

УДК 621.3

С.М. Власик

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОБҐРУНТУВАННЯ ІНТЕРВАЛУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Показано, що в процесі експлуатації змінюються технічні характеристики радіоелектронного обладнання озброєння та військової техніки, що впливає на визначення інтервалу їх технічного обслуговування, тобто на необхідність коригувати такі інтервали в процесі експлуатації для більш ефективного використання озброєння. Розроблена методика обґрунтування інтервалу технічного обслуговування радіоелектронного обладнання озброєння відповідно до умов його експлуатації. Методика заснована на використанні статистичної інформації про зміну технічних характеристик радіоелектронного обладнання в процесі експлуатації.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, радіоелектронне обладнання, технічні характеристики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Метою операцій технічного обслуговування озброєння та військової техніки (ОВТ) є визначення технічного стану та підвищення достовірності справного стану озброєння. Особливо важливими операціями технічного обслуговування ОВТ є операції вимірювання та контролю параметрів радіоелектронного обладнання (РЕО) [1-2]. Це обумовлено складністю сучасних зразків ОВТ, постійним впровадженням в їх склад систем автоматизації, автоматизованих модулів управління та зв'язку тощо.

У процесі експлуатації технічні характеристики і параметри РЕО перетерплюють зміни. Ці зміни носять випадковий монотонний чи флюктуючий характер і приводять до відмов, тобто до неможливості ОВТ виконувати свої функції. Відмови можуть бути як явними, так і скритими. Як показують проведені дослідження, скриті відмови відбуваються значно частіше, ніж явні [3]. Виявити скриті відмови РЕО дозволяють тільки операції вимірювання (контролю) параметрів обладнання. Тому, з метою своєчасного виявлення відмов РЕО, особливо при переведенні ОВТ на експлуатацію за технічним станом, актуальним є розробка спеціальних методів коригування інтервалів технічного обслуговування (ІТО).

Актуальність досліджень обумовлена:

- зростанням ролі та значення РЕО в підтримці постійної бойової готовності сучасних і перспективних зразків ОВТ;
- загальною тенденцією підвищення вимог до автоматизації етапів експлуатації та застосуванні ОВТ;
- розробкою нормативно-методичного апарату щодо планового переведення ОВТ на експлуатацію за технічним станом;
- відсутністю наукових досліджень з питань встановлення оптимальних ІТО РЕО при експлуатації ОВТ за технічним станом.

**Аналіз публікацій.** Питанню визначення ІТО РЕО присвячена низка робіт, наприклад [1-5]. Проте вони не враховують специфіки експлуатації окремих зразків РЕО, особливо, з комплексів складних технічних комплексів військового призначення. Не оптимально визначений ІТО може негативно позначитися на процесі експлуатації ОВТ.

**Метою статті** є розробка методики обґрунтування інтервалів технічного обслуговування радіоелектронного обладнання відповідно до умов експлуатації озброєння та військової техніки.

### Основна частина

Інформацію про нестабільність або зміну параметрів РЕО ОВТ, яка необхідна для обґрунтування ІТО, можливо отримати за допомогою аналізу змін технічних характеристик аналогічних зразків РЕО або за результатами попередніх обслуговувань. Останній спосіб отримання інформації є більш зручним, тому що така інформація відбиває не тільки конструктивні особливості РЕО, але й індивідуальні властивості й специфіку експлуатації кожного зразку РЕО (механічні та кліматичні особливості, інтенсивність експлуатації, якість операцій обслуговування, умови транспортування тощо). Крім того, одержання такої інформації не пов'язане зі значними додатковими зусиллями та витратами. Необхідно організувати реєстрацію й зберігання такої інформації в зручному виді, наприклад, в формулярах на техніку та актах про проведення технічного обслуговування ОВТ.

Запропонована методика обґрунтування ІТО РЕО відповідно до умов експлуатації ОВТ складається з декількох етапів.

