

## **ПИТАННЯ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОДІВ ВІЙСЬК ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**

DOI 10.33099/2786-7714-2023-1-4-46-50

**УДК 623.486**

**Дранник Павло Анатолійович** (кандидат військових наук, старший науковий співробітник)

<https://orcid.org/0000-0002-6073-2962>

**Кітік Сергій Володимирович** (доктор філософії)

<https://orcid.org/0000-0002-0133-6521>

**Паталаха Валерій Григорович** (кандидат військових наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-3105-4402>

**Целіщев Юрій Павлович** (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ОБСЛУГОВУВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ**

*Результати проведеного аналізу сучасного стану та умов експлуатації зенітного ракетного озброєння свідчать про наявність нелінійної залежності показників ефективності технічного обслуговування від періодичності проведення технічних обслуговувань, а розрахунок показників ефективності технічного обслуговування може бути здійснений лише на основі адекватної математичної моделі процесу експлуатації, притаманного для конкретних типів зразків техніки. Тому метою даної статті є створення методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації.*

**Ключові слова:** *технічне обслуговування, експлуатація, зенітне ракетне озброєння.*

#### **Вступ**

Аналіз сучасного стану та умови експлуатації зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України [1] під час проведення антитерористичної операції дозволив встановити основні проблемні питання експлуатації зенітного ракетного озброєння. Було встановлено, що існуюча система технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння неповною мірою забезпечує виконання покладених на неї завдань щодо підтримання зразків озброєння у боездатному стані. Це пов'язано з тим, що прийнята у Збройних Силах України планово-попереджувальна стратегія технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки розрахована переважно на підтримання у працездатному стані зразків, які перебувають в експлуатації не більше термінів, визначених заводами-виробниками.

Саме тому у сучасних умовах актуальним завданням щодо підтримання у справному стані експлуатації зенітного ракетного озброєння, яке експлуатується понад 30 років, є пошук шляхів підвищення ефективності його експлуатації.

Одним із перспективних шляхів підвищення ефективності експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння є визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань для кожного типу радіоелектронних

засобів.

Існуючий науково-методичний апарат визначення періодичності проведення та обсягів робіт із технічного обслуговування не враховує впливу напрацювання і терміну перебування в експлуатації на технічний стан зразків озброєння, тому за його допомогою не можливо визначити оптимальну періодичність проведення технічних обслуговувань для зразків, які перебувають в експлуатації більше 30 років. Обмеженість науково-методичного апарату зумовлена і тим, що у ньому практично не використовують результатів наукових досліджень із проблем зміни технічного стану зразків озброєння залежно від напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації.

Таким чином, актуальним є наукове завдання, яке полягає в розробленні методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння.

Проведений аналіз робіт [2,3], в яких досліджувались можливості та методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань різних типів техніки, доводить існування оптимальних значень періоду проведення технічних обслуговувань.

Встановлено, що значні труднощі виникають в процесі створення моделі процесу експлуатації та визначення аналітичних виразів для проведення

розрахунків. Крім того, моделі процесу експлуатації, які використовуються у вказаних роботах, не враховують особливостей процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння та не можуть бути використані для розрахунку показників ефективності їх технічного обслуговування.

### Матеріали та методи

Запропонована методика ґрунтується на оптимізації показника ефективності експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння – коефіцієнта технічного використання  $K_{me}$ .

Головним завданням методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння є забезпечення підтримання коефіцієнту технічного використання на максимальному рівні у процесі експлуатації з мінімальними витратами часу і матеріальних ресурсів. Методика призначена для зразків, які перебувають в експлуатації понад встановлені заводами-виробниками терміни, тобто більше 20 років.

Вихідними даними для розрахунків є: параметри дифузійно-немонотонний закон розподілу часу напрацювання зразка на відмову: параметр масштабу  $\mu$  та параметр форми  $\nu$ ; інтенсивність надходження сигналів помилкових триггерів  $\lambda$ ;

тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування  $t_s$ ;

тривалість контролю зовнішніми засобами контролю  $t_s^*$ ;

тривалість виконання профілактичних робіт  $t_p$ ;

тривалість відновлення у разі відмови  $t_v$ ;

достовірність правильного визначення справного стану вбудованими засобами контролю  $d$ ;

імовірність надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю  $\rho$ .

Методика може бути використана для визначення періоду проведення технічних обслуговувань  $T$  як зразків радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, так і інших видів озброєння та військової техніки, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації та потребують проведення технічних обслуговувань через визначений час.

Етапи реалізації методики показані у вигляді блок-схеми на рис. 1.

