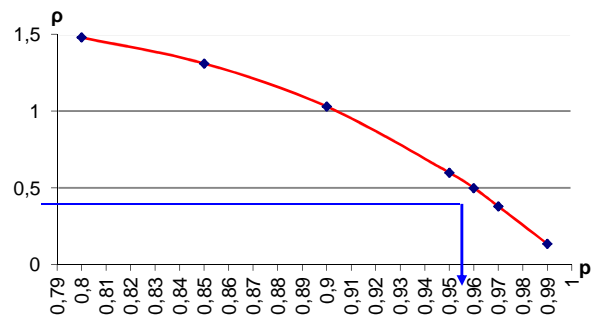


Рис. 7. Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметра

Перевірка умови $T \leq T_0$ показує, що значення $p=0,96$ є достатнім:

$$T = \frac{3,882 \cdot 3 + 5}{0,96^{3,882}} = 19,7\text{хв} < T_0.$$

Отже, встановлено, що при оцінюванні технічного стану тракту прийому станції тропосферного зв'язку Р-423 доцільно використовувати груповий алгоритм рис. 5 і ЗВТВП з $p \geq 0,96$, що значно економічніше, ніж в першому випадку.

Ефект від застосування отриманих результатів полягає в зниженні вимог до ЗВТВП за значенням p в порівнянні з методикою-прототипом [2-7,16] на

$$\eta = \frac{0,995 - 0,96}{0,995} \cdot 100\% = 3,5\%.$$

Розглянемо порядок застосування отриманих результатів ще на одному конкретному прикладі – УА визначення технічного стану підсистеми управління функціонуванням радіопередавача великої потужності

(рис. 8) [17]. При $p=0,995$ за відомими виразами отримано $\rho=0,188$ і $\rho_M=0,271$. Згідно з виразом (5) математичне сподівання відхилення оцінки стану

$$\rho = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{2(2^2+2-1)}{4} p^2 + \frac{1(2^4+4-1)}{16} p^4 + \frac{10(32+5-1)}{32} p^5 + \frac{5(64+6-1)}{64} p^6 + \frac{5(128+7-1)}{128} p^7 + \frac{2(256+8-1)}{256} p^8 \right] =$$

$$= 0,5(1-p)p(2,5+1,19p^2+1,25p^3+5,39p^4+5,23p^5+2,05p^6)$$

Для рис. 8: $F=3$; $L=25$; $K_{\min}=2$; $K=5,44$; $K_{\max}=8$; $l_2=2$; $l_4=1$; $l_5=10$; $l_6=5$; $l_7=5$; $l_8=2$.

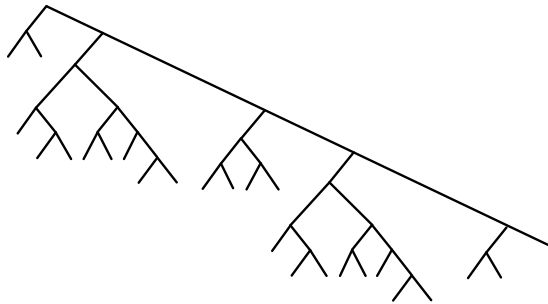


Рис. 8. Умовний алгоритм визначення технічного стану підсистеми управління функціонуванням радіопередавача

З отриманої залежності $\rho(p)$, наведеної на рис. 9, випливає, що для виконання умови $\rho \leq 0,5$ досить використовувати ЗВТВП зі значеннями $p \geq 0,953$.

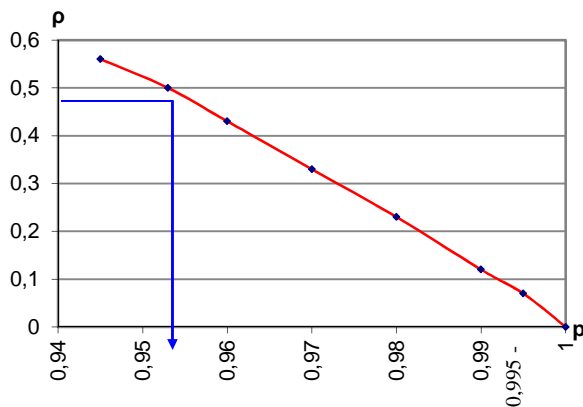


Рис. 9. Залежність $\rho(p)$ для умовного алгоритму визначення технічного стану підсистеми управління функціонуванням радіопередавача

Крім того, при $p \geq 0,995$ справжнє значення $\rho=0,07$, що на 68% менше отриманого за відомими розрахунковими формулами, які завищують вимоги і вартість використовуваних ЗВТВП при МОБ і ПР ВТЗ.

Перевірка $T \leq T_0$ при $t=3,5xв$, $t_y=5xв$, $T_0=30xв$ підтверджує правильність вибору в якості ЗВТВП вольметра В7-38 з $p=0,999$, при цьому

$$T = \frac{5,44 \cdot 3,5 + 5}{0,999^{5,44}} = 25xв < T_0 = 30xв.$$

ВТЗ за наявності не більше однієї помилки у визначенні значення параметра становить

Застосування вбудованого вольметра ($p=0,96$) також забезпечує необхідний час оцінки технічного стану

$$T = \frac{5,44 \cdot 3,5 + 5}{0,96^{5,44}} = 30xв = T_0.$$

Висновки

1. Розроблено підхід до вибору засобів виміральної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку з урахуванням мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за умовним алгоритмом довільної форми, що забезпечить зменшення витрат на метрологічне обслуговування військової техніки зв'язку.

