

УДК 623.61+621.396.6

**Є. В. РИЖОВ,**

кандидат технічних наук

(Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів),

**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. Київ)

## Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на показники ремонтпридатності військової техніки зв'язку

*Запропонований підхід до кількісної оцінки впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на час виконання перевірки параметрів військової техніки зв'язку при її технічному обслуговуванні і поточному ремонті. У відомих роботах для цього використовують приблизні значення імовірності безвідмовної роботи засобів вимірювальної техніки, що знижує точність результатів. Отримані результати дозволяють більш об'єктивно оцінити час виконання робіт та обґрунтовано обирати засоби вимірювальної техніки.*

*Предложен подход к количественной оценке влияния метрологической надежности средств измерительной техники на время выполнения проверки параметров военной техники связи при ее техническом обслуживании и текущем ремонте. В известных работах для этого используют приблизительные значения вероятности безотказной работы средств измерительной техники, что снижает точность полученных результатов. Полученные результаты позволят более объективно оценить время выполнения работ и обоснованно выбирать средства измерительной техники.*

Військова техніка зв'язку (ВТЗ) безперервно удосконалюється в напрямі підвищення значень показників якості, що веде до збільшення кількості елементів, але необхідний час технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) залишається без змін. В [1] показаний взаємозв'язок метрології і технічної діагностики, але відсутні рекомендації щодо обґрунтування вибору засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Рішення цієї задачі формалізовано в [2–5] без врахування впливу метрологічної надійності. Питання метрологічної надійності ЗВТ окремо розглянуто в [6–9], а рекомендації щодо її врахування під час ТО і ПР ВТЗ наведено в [10, 11]. При цьому використані приблизні значення імовірності безвідмовної роботи ЗВТ. Тому мета статті – кількісна оцінка впливу метрологічної надійності ЗВТ на час виконання вимірювань параметрів ВТЗ під час її ТО і ПР.

Під час ТО і ПР для визначення реального технічного стану ВТЗ використовують ЗВТ. При цьому середній час відновлення  $T_{\text{вн}}$  не повинен перевищувати припустиме значення  $T_{\text{вп}}$ , що задається керівними документами [10, 11],

$$T_{\text{вн}} = \frac{tK + t_y}{p^K \prod_{i=1}^N P_i(\tau)},$$

де  $t$  і  $t_y$  – середній час виконання перевірки і усунення несправності, відповідно;  $p$  – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки залежно від виду ЗВТ;  $N$  – кількість ЗВТ, що використовують під час ТО і ПР;  $P_i(\tau)$  – імовірність безвідмовної роботи ЗВТ виду  $i$  за міжповірочний інтервал  $\tau$ ;  $K$  – середня кількість перевірок для визначення технічного стану ВТЗ. При цьому значення  $0,85 \leq P_i(\tau) \leq 0,99$  вибирають орієнтовно [8–11], що веде до суттєвих помилок у визначенні  $T_{\text{вн}}$ .

Особливість експлуатації ЗВТ обумовлена забезпеченням її безвідмовності, переважно за прихованими метрологічними відмовами.

Негативні наслідки використання ЗВТ з метрологічними відмовами можуть бути надзвичайно великими і важко передбачуваними. Як показники метрологічної надійності ЗВТ використовують імовірність  $P_i(\tau)$  збереження значень метрологічних характеристик у заданих межах протягом міжповірочного інтервалу  $\tau$  [9, 12].

Необхідний рівень метрологічної надійності суттєво залежить від сфери застосування ЗВТ і обирається з умови забезпечення необхідної ефективності обслуговуваних технічних пристроїв. Як правило, цей рівень для робочих ЗВТ становить 0,85 ... 0,90, а для зразкових – 0,90 ... 0,99 [9, 12].