На першому етапі створюється база даних про результати технічного обслуговування РЕО ОВТ, для чого необхідно виділити групи однорідних зразків. До таких груп буде належати РЕО одного типу, яке має приблизно однакові умови експлуатації й однаковий рік випуску. Для формування таких груп

необхідно занести в базу даних інформацію про кожний екземпляр РЕО: позначення типу, найменування заводу-виробника, рік випуску з виробництва й заводський номер, умови експлуатації (інтенсивність використання й характеристики зовнішніх впливів), інформацію про їх відмови й ремонти, дати та результати попередніх і поточних обслуговувань. Формуючи різні вибірки з бази даних, можна групувати результати обслуговування за роками, що пройшли після випуску РЕО з виробництва або ремонту, з урахуванням умов експлуатації ОБТ. Далі проводять статистичну обробку згрупованих результатів обслуговування ОБТ, методика якої залежить від способу реєстрації, наведеного нижче.

1. Якщо при обслуговуванні реєструють значення параметрів кожного зразка РЕО, статистичну обробку проводять так само, як при проведенні випробувань на нестабільність.

2. Якщо при обслуговування РЕО реєструють тільки стан технічного параметру (в полі допуску чи поза полем допуску) і альтернативну ознаку – придатним або непридатним є РЕО, то виконують наступне. Визначають статистичні ймовірності знаходження параметрів РЕО  $\xi$  точки  $x$  діапазону у відповідній області значень [6]

$$\left. \begin{aligned} \bar{p}_1(t_i, x) &= \overline{\text{Pr obability}}\{\xi(t_i, x) < -\Delta(x)\}; \\ \bar{p}_2(t_i, x) &= \overline{\text{Pr obability}}\{\xi(t_i, x) < 0\}; \\ \bar{p}_3(t_i, x) &= \overline{\text{Pr obability}}\{\xi(t_i, x) \leq \Delta(x)\}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Цим ймовірностям відповідають вибіркові значення квантилів нормального розподілу  $\bar{\lambda}_1 = (t_i, x)$ ,  $\bar{\lambda}_2 = (t_i, x)$  і  $\bar{\lambda}_3 = (t_i, x)$ . Підставимо їх у наступне рівняння:

$$\Phi[G_j(t_i, x)] = \bar{p}_j(t_i, x), \quad (2)$$

де  $G_j(t_i, x)$  – функція двох змінних  $t_i$  і  $x$  визначається співвідношенням:

$$G_j(t_i, x) = \begin{cases} G(t_i, -\Delta(x)), & j = 1; \\ G_j(t_i, 0), & j = 2; \\ G_j(t_i, \Delta(x)), & j = 3, \end{cases}$$

тоді одержуємо систему трьох рівнянь щодо невідомих  $\bar{m}(t_i, x)$ ,  $\bar{\sigma}(t_i, x)$ ,  $\bar{U}(t_i, x)$  і  $\bar{R}(t_i, x)$ :

$$\frac{-\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - [\Delta(x) + \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_1(t_i, x); \quad (3)$$

$$\frac{-\bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} - \bar{m}(t_i, x)\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_2(t_i, x); \quad (4)$$

$$\frac{\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x) + \bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)}\bar{U}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)e^{-\bar{R}(t_i, x)} + [\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)]\bar{U}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_3(t_i, x). \quad (5)$$

Четвертим рівнянням є відома залежність:

$$\bar{R}(t_i, x) = f[\bar{U}(t_i, x)].$$

Після розв'язку рівнянь (3 – 5), одержимо вибіркові значення характеристик дрейфу параметрів РЕО ОБТ:

$$\bar{m}(t_i, x) = \Delta(x) \cdot \frac{(\lambda_3 - \lambda_1)[2\lambda_2(1 + \lambda_1\lambda_3) - (1 + \lambda_2^2)(\lambda_1 + \lambda_3)]}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2},$$

$$\bar{\sigma}(t_i, x) = 2\Delta(x)e^{\bar{R}(t_i, x)} \times \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1)(\lambda_3 + \lambda_2)}{[2\lambda_1\lambda_3 - \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_3)]^2 - [2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)]^2};$$

$$\bar{U}(t_i, x) = \frac{2\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_3)}{\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\lambda_3 - 2\lambda_1\lambda_3};$$

$$\bar{R}(t_i, x) = f[\bar{U}(t_i, x)], \quad \lambda_j = \bar{\gamma}_j(t_i, x), \quad j = 1, 2, 3.$$

Далі підбираємо апроксимуючі функції  $m(t, x)$ ,  $\sigma(t, x)$  і  $\gamma(t, x)$  виді:

$$m(t, x) = \sum_{k=0}^{l_m} m_k(x)t^k; \quad \gamma(t, x) = \sum_{k=1}^{l_m} \gamma_k(x)t^k;$$

$$\sigma(t, x) = \sigma(0, x) \exp\left[\sum_{k=1}^{l_m} r_{1k}(x)t^k\right].$$

Постійні коефіцієнти  $m_k(x)$ ,  $\sigma(0, x)$ ,  $r_{1k}(x)$  і  $\gamma_k(x)$  підбирають методом найменших квадратів для функцій  $m(t, x)$ ,  $\ln \sigma(t, x)$  і  $\gamma(t, x)$ . При визначенні  $\gamma(t, x)$  доцільно спочатку перевірити гіпотезу про нормальний розподіл нестабільності параметрів РЕО. Найпростіше це зробити за допомогою наближеного критерію значущості  $\bar{\gamma}(i\Delta t, x)$  [6]. Відповідно до нього гіпотезу про нормальність розподілу відкинути не можна, і приймаємо, що  $\gamma(i\Delta t, x) = 0$ , якщо виконується наступна умова:

$$\bar{\gamma}(i\Delta t, x) < \sigma_\gamma,$$

де  $\sigma_\gamma$  – середнє квадратичне відхилення розподілу коефіцієнта асиметрії  $\gamma(i\Delta t, x)$ , що характеризується співвідношенням:

$$\sigma_\gamma = \sqrt{6(N-1)/((N+1)(N+3))}.$$

3. Якщо при повірці реєструють тільки стан параметра РЕО, що визнані альтернативною ознакою придатності кожного зразка РЕО, то поступають пфгим чином. Обчислимо співвідношення (1) і (2) і за їх результатами визначимо відповідні статистичній ймовірності квантилі  $\bar{\lambda}_1(t_i, x)$  й  $\bar{\lambda}_2(t_i, x)$ :

$$\frac{-\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_1(t_i, x);$$

$$\frac{\Delta(x) - \bar{m}(t_i, x)}{\bar{\sigma}(t_i, x)} = \bar{\lambda}_2(t_i, x),$$

звідки знаходимо статистичні оцінки нестабільності параметрів РЕО у точці  $x$  діапазону:

$$\bar{m}(t_i, x) = -\Delta(x) \frac{\bar{\lambda}_1(t_i, x) + \bar{\lambda}_2(t_i, x)}{\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x)};$$

$$\bar{\sigma}(t_i, x) = \frac{2\Delta(x)}{\bar{\lambda}_2(t_i, x) - \bar{\lambda}_1(t_i, x)}.$$

Підбираємо апроксимуючі функції  $m(t, x)$  й  $\sigma(t, x)$ . Через обмеженість інформації про результати обслуговування приймаємо  $\gamma(t, x) = 0$ .

4. Якщо при обслуговуванні реєструють тільки альтернативну ознаку придатності РЕО у точці діапазону, то приймаємо, що

$$\sigma(0, x) = \Delta(x)/3, \quad \gamma(t, x) = 0.$$

Далі приймаємо допущення про симетричність щодо нуля розподілу параметра РЕО і для кожних  $t_i$  і  $x$ , відповідно до виразу:

$$r_1 = \frac{1}{t} \ln \left[ \frac{\Delta}{\lambda_{0,5[1-P(t)]}\sigma(0)} \right],$$

знаходимо:

$$\bar{r}_1(t_i, x) = \frac{1}{t_i} \ln \left( 3/\lambda_{0,5[1+\bar{p}(t_i, x)]} \right),$$

де  $\bar{p}(t_i, x)$  – статистична ймовірність придатності РЕО у момент  $t_i$  у точці  $x$  діапазону, що визначена за результатами обслуговування. За значеннями функції  $\bar{r}_1(t_i, x)$  підбираємо апроксимуючу функцію  $r_1(t, x)$ . Приймаємо допущення про незмінність у часі  $\sigma(t, x)$  й за аналогією з формулою

$$m_1(\tau) = (\Delta - \lambda_{P(t)}\sigma(0))/t,$$

знаходимо

$$\bar{p}(t_i, x) = \Delta(x) \cdot [1 - \lambda_{\bar{p}(t_i, x)}]/3.$$

де  $\lambda_{P(t)}$  – квантиль нормального розподілу, що відповідає ймовірності  $P(t)$ ;  $t$  – час, за який нормується ймовірність  $P(t)$ ;  $\Delta$  – межа допустимих значень параметру (або нестабільності) РЕО.

Підбираємо апроксимуючу функцію  $m(t, x)$ .

Далі визначаємо два значення ІТО, що відповідають допущенням про лінійний процес дрейфу

параметрів РЕО, і мінімальне з них приймаємо як оптимальний ІТО.

## Висновки

В статті обґрунтовано, що встановлений інтервал технічного обслуговування радіоелектронного обладнання озброєння та військової техніки, який визначений розробником, необхідно коригувати для більш ефективного використання озброєння в процесі експлуатації. Запропонована методика дозволяє обґрунтовувати оптимальний інтервал технічного обслуговування радіоелектронного обладнання за допомогою бази накопиченої інформації про зміну параметрів обладнання в процесі попередніх обслуговувань і за допомогою індивідуального прогнозування моментів виникнення відмов.

Розроблена методика враховує умови експлуатації радіоелектронного обладнання озброєння та військової техніки.

## Список літератури

1. Богданов Г.П. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов и др. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
2. Кудрицкий В.Д. Прогнозирование надежности радиоэлектронных устройств / В.Д. Курицкий. – К.: Техника, 1973. – 156 с.
3. Агеев В.М. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование / В.М. Агеев. – М.: Машиностроение, 1990. – 432 с.
4. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.: Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
5. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения / В.Д. Кукуш. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
6. Месаревич М.И. Общая теория систем: математические основы / М.И. Месаревич, Я. Такахага. – М.: Мир. – 1978. – 312 с.

Надійшла до редколегії 28.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. О.М. Сотніков, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ ИНТЕРВАЛА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

С.Н. Власик

Показано, что в процессе эксплуатации изменяются технические характеристики радиоэлектронного оборудования вооружения и военной техники, что влияет на определение интервала их технического обслуживания, то есть на необходимость корректировать такие интервалы в процессе эксплуатации для более эффективного использования вооружения. Разработана методика обоснования интервала технического обслуживания радиоэлектронного оборудования вооружения в соответствии с условиями его эксплуатации. Методика основана на использовании статистической информации об изменении технических характеристик радиоэлектронного оборудования в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, радиоэлектронное оборудование, технические характеристики.

## GROUND OF INTERVAL OF TECHNICAL SERVICE RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT OF ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE

S.N. Vlasik

It is noted that technical descriptions of radio electronic equipment of armament and military technique change in the process of exploitation, that influences on determination of interval of their technical service, that on a necessity to correct such intervals in the process of exploitation for more effective use of armament. The method of ground of interval of technical maintenance of radio electronic equipment of armament is developed in accordance with his external environments. A method is based on the use of statistical information about the change of technical descriptions of radio electronic equipment in the process of exploitation.

**Keywords:** technical service, radio electronic equipment, technical descriptions.