Під час побудови графу станів напівмарківської моделі процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння необхідно враховувати, що роботи технічного обслуговування проводяться через невідповідний інтервал часу. В проміжках часу між технічними обслуговуваннями можливі відмови техніки, які будемо називати аварійними. В разі виникнення аварійної відмови проводиться повне відновлення зразка техніки. Крім аварійних відмов, можуть бути так звані помилкові відмови, коли від вбудованої системи

контролю надходить сигнал про відмову справної техніки. Такі відмови прийнято називати помилками першого роду, які складають приблизно 5% від загальних відмов.

Вбудована система контролю постійно контролює окремі найбільш важливі або узагальнені показники працездатності виробу, наприклад напругу джерел живлення, працездатність систем термостатування, потужність передавача, коефіцієнт шуму приймача, коефіцієнти підсилення радіоканалів тощо.

Зовнішня система контролю використовується під час проведення робіт технічного обслуговування для перевірки технічних параметрів та їх налаштування в межі допусків, що визначені в технічній документації. Така система контролює набагато більше параметрів і має значно більшу достовірність контролю, ніж вбудована система контролю.



**Рисунок 1.** Блок-схема методики визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння

### Результати

Схематичне зображення графу станів напівмарківської моделі процесу експлуатації

радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння показано на рис.2.

Для скорочення радіоелектронний засіб зенітного ракетного озброєння будемо називати об'єктом контролю (ОК). Граф станів (рис.2) враховує наступні стани ОК і системи контролю:

$S_1$  – ОК працює за призначенням у працездатному стані;

$S_2$  – на ОК проводиться контроль технічного стану та виконуються профілактичні роботи, при чому в ОК несправності немає;

$S_3$  – на ОК проводиться контроль технічного стану, при цьому в ОК є несправність, яка виникла на переході  $S_1-S_3$  в момент  $0 < \tau < T$ , не була виявлена вбудованою системою контролю і не вплинула на працездатність ОК;

$S_4$  – виконується повне відновлення ОК;

$S_5$  – в момент часу  $0 < \tau < T$  вбудованою системою контролю зафіксована відмова ОК;

$S_6$  – в момент  $0 < \tau_p < T$  вбудованою системою контролю зафіксований помилковий сигнал про відмову ОК.

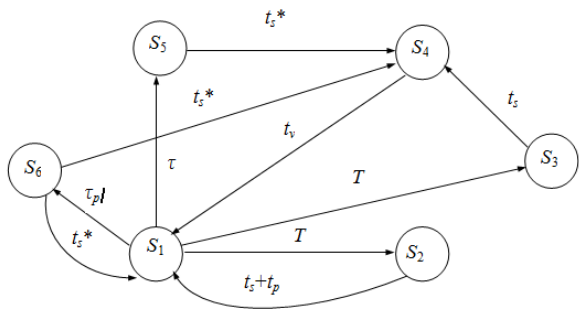


Рисунок 2. Граф станів напівмарківської моделі процесу експлуатації радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння

На рис.2 використовуються такі позначення:

$T$  – період проведення регламентних робіт;

$t_s$  – тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування ОК;

$t_s^*$  – тривалість перевірки ОК зовнішньою системою контролю;

$t_p$  – тривалість виконання профілактичних робіт;

$t_v$  – тривалість аварійного відновлення;

$\tau$  – випадковий час надходження від вбудованої системи контролю сигналу про відмову;

$\tau_p$  – випадковий час надходження від вбудованої системи контролю помилкового сигналу про відмову.

Для радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння найбільш придатним вважається дифузійно-немонотонний (DN) закон розподілу часу безвідмовної роботи [5].

Функція розподілу та імовірність безвідмовної роботи для такого закону розподілу мають вигляд відповідно:

$$F(t) = \Phi\left(\frac{t-\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right) + \exp[2v^{-2}]\Phi\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \quad (1)$$

$$P(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{v\sqrt{\mu t}}\right) - \exp[2v^{-2}]\Phi\left(-\frac{t+\mu}{v\sqrt{\mu t}}\right), \quad (2)$$

де  $t$  – поточний час;

$\mu$  – параметр масштабу;

$v$  – параметр форми;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt - \text{функція Лапласа.}$$

Параметр масштабу має розмірність одного року, а параметр форми – безрозмірний.

