

УДК 623.61+621.396.6

Є.В. РИЖОВ,

кандидат технічних наук

(Національна академія сухопутних військ імені
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)**Л.М. САКОВИЧ,** кандидат технічних наук,
доцент(Інститут спеціального зв'язку та захи-
сту інформації Національного технічного
університету України "Київський політехнічний
інститут" ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)**Ю.А. НАСТИШИН,** доктор фізико-
математичних наук, старший науковий
співробітник**Н.В. КИРИЛЛОВА**(Національна академія сухопутних військ імені
гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)

Обґрунтування мінімально необхідних вимог до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного ремонту військової техніки зв'язку

Актуальність статті полягає у мінімізації витрат на метрологічне обслуговування військової техніки зв'язку у зв'язку з недостатнім фінансуванням заходів технічної експлуатації в цілому. У статті обґрунтовано мінімально необхідні вимоги до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного ремонту військової техніки зв'язку, що забезпечує зменшення часу її відновлення за рахунок вдосконалення діагностичного забезпечення. Запропонована блок-схема алгоритму мінімізації вартості засобів вимірювань при збереженні необхідного рівня ремонтпридатності військової техніки зв'язку. Отримані результати дозволяють оцінити якість метрологічного забезпечення технічного обслуговування та поточного ремонту військової техніки зв'язку. Показано порядок використання отриманих результатів на прикладі розробки діагностичного забезпечення блоку електроживлення збуджува-

ча і радіоприймача радіостанції середньої потужності Р-161 та приведено її діагностичну модель у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків.

Встановлено, що ефект від використання отриманих у статті результатів полягає в зниженні до 18% середнього часу відновлення радіостанції середньої потужності Р-161 за рахунок вдосконалення діагностичного та метрологічного забезпечення. Отримані результати доцільно використовувати при кількісній оцінці показників діагностичного забезпечення військової техніки зв'язку.

Ключові слова: засоби вимірювань, діагностування, метрологічне забезпечення технічного обслуговування, військова техніка зв'язку.

Актуальность статьи состоит в минимизации затрат на метрологическое обслуживание военной техники связи в связи с недостаточным финансированием мероприятий технической эксплуатации в целом. В статье обосновано минимально необходимые требования к средствам измерений при двухступенчатой системе диагностики в процессе текущего ремонта военной техники связи, что обеспечивает уменьшение времени её восстановления за счет совершенствования диагностического обеспечения. Предложенная блок-схема алгоритма минимизации стоимости средств измерений при сохранении необходимого уровня ремонтпригодности военной техники связи. Полученные результаты позволяют оценить качество метрологического обеспечения технической эксплуатации и текущего ремонта военной техники связи. Показан порядок использования полученных результатов на примере разработки диагностического обеспечения блока электропитания возбуждателя и радиоприемника радиостанции средней мощности Р-161 и приведено её диагностическую модель в виде графа информационно-энергетических связей.

Установлено, что эффект от использования полученных в статье результатов заключается в снижении до 18% среднего времени восстановления радиостанции средней мощности Р-161 за счет совершенствования диагностического и метрологического обеспечения. Полученные результаты целесообразно использовать при количественной оценке показателей диагностического обеспечения военной техники связи.

Ключевые слова: средства измерения, диагностирование, метрологическое обеспечение технической эксплуатации, военная техника связи.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Необхідність оцінки реального технічного стану (ТС) військової техніки зв'язку (ВТЗ) виникає при її метрологічному обслуговуванні (МОБ) під час технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) [1-4]. При цьому потрібно за встановлений час, що визначається інструкціями з експлуатації або керівними документами з надійності та ремонтпридатності, шляхом вимірювання у встановлений послідовності значень деякої кількості параметрів із сукупності можливих із заданою або максимально можливою ймовірністю оцінити ТС виробу. В даний час у зв'язку з недостатнім фінансуванням заходів технічної експлуатації ВТЗ актуальним є завдання мінімізації витрат на МОБ, що не враховують відомі методики [1, 5, 6], орієнтовані на мінімізацію часу ТО або ПР. А також актуальним є завдання зменшення часу відновлення ВТЗ за рахунок вдосконалення діагностичного забезпечення у порівнянні з [7].