Кількісно імовірність збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ в конкретних умовах експлуатації можливо оцінити за виразом [9]

$$P_i(\tau) = 1 - mK_M K_C,$$

де  $m$  – еквівалентна кількість відмов при експлуатації,  $m = \tau K_B / T$ ,  $K_M$  – частка метрологічних характеристик ЗВТ, не охоплених вбудованим контролем;  $K_C$  – статистична оцінка коефіцієнта прихованих відмов, що характеризує частку метрологічних відмов;

$K_B$  – середній коефіцієнт використання ЗВТ;  $T$  – наробіток ЗВТ на відмову.

Значення  $\tau$  отримують з керівних документів метрологічного забезпечення обслуговуваних технічних об'єктів або з технічного опису ЗВТ.

Відомо, що майстер з ремонту ВТЗ безпосередньо займається її відновленням 900 годин протягом року [13]. У такому разі коефіцієнт використання ЗВТ на пункті технічного обслуговування та ремонту за рік експлуатації

$$K_B = \frac{900}{8760} = 0,103.$$

За результатами аналізу технічного опису та інструкції з експлуатації конкретних зразків ЗВТ визначають  $K_M$ .

Значення  $K_C$  залежно від призначення ЗВТ при відсутності статистичних даних результатів експлуатації приладів-аналогів визначають за усередненими показниками табл. 1 [9].

Таблиця 1. Усереднені значення коефіцієнта прихованих відмов залежно від призначення ЗВТ

№ з/п	Назва параметра ВТЗ і призначення ЗВТ	$K_C$
1	Напруга	0,1
2	Параметри компонентів електричних кіл із зосередженими постійними	0,21
3	Потужність	0,23
4	Параметри елементів і трактів з розподіленими постійними	0,22
5	Частота і час	0,16
6	Різниця фаз і груповий час запізнювання	0,2
7	Форма сигналу і спектр	0,2
8	Характеристики радіопристроїв	0,16
9	Імпульсні сигнали	0,16
10	Напруга поля і радіозавад	0,18
11	Підсилювачі вимірювальні	0,15
12	Генератори вимірювальні	0,2
13	Ослаблення	0,21
14	Електричні і магнітні властивості матеріалів	0,16
15	Параметри коаксіальних і хвилевідних трактів	0,21
16	Параметри радіоламп і напівпровідникових приладів	0,24

Таблиця 2. Кількісна оцінка показників метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що використовуються під час обслуговування та ремонту короткохвильової радіостанції Р-1150

№ п.п.	Засіб вимірювальної техніки	$T$ , год	$K_M$	$K_C$	$P(\tau)$	$\sigma$
1	Електровимірювальний багатофункціональний прилад Ц-4353	1500	1,0	0,21	0,877	0,353
2	Вимірювач потужності МЗ-45	2000	1,0	0,23	0,899	0,319
3	Частотомір ЧЗ-63	3000	0,5	0,16	0,976	0,217
4	Вимірювач нелінійних спотворень С6-11	5000	0,1	0,16	0,997	0,054
5	Мілівольметр ВЗ-56	4000	1,0	0,10	0,978	0,148
6	Генератор високочастотних сигналів Г4-151	5000	0,3	0,20	0,989	0,187

Наробіток на відмову ЗВТ також беруть із статистичних даних, а при їх відсутності – з технічного опису приладів.

Середнє квадратичне відхилення оцінки імовірності збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ розраховують за виразом [9]

$$\sigma = mK_M \sqrt{K_C (0,15K_C + 1/m)}.$$

Розглянемо використання цих результатів на прикладі ЗВТ, що використовують під час технічного обслуговування та поточного ремонту короткохвильової радіостанції Р-1150 [14]. Результати розрахунків наведено в табл. 2 за умови, що  $\tau = 8760$  годин.

З врахуванням отриманих результатів в табл. 3 наведено часові показники виконання окремих операцій ТО короткохвильової радіостанції Р-1150 одним майстром. Тобто при врахуванні метрологічної надійності ЗВТ збільшується розрахунковий час виконання ТО на 5,5%.