Точкові оцінки параметрів дифузійно-немонотонного розподілу доцільно визначати за результатами експлуатаційних спостережень, використовуючи розрахункові формули для планів [NUT] або [NUT] [6,7]:

$$1 - \frac{1}{\mu m} \sum_{i=1}^m t_i - (N - m) \cdot \left\{ \frac{2e^{v^2} \Phi_0\left(\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)}{\left[\Phi_0\left(\frac{\mu-t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right) - e^{v^2} \Phi_0\left(-\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)\right]} \right\} = 0 \quad (3)$$

$$v^2 + \frac{1}{\mu m} \sum_{i=1}^m t_i - \frac{\mu}{m} \sum_{i=1}^m (t_i)^{-1} + (N - m) \cdot \left\{ \frac{2v\sqrt{\mu} \exp\left(-\frac{(\mu-t_m)^2}{2v^2\mu t_m}\right)}{m\sqrt{2\pi t_m} \left[\Phi_0\left(\frac{\mu-t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right) - e^{v^2} \Phi_0\left(-\frac{\mu+t_m}{v\sqrt{\mu t_m}}\right)\right]} \right\} = 0 \quad (4)$$

Матриця імовірностей переходів між станами процесу для запропонованої моделі має вигляд:

$$P_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & 0 & P_{15} & P_{16} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ d & 0 & 0 & 1-d & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де

$$P_{12} = P(T)e^{-\lambda T}$$

$$P_{13} = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$$

$$P_{15} = \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$$

$$P_{16} = \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt$$

Матриця функцій розподілу часу перебування в станах процесу має вигляд:

$$F_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & T & T & 0 & F_{15}(t) & F_{16}(t) \\ t_3 + t_p & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \\ t_v & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \\ t_3^* & 0 & 0 & t_3^* & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

де

$$F_{15}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda t} dF(t)}{\int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)}$$

$$F_{16}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt}{\int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt}$$

Складові вектору частот потрапляння ланцюга Маркова до стану  $i$   $\pi_i(T)$  визначаються з системи рівнянь (7)

$$\left. \begin{aligned} \bar{\pi}_i(T) &= \bar{\pi}_i(T)P_{ij}(T) \\ \sum_{i=1}^6 \pi(T) &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де  $\bar{\pi}_i(T)$  – вектор частот потрапляння ланцюга Маркова до стану  $i$ ;

$P_{ij}(T)$  – матриця імовірностей переходів між станами процесу.

Після підстановки матриці (5) в рівняння (7) отримаємо значення компонент вектора  $\bar{\pi}_i(T)$  шляхом розв’язання наступних рівнянь

$$a(T) = \frac{1}{1 + P_{12} + 2P_{13} + 2P_{15} + P_{16}(2 - d)}$$

$$\pi_1(T) = a(T);$$

$$\pi_2(T) = a(T)P_{12};$$

$$\pi_3(T) = a(T)P_{13};$$

$$\pi_4(T) = a(T)(P_{13} + P_{15} + P_{16} \cdot [1 - d]);$$

$$\pi_5(T) = a(T)P_{15};$$

$$\pi_6(T) = a(T)P_{16};$$

Далі визначаємо середні тривалості перебування у станах процесу. Так, для стану  $S_l$  отримаємо

$$\begin{aligned} \eta_1(T) &= [1 - F(T)]e^{-\lambda T} + (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)T + \\ &+ \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)T \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF_{15}(t) + \\ &+ \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt \cdot \int_0^T t dF_{16}(t) \end{aligned}$$

Для решти станів відповідно  $\eta_2(T) = t_s + t_p$ ,  $\eta_3(T) = t_s$ ,  $\eta_4(T) = t_v$ ,  $\eta_5(T) = t_s^*$ ,  $\eta_6(T) = t_s^*$ .

Коефіцієнт технічного використання визначається з рівняння (8)

$$K_{tv}(T) = \frac{\pi_1(T) \cdot \eta_1(T)}{\sum_{i=1}^6 \pi_i(T) \cdot \eta_i(T)} \quad (8)$$

де в чисельнику – час перебування виробу в працездатному стані, а в знаменнику – час перебування в працездатному стані та у простоях, зумовлених технічним обслуговуванням і ремонтом.

Оптимізація функції (8) аналітичним методом представляє значну складність, тому пошук

оптимального значення доцільно здійснювати чисельними методами з використання прикладних комп’ютерних програм.

### Обговорення

На основі статистичних даних, отриманих за результатами експлуатації досліджених зенітних ракетних комплексів було проведено визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань для різних виробів зі складу зенітного ракетного комплексу. Для проведення розрахунків використовувалась система комп’ютерної алгебри Mathcad.

Вихідними даними для розрахунків були:

параметр масштабу  $\mu=100$  год;

параметр форми  $v=0,5$ ;

інтенсивність надходження сигналів

помилкових тривог  $\lambda = 5 \times 10^{-3}$  1/год;

тривалість контролю технічного стану при проведенні технічного обслуговування  $t_s = 0,5$  год;

тривалість контролю зовнішніми засобами контролю  $t_s^* = 5$  год;

тривалість виконання профілактичних робіт  $t_p = 4$  год;

тривалість відновлення у разі відмови  $t_v = 10$  год;

достовірність правильного визначення справного стану вбудованими засобами контролю  $d = 0,9$ ;

імовірність надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю  $\rho = 0,7$ .