Тому метою статті є обґрунтування мінімально необхідних вимог до засобів вимірювань при двоступеневій системі діагностування в процесі поточного ремонту військової техніки зв'язку.

Виклад основного матеріалу

При поточному ремонті ВТЗ на першому етапі використовують вбудовані засоби діагностування, після чого на другому етапі за допомогою зовнішніх засобів вимірювання ведеться пошук несправного елемента в блоці або підсистемі.

Розглянемо можливі варіанти алгоритмів діагностування. При реалізації на першому етапі бінарних алгоритмів з модулем вибору $m=2$ (індикаторів типу «норма – не норма») в найпростішому випадку для $L=6$ елементів (рис. 1а) отримуємо математичне сподівання відхилення діагнозу від його істинного значення при одній помилці оператора в оцінці результату виконання перевірки при відмові елемента $i=1, 6$:

$$\rho_1 = 3g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_6;$$

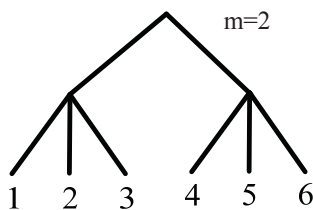
$$\rho_2 = 2g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_5;$$

$$\rho_3 = g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_4;$$

де g_i – ймовірність помилкової оцінки результату виконання перевірки i , p_i – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки i . В такому випадку середнє значення математичного сподівання відхилення діагнозу

$$\rho' = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \rho_i = \frac{2(6g_1p_2 + 3p_1g_2)}{6} = 2g_1p_2 + p_1g_2.$$

а)



У другому випадку при використанні на першому етапі приладу, де значення «норма» виділено сектором на шкалі, отримуємо для $L=6$ і $m=3$ (рис. 1б):

$$\rho_1 = 2g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_6;$$

$$\rho_2 = g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_5;$$

$$\rho_3 = g_1p_2 + p_1g_2 = \rho_4;$$

$$\rho'' = \frac{8g_1p_2 + 6p_1g_2}{6} = 1,333g_1p_2 + p_1g_2.$$

Очевидно, що $\rho'' < \rho'$, отже, на першому етапі діагностування доцільно використовувати засоби вимірювання з можливістю оцінки результату «менше норми – норма – більше норми», тобто $m=3$.

Для встановлення закономірності існування комбінаторного ритму ρ_i розглянемо неоднорідний умовний алгоритм досконалої форми для $L=24$ з $m=3$ першої перевірки і $m=2$ для інших. В такому випадку отримуємо:

$$\rho_1 = 8g_1p_2^3 + 4p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{24};$$

$$\rho_2 = 7g_1p_2^3 + 3p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{23};$$

$$\rho_3 = 6g_1p_2^3 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{22};$$

$$\rho_4 = 5g_1p_2^3 + p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{21};$$

$$\rho_5 = 4g_1p_2^3 + p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{20};$$

$$\rho_6 = 3g_1p_2^3 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{19};$$

$$\rho_7 = 2g_1p_2^3 + 3p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{18};$$

$$\rho_8 = g_1p_2^3 + 4p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{17};$$

$$\rho_9 = g_1p_2^3 + 4p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{16};$$

$$\rho_{10} = 2g_1p_2^3 + 3p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{15};$$

$$\rho_{11} = 3g_1p_2^3 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{14};$$

$$\rho_{12} = 4g_1p_2^3 + p_1g_2p_2^2 + 2p_1g_2p_2^2 + p_1g_2p_2^2 = \rho_{13};$$

Тоді середнє значення математичного сподівання відхилення діагнозу дорівнює:

$$\rho = \frac{\left(\sum_{i=1}^8 i + \sum_{i=1}^4 i\right)p_1g_2^3 + \left(3\sum_{i=1}^4 i + 6\sum_{i=1}^2 i + 12\right)p_1g_2p_2^2}{12} = \frac{46}{12}p_1g_2^3 + 5p_1g_2p_2^2.$$