Під час ПР короткохвильової радіостанції Р-1150 у випадку відмови вбудованої системи контролю пошук несправного типового елемента заміни виконують за умовним алгоритмом діагностування, що показаний на рис. 1.

Об'єкт складається з  $L = 4$  елемента, необхідний час відновлення його працездатного стану  $T_{вп} = 30$  хв. Бінарний умовний алгоритм діагностування забезпечує локалізацію дефекту після виконання  $K = 6$  перевірок.

У цьому випадку при  $t = 3$  хв і  $t_y = 5$  хв та використанні як ЗВТ аналогових вольтметрів Ц-4353 або ВЗ-56 ( $p = 0,845$ ) без врахування їх метрологічної надійності отримуємо

$$T_{в} = \frac{6 \cdot 3 + 5}{0,845^6} = 63 \text{ хв} > T_{вп},$$

тобто цей варіант не відповідає вимогам.

Використання цифрового вольтметра зі складу С6-11 ( $p = 0,9993$ ) дає позитивний результат навіть з врахуванням метрологічної надійності приладу:

$$T_{в} = \frac{6 \cdot 3 + 5}{0,997 \cdot 0,9993^6} = 23 \text{ хв} < T_{вп}.$$

Розглянемо ще приклад розрахунку  $T_{в}$  за умовним алгоритмом діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача великої потужності, що зображений на рис. 2 [11]. У цьому випадку також  $t = 3$  хв  $t_y = 5$  хв. При відмові у відомому режимі роботи  $K = 2$  і  $T_{в} \leq 30$  хв.

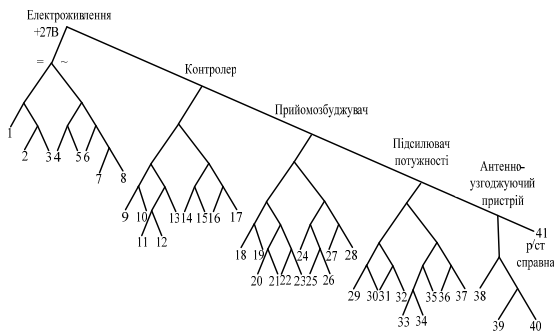


Рис. 1. Умовний алгоритм визначення технічного стану короткохвильової радіостанції Р-1150 при відмові вбудованої системи контролю

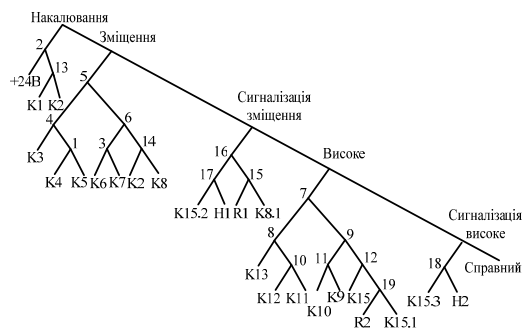


Рис. 2. Умовний алгоритм діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача

Використання електровимірювального багатфункціонального приладу Ц-4353 без врахування метрологічної надійності приводить до результату

$$T_v = \frac{2 \cdot 3 + 5}{0,845^6} = 15 \text{ хв} < T_{\text{вп}},$$

а з врахуванням метрологічної надійності приладу отримаємо

$$T_v = \frac{2 \cdot 3 + 5}{0,877 \cdot 0,845^2} = 17 \text{ хв} < T_{\text{вп}},$$

що на 13% більше, ніж в попередньому випадку.

**Висновки:**

1. Врахування метрологічної надійності ЗВТ при оцінці часу виконання ТО і ПР ВТЗ суттєво підвищує точність отриманих результатів.
2. Отримані результати доцільно використовувати в методиках [10, 11], що дозволить більш об'єктивно оцінити час виконання робіт та обґрунтовано обирати ЗВТ з мінімально необхідними значеннями метрологічних характеристик для зниження вартості ТО і ПР ВТЗ.