У результаті проведення розрахунків було визначено, що оптимальний період проведення технічних обслуговувань досліджених виробів складає від 60 до 80 годин. При цьому максимальне значення коефіцієнту технічного використання сягає 0,864, що майже на 10% більше за середнє значення коефіцієнту технічного використання виробів розглянутих зенітних ракетних комплексів.

### Висновки

Представлено методику визначення оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння з використанням дифузійно-немонотонного розподілу їх відмов. Значення напрацювання, які відповідають оптимальній періодичності проведення технічних обслуговувань, встановлюються за максимальним рівнем коефіцієнта технічного використання Ктв. Розроблена методика, на відміну від існуючих, враховує періодичність і тривалість проведення технічного обслуговування, достовірність контролю обладнання, імовірність надходження сигналів про відмову, коефіцієнти масштабу і форми дифузійно-немонотонного розподілу, тривалість повного відновлення виробу. Застосування представленої методики дозволяє збільшити значення показника ефективності технічного обслуговування в середньому на 12%.

### Список використаних джерел

1. Громенко В.Ю., Авраменко А.В., Кітік С.В. Сучасний стан та умови експлуатації зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил.// Повітряна

міць України. – 2021. – №1(1) – с. 45-52.

2. Яблонский П.М., Пустовой С.А., Авраменко А.В. Математическая модель технического обслуживания изделий авиационной техники с использованием диффузионно-монотонного распределения отказов.// Уральский научный вестник – 2014. – №21(100) – с. 12-22.

3. Лепеш А.Г., Потемкина Т.В. Методика расчета оптимального периода технического обслуживания коммунальной техники.// Техничко-технологические проблемы сервиса – 2017. – №1(39) – с. 14-17.

4. Кіткік С.В. Напівмарківська математична модель технічного обслуговування радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння.//Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони – 2019.– №3(36) –

с.29-34.

5. Мірненко В.І., Яблонський П.М., Кіткік С.В. Застосування дифузійно-нестрононого розподілу для моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки.// Social development & Security – 2019. – №6 – с. 37-46.

6. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 42 с. – (Національний стандарт України).

7. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності: ДСТУ 2862-94. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).

## DETERMINATION OF THE ANTI-AIRCRAFT MISSILE WEAPON RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT MAINTENANCE OPTIMUM PERIODICITY

**Pavlo Drannyk** (Candidate of Military Sciences, Senior Researcher)

<https://orcid.org/0000-0002-6073-2962>

**Serhii Kitik** (Ph.D.)

<https://orcid.org/0000-0002-0133-6521>

**Valerii Patalakha** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3105-4402>

**Yury Tselishev** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*The results of the modern state and anti-aircraft missile weapons operation conditions analysis indicate that existence of a non-linear dependence of maintenance efficiency indicators on maintenance frequency, and the maintenance efficiency indicators calculation can be carried out only on the basis of an adequate mathematical model for operation process which inherent for specific types of equipment samples. Therefore, the article's purpose is to create a method for determining of the technical maintenance of radio-electronic means of anti-aircraft missile weapons optimal frequency, which operated according to a planned and preventive operation strategy.*

**Keywords:** maintenance, exploitation, anti-aircraft missile weapons.

### References

1. Ghromenko V.Ju., Avramenko A.V., Kitik S.V. Suchasnyj stan ta umovy ekspluatatsiji zenitnogo raketnogo ozbrojennja Povitryanjnykh Syl Zbrojnykh Syl.// Air Power of Ukraine. – 2021. – №1(1) – с. 45-52.

2. Jablonskyj P.M., Pustovoj S.A., Avramenko A.V. Matematyčeskaja modelj tehnyčeskogho obslužyvanyja yzdelj avyacyonnoj tekhnky s yspoljzovanyem dyffuzyonno-monotonnogho raspredelenija otkazov.// Uraljskyj nauchnyj vestnyk – 2014. – №21(100) – с. 12-22.

3. Lepesh A.Gh., Potemkina T.V. Metodyka rasčeta optymal'nogho peryoda tehnyčeskogho obslužyvanyja komunal'noj tekhnky.// Tekhniko-tekhnologičeskye problemy servysa – 2017. – №1(39) – с. 14-17.

4. Kitik S.V. Napivmarkivjska matematyčna

modelj tehničnogho obslužhovuvannja radioelektronnykh zasobiv zenitnogho raketnogo ozbrojennja.// Suchasni informacijni tekhnologiji u sferi bezpeky ta oborony – 2019. – №3(36) – с. 29-34.

5. Мірненко В.І., Яблонський П.М., Кіткік С.В. Застосування дифузійно-нестрононого розподілу длja моделювання процесу експлуатації радіоелектронної техніки.// Social development & Security – 2019. – №6 – с. 37-46.

6. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними: ДСТУ 3004-95. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 42 с. – (Національний стандарт України).

7. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності: ДСТУ 2862-94. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).