Легко помітити, що після поділу першою перевіркою об'єкта на $m=3$ частини отримуємо бінарні умовні алгоритми досконалої форми для 8 елементів, кількісна оцінка значення ρ для яких наведена в [1, 2, 4]. Тоді для даного прикладу

$$\rho = \frac{\left(\sum_{i=1}^{L/m} i + \sum_{i=1}^{L/2m} i\right)}{L/2} p_1g_2^{K_2} + \frac{\left(\frac{L}{m} + K_2 - 1\right)}{2} p_1g_2^{K_2-1},$$

б)

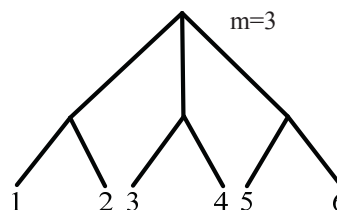


Рис. 1. Умовні неоднорідні алгоритми діагностування досконалої форми

де $K_2 = \log_2 \frac{L}{m}$ – середнє число перевірок на другому етапі пошуку. Розкриваючи суми остаточно отримуємо:

$$\rho = \frac{1}{2m} \left(3 + \frac{5L}{2m} \right) p_1 g_2^{K_2} + \frac{(L/m + K_2 - 1) p_1 g_2^{K_2 - 1}}{2} = \frac{46}{12} p_1 g_2^3 + 5 p_1 g_2 p_2^2,$$

що відповідає отриманому раніше результату.

У загальному випадку для алгоритмів виду рис. 2 математичне сподівання відхилення діагнозу при одній помилці в оцінці результату виконання перевірки

$$\rho = 0,5 p_2^{K_2 - 1} \left[(3 + 2,5 L/m) p_1 g_2 / m + (L/m + K_2 - 1) p_1 g_2 \right],$$

Наприклад, при використанні на першому етапі стрілочного вбудованого приладу з сектором «норма» на шкалі $p_1 = 0,971$, а на другому етапі цифрового приладу з $p_2 = 0,9993$ для алгоритму рис. 2 отримуємо $\rho = 0,1143 < 0,5$, що відповідає вимогам реалізації ремонту ВТЗ агрегатним методом [1-9].

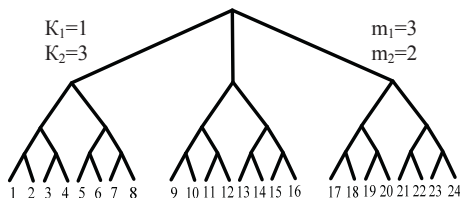


Рис. 2. Неоднорідний умовний алгоритм діагностування досконалої форми

На рис. 3 приведена блок-схема алгоритму мінімізації вимог до засобів вимірювань параметрів ВТЗ на другому етапі діагностування, де [1-9]:

$P = p_1 p_2^{K_2}$ – ймовірність правильної постановки діагнозу;

$Ta = \frac{(K_2 + 1)t + t_y}{P}$ – середній час відновлення;

t – середній час виконання перевірки;

t_y – середній час усунення несправності;

$Tвд$ – допустиме значення середнього часу відновлення (задається в [10]).

Після отримання мінімально необхідного для другого етапу діагностування значення p_2 , клас точності або кількість розрядів засобів вимірювань визначають по відомим методикам [1-10].

Якщо форма алгоритму відрізняється від досконалої, то точне значення ρ можна отримати прямими обчисленнями або ж обмежаться використанням отриманого аналітичного виразу для орієнтовної оцінки, якщо при цьому $\rho < 0,5$.

Розглянемо порядок використання отриманих результатів на прикладі розробки діагностичного забезпечення блоку електроживлення збуджувача і радіоприймача радіостанції середньої потужності Р-161, функціональна схема якого приведена на рис. 4, а діагностична модель у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків на рис. 5 [11].

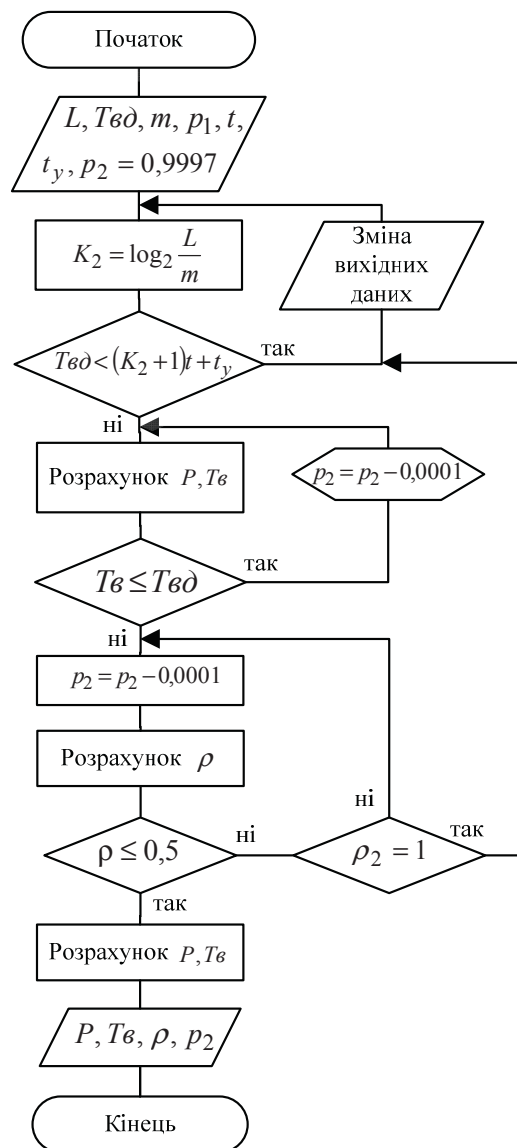


Рис. 3. Блок-схема алгоритму мінімізації вимог до засобів вимірювань на другому етапі діагностування

Об'єкт складається з $L = 63$ елементів, допустимий час відновлення $Tвд = 30$ хв., середній час виконання перевірки $t = 1$ хв., а усунення несправності $t_y = 6$ хв.

Аналіз структури об'єкта показує, що він є багато вихідним, причому однофункціональний, тому при розробці умовного алгоритму діагностування доцільно використовувати конструктивну, інформаційну й структурну надлишковість від об'єднання перевірок вихідних напруг.

Нехай максимальне значення модуля вибору неоднорідного умовного алгоритму діагностування $M = 6$ при одночасному аналізі результатів виконання 3 перевірок, тоді отриманий умовний алгоритм діагностування (рис. 6) набирає вигляду згідно з рис. 7. При цьому середня кількість перевірок $K = 4,49$.

Результати використання блок-схеми алгоритму рис. 3 в порівнянні з прототипом [11] наведені в табл. 1.