**СПИСОК ПОСИЛАНЬ**

1. Ксєнз С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М. : Радио и связь, 1989. 248 с.
2. Сакович Л. Н., Дзюба В. Н., Павлов В. П. Определение метрологических характеристик средств измерений для обслуживания и ремонта средств связи // Зв'язок. 2003. № 5. С. 17–19.
3. Ryzhov Y., Sacovych L. Minimization measurement requirements for maintenance and repair special communication means // Information Technology and Security: scientific works / Institute of Special Communication and Information Protection National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 2017. Vol. 5, Iss. 1(8). P. 106–114.
4. Рижов Є. В., Яковлев М. Ю. Методика обґрунтування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування

Таблиця 3. Перелік вимірюваних параметрів короткохвильової радіостанції Р-1150

№ п.п.	Параметр	ЗВТ	P <sub>i</sub>	Час вимірювання, год.	
				Згідно з інструкцією	З врахуванням метрологічної надійності
1	Чутливість	С6-11	0,9993	2,33	2,36
		Г4-151	0,834		
2	Потужність	М3-45	0,95	3,00	3,34
3	Діапазон ручного регулювання посилення	В3-56	0,85	0,25	0,26
		Г4-151	0,834		
4	Діапазон автоматичного регулювання посилення	В3-56	0,85	0,16	0,16
		Г4-151	0,834		
5	Частота опорного генератора	Ч3-63, годинник	0,9985	0,25	0,26
6	Нерівномірність АЧХ приймального тракту	Г4-151	0,834	1,15	1,19
		В3-56	0,85		
7	Нелінійні спотворення приймального тракту	Г4-151	0,834	1,15	1,17
		С6-11	0,9993		
8	Електроживлення	Ц-4353	0,845	0,08	0,09
<b>Загальний час виконання, год</b>				<b>8,37</b>	<b>8,83</b>

- військової техніки зв'язку // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ : тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції. Львів : АСВ, 2015. С. 166–167.
5. Павлов В. П. Методики дефектації военной техніки связи при неплановых ремонтах : дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14. К., 2006. 182 с.
  6. Ким К. К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника : учеб. пособие. СПб. : Питер, 2008. 368 с.
  7. Яковлев М. Ю. Развитие теории метрологической надёжности засобів вимірювальної техніки військового призначення : автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.01.02. Львів, 2011. 39 с.
  8. Кононов В. Б. Визначення міжповірочних (калібрувальних) інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення / В. Б. Кононов // Авиационно-космическая техника и технология. - 2011. - № 7. - С. 235–237.
  9. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО / В. Б. Кононов, О. В. Водолажко, О. В. Коваль [та ін.]. Х. : ХНУПС, 2017. 288 с.
  10. Яковлев М. Ю., Рижов Є. В., Сакович Л. М., Аркушенко П. Л. Удосконалення методу завдання вимог до мінімально припустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2017. № 4 (29). С. 137–143.
  11. Рижов Є. В., Сакович Л. М. Метод обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату перевірки параметрів // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Сер. Приладобудування. 2017. Вип. 54 (2). С. 96–106. URL: [https://doi.org/10.20535/1970.54\(2\).2017.119562](https://doi.org/10.20535/1970.54(2).2017.119562).
  12. Цибина А. А., Шолов А. М. Опыт внедрения на ЭВМ методики установления межповерочных интервалов // Измерительная техника. 2008. № 1. С. 16–17.
  13. Сакович Л. М., Гиренко І. М. Моделювання роботи апаратної технічного забезпечення // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони / НУОУ. 2017. № 1 (28). С. 47–52.
  14. Короткохвильова радіостанція Р-1150: посібн. по експлуатації. ААНЗ.464414.001 РЭ. О. : Телекард-Прилад, 2013. 205 с.
- Рецензент П. І. Ванкевич**, д-р техн. наук, старший наук. співробітник  
(Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного)