УДК 623.4.084:621.396.96

Б. В. Гайбадулов, Д. С. Карамишев, А. А. Сабадин, О. Ю. Торопко

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ ТА ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ СВУ 9А310М1 ТА ЇЇ МОДИФІКАЦІЙ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Анотація. *Проаналізовано архітектуру передавальної системи радіолокаційної станції 9С35М1 самохідної вогневої установки 9А310М1 та її модифікацій зенітного ракетного комплексу (ЗРК) "Бук-М1" та виявлено причини значних часових витрат під час застосування штатного алгоритму послідовного пошуку відмов у бойових умовах. Запропоновано комбіновану дворівневу методику поточного ремонту, яка поєднує попередній безконтактний інфрачервоний термографічний контроль високовольтних вузлів (Р-2КМ, Р-2КИ, Р-20К) із інструментальною діагностикою методом структурної декомпозиції (половинного ділення). Розрахунково підтверджено скорочення середньої кількості діагностичних операцій з 9 до 3,1 кроку, що зменшує час пошуку несправності з 45 до 15 хвилин, знижує загальну тривалість відновлення боєздатності виробу в 1,7 раза та підвищує коефіцієнт готовності комплексу.*

Ключові слова: *передавальна система, самохідна вогнева установка 9А310М1, поточний ремонт, метод половинного ділення, тепловізійний контроль.*

Abstract. *The architecture of the transmitting system of the 9S35M1 radar station of the 9A310M1 self-propelled fire unit and its modifications of the "Buk-M1" air defense missile system is analyzed, and the causes of significant time expenditures during the application of the standard sequential fault-finding algorithm under combat conditions are identified. A combined two-level current repair methodology is proposed, integrating preliminary non-contact infrared thermographic inspection of high-voltage units (R-2KM, R-2KI, R-20K) with instrumental diagnostics based on the structural decomposition (half-splitting) method. Calculations confirm a reduction in the average number of diagnostic operations from 9 to 3.1 steps, decreasing fault localization time from 45 to 15 minutes, reducing total combat readiness recovery time by a factor of 1.7, and increasing the operational availability factor of the system.*

Keywords: *transmitting system, 9A310M1 self-propelled fire unit, current repair, half-splitting method, thermal imaging inspection.*

Вступ

Інтенсивність бойового застосування підрозділів зенітних ракетних військ Повітряних Сил Збройних Сил України під час відбиття ударів крилатих ракет, безпілотних літальних апаратів і баражуючих боєприпасів зумовлює підвищене експлуатаційне навантаження на самохідні вогневі установки (СВУ) 9А310М1 ЗРК "Бук-М1" та їх модифікації [1, 2]. Тривалий термін експлуатації озброєння, ускладнена логістика постачання запасних частин і обмежений час перебування вогневих засобів на позиціях через загрозу вогневого ураження часто унеможливлюють виконання повного обсягу планово-попереджувальних регламентних робіт (ТО-1, ТО-2) [3]. За таких умов основним видом підтримання справності техніки стає оперативний поточний ремонт за фактом відмови безпосередньо на позиції, де тривалість простою СВУ прямо впливає на живучість зенітної ракетної батареї та результативність протиповітряної оборони.

Результати дослідження

Штатна експлуатаційна документація виробу 9А310М1 регламентує пошук несправностей методом послідовного перебору функціональних ланцюгів від джерела живлення до кінцевого навантаження або у зворотному напрямку [4]. Цей підхід характеризується значними трудовитратами, вимагає багаторазового роз'єднання високовольтних і сигнальних комутацій для підключення вимірювальних приладів та не враховує різницю в напрацюванні на відмову окремих блоків. Крім того, відсутність у штатній системі технічного обслуговування засобів ранньої безконтактної діагностики теплових режимів унеможливлює своєчасне виявлення деградації силових контактів та ізоляції до моменту виникнення аварійного пробою.

Метою роботи є удосконалення методики пошуку несправностей та поточного ремонту передавальної системи СВУ 9А310М1 у польових умовах шляхом поєднання безконтактного тепловізійного експрес-контролю та алгоритму структурної декомпозиції (половинного ділення) для скорочення часу відновлення боєздатності комплексу.

Аналіз практики експлуатації передавача огляду в бойових умовах дозволяє поділити характерні відмови апаратури на дві категорії [5]:

– раптові відмови – стохастичний пробій високовольтної ізоляції трансформаторів модулятора Р-2КМ, обрив нитки розжарення або вихід з ладу комутаційних тиратронів і ламп ГМІ, що призводить до миттєвої втрати боєздатності;

– поступові відмови – локальний перегрів силових ланцюгів (27 В, ±3 кВ, 12 кВ) внаслідок окислення посріблених контактів і послаблення затяжки роз'ємів після маршів, а також зниження вихідної потужності клістронів через старіння катодів.

Для скорочення часу перебування ремонтної групи на вогневій позиції розроблено комбіновану дворівневу методику пошуку несправностей при відсутності сигналу “ГОТ.О” на пульті управління Р-19М1.

На першому етапі реалізується безконтактний тепловізійний експрес-контроль. Згідно із законом Джоуля-Ленца, зростання перехідного опору в контактних групах або струмів витоку у високовольтній ізоляції (±3 кВ, 12 кВ) спричиняє локальне виділення тепла, тоді як обрив кіл живлення призводить до аномального охолодження навантажених вузлів. Оператор відкриває двері шаф Р-2К і Р-2Г без зняття захисних кожухів блоків, переводить передавач у режим “Еквівалент” на 3-5 хвилин і сканує апаратуру портативним тепловізором (спектральний діапазон 7-14 мкм, роздільна здатність матриці не менше 320×240 пікселів) [6, 7]. Тривалість отримання термограми всієї шафи не перевищує однієї хвилини, а дистанційний характер вимірювань усуває ризик ураження особового складу електричним струмом. Виявлення теплової аномалії на першому етапі дозволяє миттєво локалізувати пошкоджений вузол і перейти до його агрегатної заміни, заощаджуючи до 80 % часу, відведеного на діагностичні процедури.

Якщо теплове поле шаф Р-2К та Р-2Г перебуває в межах норми або фіксує відсутність нагріву виконавчих блоків, обслуга переходить до другого етапу – інструментального пошуку методом структурної декомпозиції (половинного ділення) [5, 7].

Кількісну оцінку ефективності розробленої методики виконано для основного тракту передавача огляду, який охоплює $N = 16$ функціональних вузлів (від задавального генератора до антенно-хвилевідної системи). Для штатного методу послідовного аналізу середня кількість перевірок K_{posl} визначається математичним очікуванням [5]:

$$K_{posl} = \frac{16+1}{2} = 8{,}5 \approx 9 \text{ перевірок} \qquad (1)$$

Застосування алгоритму половинного ділення скорочує максимальну кількість інструментальних перевірок K_{bin} за логарифмічною залежністю:

$$K_{bin} = \log_2 N = \log_2 16 = 4 \text{ перевірки} \qquad (2)$$

Статистика експлуатації високовольтної апаратури свідчить, що близько 30 % несправностей супроводжуються вираженими тепловими аномаліями та виявляються на етапі термографії за одну операцію ($K_{termo} = 1$). Тоді середньозважена кількість діагностичних кроків для запропонованого комбінованого методу K_{comb} становить:

$$K_{comb} = 0{,}3 \cdot 1 + 0{,}7 \cdot 4 = 3{,}1 \text{ перевірки} \qquad (3)$$

Враховуючи, що одна вимірювальна операція (комутація роз'єму, підключення щупів приладу, зняття показів) займає в середньому 3-5 хвилин, впровадження комбінованого алгоритму зменшує тривалість пошуку несправності у 3 рази (з 45 до 15 хвилин).

Скорочення середнього часу відновлення $T_{в}$ (з урахуванням 10 хвилин на підготовчі операції та 20 хвилин на агрегатну заміну блоку із ЗІП) із 75 до 45 хвилин (у 1,7 раза) безпосередньо підвищує коефіцієнт готовності вогневої установки $K_{г} = T_0 / (T_0 + T_{в})$, де T_0 – середній час напрацювання на відмову. Евакуація демонтованого несправного блоку до ремонтної роти для стаціонарного відновлення дозволяє СВУ 9А310М1 своєчасно змінити вогневу позицію та продовжити виконання бойового завдання.

Висновки

Поєднання попереднього безконтактного тепловізійного експрес-контролю високовольтних шаф Р-2К та Р-2Г із алгоритмом інструментального пошуку методом половинного ділення відносно контрольної точки живлення адаптує систему поточного ремонту СВУ 9А310М1 до вимог високоінтенсивних бойових дій без втручання в конструкцію апаратури. Запропонована методика скорочує середню кількість перевірок з 9 до 3,1, зменшує час локалізації відмови з 45 до 15 хвилин, забезпечує скорочення загального часу відновлення боєздатності комплексу в 1,7 раза, знижує знос високовольтних роз'ємів та запобігає аварійним пожежам силових трансформаторів і клістронів.

Список використаних джерел:

1. Ярош С. П., Ткачов В. В. Особливості застосування зенітних ракетних військ в умовах гібридних конфліктів та повномасштабної агресії. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2022. № 2(47). С. 19–26.
2. Алімпієв А. М., Пєвцов Г. В., Хударковський К. І. Теоретичні основи побудови зенітних ракетних систем : підручник. Харків : ХНУПС, 2019. 488 с.
3. Баркалов А. О., Тіхонов І. В. Основи експлуатації та ремонту озброєння та військової техніки ППО : навч.-метод. посіб. Харків : ХНУПС, 2021. 156 с.
4. Виріб 9А310М1. Інструкція з експлуатації. Ч. 2 : Поточний ремонт : ГС 1.641.006 ІЕ2.
5. Ланецький Б. Н. Основи теорії надійності, експлуатації і ремонту РЕА зенітних ракетних систем : довід. матеріали. Харків : ХВУ, 1998. 400 с.
6. Пурнама Х. С., Сетіо М. Впровадження передбачувального обслуговування на оборонних радарах методом FMECA та PHP. Матеріали 4-ї міжнародної симпозіумної конференції Боробудур з науки і технології (BIS-STE 2022). Атлантис Прес, 2023. 8 с. DOI: 10.2991/978-94-6463-204-0_49.
7. Ян Міндзін. Дослідження застосування бінарного пошуку для виявлення несправностей у залізничних сигнальних ланцюгах. Web of Proceedings. 2024. 6 с. URL: https://webofproceedings.org/proceedings_series/ESR/ICMMCT%202024/M12.pdf.

Гайбадулов Борис Вікторович – доцент кафедри зенітних ракетних комплексів малої дальності Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kotsany47@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-5792-400X

Карамишев Дмитро Сергійович – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kotsany47@gmail.com

Сабадин Анатолій Анатолійович – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kotsany47@gmail.com

Торопко Олексій Юрійович – курсант Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська, буд. 77/79, інд. 61023, e-mail: kotsany47@gmail.com

Borys Viktorovych Haibadulov – Associate Professor of the Department of Short-Range Surface-to-Air Missile Systems Armament at the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., postcode 61023, e-mail: kotsany47@gmail.com ORCID https://orcid.org/0000-0001-5792-400X

Dmytro Serhiyovych Karamyshev – cadet at the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., postcode 61023, email: kotsany47@gmail.com

Anatoliy Anatoliyovych Sabadin – cadet at the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., postcode 61023, email: kotsany47@gmail.com

Oleksiy Yuriyovych Toropko – cadet at the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, 77/79 Sumska St., postcode 61023, email: kotsany47@gmail.com