2. Показано, що достовірність отриманих результатів під час експериментального дослідження запропонованого підходу підтверджується використанням апробованого математичного апарату, обґрунтованою постановкою завдання і зведенням результатів до відомих в окремих випадках: зворотна підстановка $\mu = m + 1$, $\lfloor K \rfloor = \lceil K \rceil = K$, $l_i = L$, $m = 2$ при зміні форми УА від F4 до F1 приведе до отримання вихідних виразів (1) і (2), адекватність яких підтверджується результатами прямих обчислень.

Подальшим завданням дослідження є розроблення на основі запропонованого підходу методики обґрунтування метрологічних характеристик засобів виміральної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку.

Список літератури

1. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01. – К.: Державний стандарт України, 1996. – 90 с.
2. Сакович Л.Н. Выбор средств измерений согласно требований к ремонтпригодности средств связи / Л.Н. Сакович, В.Н. Дзюба, В.П. Павлов // Зв'язок. – 2003. – №2. – С.23–25.
3. Шабалин Ю.В. Методы и алгоритмы выбора средств измерений при синтезе системы метрологического обеспечения / Ю.В. Шабалин // Измерительная техника. – 1998. – № 8. – С.64-69.
4. Сакович Л.Н. Определение метрологических характеристик средств измерений для обслуживания и ремонта средств связи / Л.Н. Сакович, В.Н. Дзюба, В.П. Павлов // Зв'язок. – 2003. – №5. – С.17–19.

5. Игнаткин В.У. *Оценивание неопределенности при выборе оптимального количества измерений и класса точности средств измерительной техники* / В.У. Игнаткин, Л.М. Виткин, В.А. Литвиненко, О.И. Белый // *Системы обработки информации*. – 2009. – Вып. 5 (79). – С. 33–36.

6. Сакович Л. *Выбор средств измерений для технического обслуживания и текущего ремонта оборудования систем защиты информации* / Л. Сакович, В. Рыжаков, В. Павлов // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні*. Вып. №7. – К.: НТУУ "КПІ". – 2003. – С. 77–85.

7. Павлов В.П. *Методики дефектации военной техники связи при неплановых ремонтах: дис. канд. техн. наук: 20.02.14* / В.П. Павлов. – К., 2006. – 182 с.

8. Ксёэнз С.П. *Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств* / С.П. Ксёэнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.

9. Сакович Л.Н. *Количественная оценка диагностических ошибок при восстановлении работоспособности техники связи* / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // *Зв'язок*. – 2008. – №5-6. – С.58–61.

10. Сакович Л.Н. *Количественная оценка математического ожидания максимального отклонения диагноза* / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // *Зв'язок*. – 2009. – №3. – С.47–49.

11. Сакович Л.Н. *Количественная оценка достоверности диагностирования при устранении аварийных поврежденных техники связи* / Л.Н. Сакович, Ю.П. Вансович // *Зв'язок*. – 2010. – №2. – С.47–49.

12. *Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники: В 4 кн.* – М.: Воениздат, 1986. – Кн. 4: *Методика оценки качества средств и систем измерений и контроля*. – 61 с.

13. *Руководство по оценке правильности применения электрорадиоизделий и средств измерений в аппаратуре*. – М., Воениздат, 1982.

14. *Типовые методики метрологической экспертизы образцов и комплексов вооружения и военной техники: В 4 кн.* – М.: Воениздат, 1986. – Кн. 3: *Методика оценки единства, точности измерений и достоверности контроля параметров*. – 68 с.

15. Сакович Л.Н. *Количественная оценка вероятностных характеристик диагностических ошибок при ремонте техники связи* / Л.Н. Сакович, В.П. Романенко // *Зв'язок*. – 2011. – №4. – С.60–62.

16. *Дослідження перспективних напрямків підвищення ефективності системи ремонту засобів спеціального зв'язку та захисту інформації Держспецзв'язку: Звіт про НДР "Пошук" ІСЗЗІ НТУУ "КПІ": науковий керівник В.В. Козловський*. – К., 2013. – 115 с. Інв. 1249.

17. Рыжаков В.А. *Автоматизация диагностирования средств связи с кратными дефектами* / В.А. Рыжаков, Л.Н. Сакович // *Зв'язок*. – 1997. – №2. – С.44–46.

Рецензент: д.т.н., доц. Б.Ю. Волочій, Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

Подход к выбору средств измерительной техники военного назначения для метрологического обслуживания военной техники связи

М.Ю. Яковлев, Е.В. Рыжов

В статье разработан подход к выбору средств измерительной техники военного назначения для метрологического обслуживания военной техники связи с учетом минимально необходимого значения вероятности правильной оценки результата выполнения измерений по условным алгоритмам произвольной формы.

Ключевые слова: *военная техника связи, метрологическое обслуживание, класс точности, метрологические характеристики, средства измерительной техники военного назначения, вероятность правильной оценки результата измерения, условные алгоритмы.*

Approach to selection of military measurement means for metrological maintenance of military communication means

M. Yakovlev, Y. Ryzhov

An approach to selection of military measurement means for metrological maintenance of military communication means taking into account minimum essential value of probability of correct assessment of the result of measurements for notional algorithm of free form has been developed in the article.

Key words: *military communication means, metrological maintenance, technical maintenance of state, maintenance testing, accuracy class, metrological parameters, military measurement means, probability of correct assessment of measurement result, notional algorithms.*