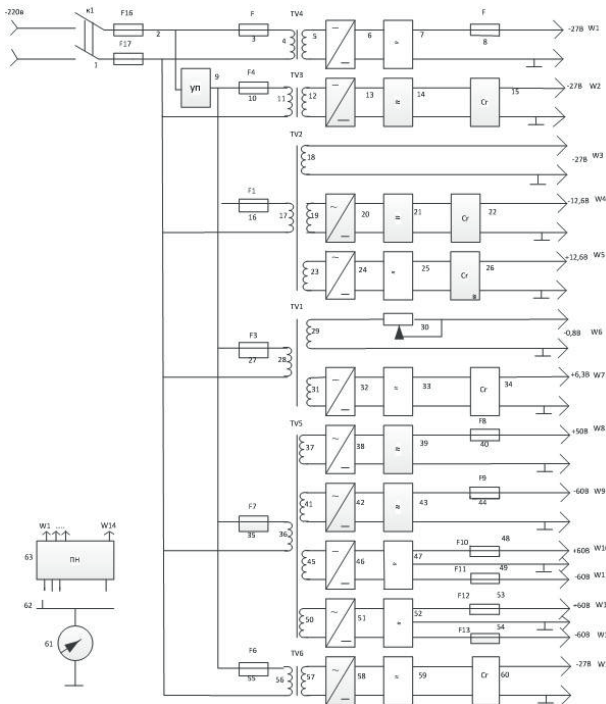


Рис. 4. Функціональна схема блоку електроживлення

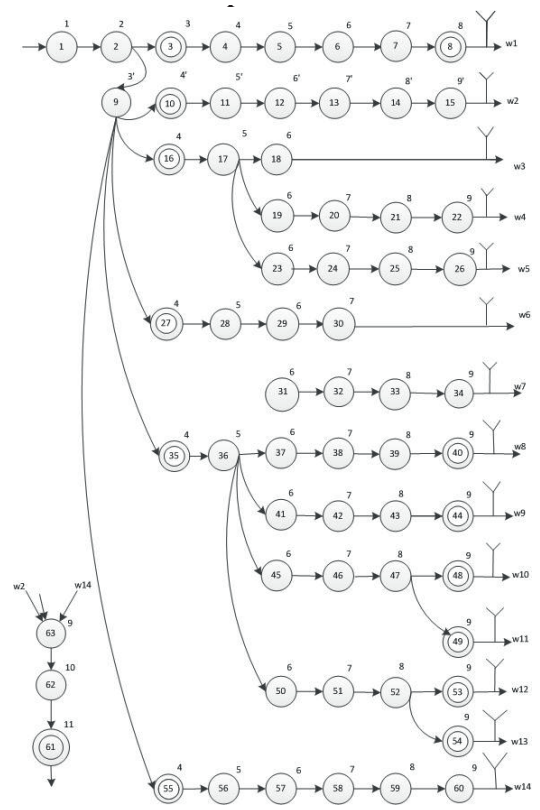
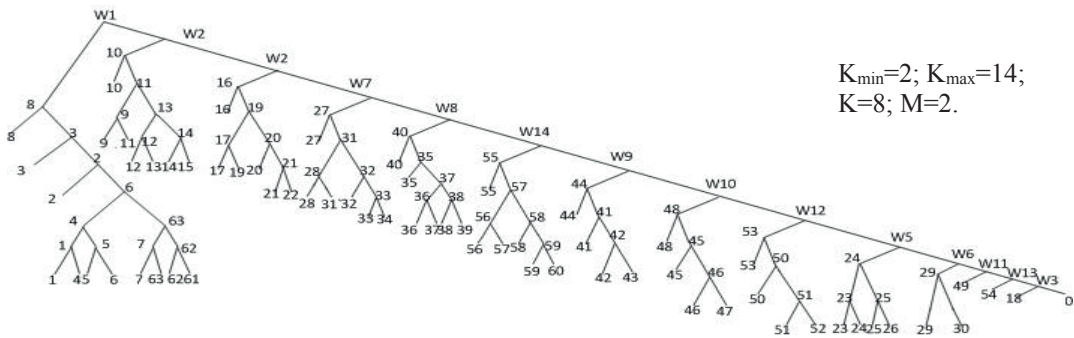
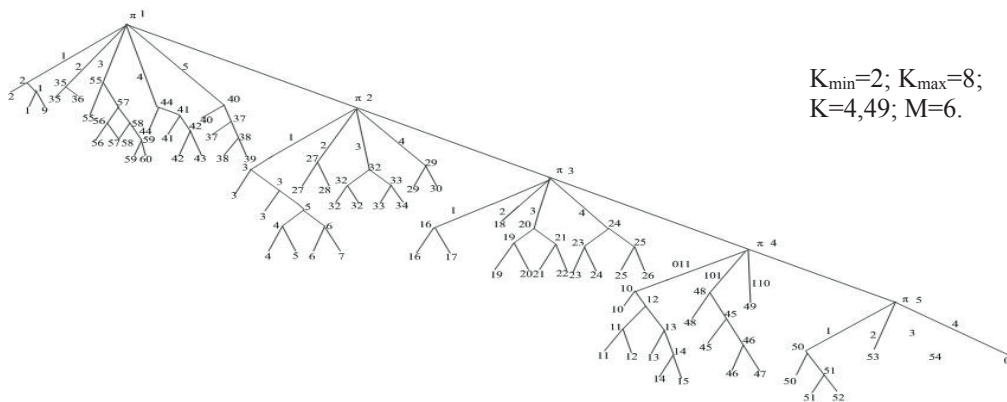


Рис. 5. Діагностична модель об'єкта у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків



$K_{\min}=2; K_{\max}=14;$
 $K=8; M=2.$

Рис. 6. Бінарний умовний алгоритм діагностування



$K_{\min}=2; K_{\max}=8;$
 $K=4,49; M=6.$

Рис. 7. Неоднорідний умовний алгоритм діагностування модернізованого блоку живлення

Таблиця 1

Показники якості діагностичного забезпечення

Показники якості	Прототип [11]	Блок-схема алгоритму рис. 3
Ймовірність правильної оцінки результату перевірки на другому етапі пошуку, p_2	0,985	0,917
Ймовірність правильної постановки діагнозу, P	0,934	0,674
Середній час відновлення, T_v , хв.	20,8	17,1
Математичне сподівання відхилення діагнозу, ρ	0,49	0,49

Застосування отриманих результатів при розробці діагностичного забезпечення в цьому випадку дозволяє на 7% зменшити вимоги до ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки, що веде до зниження вартості засобів вимірювань на другому етапі пошуку, а також на 18% скоротити середній час відновлення не дивлячись на деяке зниження ймовірності правильної постановки діагнозу, що не є істотним при ремонті агрегатним методом.

Висновки

1. Отримані результати доцільно використовувати при кількісній оцінці показників діагностичного забезпечення ВТЗ.

2. Результати досліджень дозволяють оцінити якість метрологічного забезпечення технічного обслуговування та поточного ремонту ВТЗ.

3. Запропонована блок-схема алгоритму спрямована на мінімізацію вартості засобів вимірювань при збереженні необхідного рівня ремонтпридатності ВТЗ.

4. Ефект від використання отриманих результатів полягає в зниженні до 18% середнього часу відновлення за рахунок вдосконалення діагностичного та метрологічного забезпечення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рижов Є.В. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / Є.В. Рижов, М.Ю. Яковлев, О.В. Ходич, П.Л. Аркушенко // Український метрологічний журнал. – 2015. – № 2. – С. 12-16. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2015.119367>.
2. Яковлев М.Ю. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / Є.В. Рижов, М.Ю. Яковлев // Військово-технічних збірник Академії сухопутних військ. – 2014. – № 1(10). – С. 119-127.
3. Рижов Є.В. Удосконалена методика обґрунтування параметрів для метрологічного

обслуговування техніки зв'язку / Є.В. Рижов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2018. – Вип. 55(1). – С. 53-60. DOI: [https://doi.org/10.20535/1970.55\(1\).2018.135893](https://doi.org/10.20535/1970.55(1).2018.135893).

4. Yevhen Ryzhov. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // Measurement. Journal of the International Measurement Confederation. Volume 123 (July 2018) pp. 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
5. Рижов Є.В. Методика обґрунтування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / Є.В. Рижов, М.Ю. Яковлев // Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ» – Львів: АСВ. – 2015. – С. 166-167.
6. Horst Czichos. Handbook of Technical Diagnostics: Fundamentals and Application to Structures and Systems. – 2013. – P. 559. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25850-3>.
7. Рижов Є.В. Методика обґрунтування метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / Є.В. Рижов, М.Ю. Яковлев // Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ» – Львів: АСВ. – 2015. – С. 166-167.
8. Khandpur R.S. Troubleshooting electronic equipment: Includes Repair And Maintenance, Second Edition: McGraw-Hill Education (India) Private Limited, 2003. 417 p.
9. Anna Timofiejczuk. Advances in Technical Diagnostics: Proceedings of the 6th International Congress on Technical Diagnostic, ICDT2016, 12-16 September 2016, Gliwice, Poland. 521 p.
10. Требования к ремонтпригодности вновь разрабатываемых и модернизируемых средств связи. РТМ. – М.: Воениздат, 1982. – 51 с.
11. го забезпечення поточного ремонту техніки зв'язку з комплексним використанням її надлишковості / Л.М. Сакович, Ю.С. Василук // Зв'язок. – 2016. – №2. – С.48-55.

Стаття надійшла до редколегії 17.10.2018 р.

Рецензент П.І. Ванкевич, д-р техн. наук,
с.н.с. (Національна академія сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів)