

*Володимир Іванович Мірненко (доктор технічних наук, професор)
Сергій Володимирович Кітік*

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

НАПІВМАРКІВСЬКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

В роботі представлено математичну модель технічного обслуговування радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації. Модель побудована з використанням напівмарківського випадкового процесу. За модель відмов використаний дифузійно-немонотонний закон розподілу, що притаманний для виробів радіоелектронної техніки в наслідок електричних явищ, та враховані помилки першого типу.

Встановлена аналітична залежність коефіцієнта технічного використання від параметрів масштабу і форми дифузійно-немонотонного розподілу, періодичності проведення технічного обслуговування, тривалості повного відновлення зразка техніки, ймовірності надходження сигналу про відмову тощо. Приведені графіки залежності коефіцієнта технічного використання від вказаних параметрів моделі. Доведено існування оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань, при якій забезпечується максимальне значення коефіцієнта технічного використання. Основні результати отримані при використанні чисельного методу розрахунків.

Ключові слова: *технічне обслуговування; напівмарківський випадковий процес; дифузійно-немонотонний розподіл.*

Вступ

Постановка проблеми. Організаторів експлуатації радіоелектронної техніки цікавить рівень її технічної ефективності. При цьому постає питання, яким чином можна впливати на процес експлуатації з метою досягнення максимального значення показників ефективності. Загально визнаними показниками ефективності експлуатації виробів радіоелектронної техніки є коефіцієнт готовності і коефіцієнт технічного використання.

Суттєвим для розрахунку показників ефективності є побудова адекватної моделі процесу технічного обслуговування. Методичні похибки, що обумовлені вибором неадекватної теоретичної моделі, можуть бути досить великими.

Важливе місце під час побудови математичних моделей технічного обслуговування виробів радіоелектронної техніки займає вибір закону розподілу часу безвідмовної роботи цих виробів. До ймовірнісних законів розподілу належать експоненціальний, Вейбула, логарифмічно-нормальний розподіли, що рекомендуються державним стандартом України для практичного використання у залежності від типу виробу і характеру вирішуваної задачі. Ймовірнісно-фізичні розподіли мають певну перевагу перед суто ймовірнісними, тому що їх параметри можуть бути визначені як на основі статистичних характеристик відмов, так і на основі аналізу фізичного процесу відмов. У теперішній час найбільш сучасними вважаються дифузійні закони

розподілу, а саме: дифузійно-монотонний і дифузійно-немонотонний розподіли.

Вказані обставини мають суттєве практичне значення, що обумовлює актуальність дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] розглянута можливість побудови адекватної аналітичної моделі процесу технічного обслуговування та ремонту складного об'єкта радіоелектронної техніки у вигляді напівмарківського процесу. Під час дослідження було виявлено значні труднощі, пов'язані з необхідністю визначення аналітичних виразів для інтенсивності переходів між станами процесу. Тому авторами для створення моделі запропоноване використання методу імітаційного статистичного моделювання.

В [2,3] представлені математичні моделі технічних обслуговувань за станом зразків техніки з використання дифузійних розподілів віх відмов. Розраховані аналітичні залежності показників ефективності експлуатації вказаних зразків від характеристик їх надійності і параметрів технічного обслуговування.

Проте дані роботи не можуть бути використані для розрахунку показників ефективності експлуатації виробів радіоелектронної техніки, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації.

Метою статті є розробка адекватної математичної моделі технічного обслуговування

радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації.

Виклад основного матеріалу дослідження

Переважає частина радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації підлягає проведенню профілактичних заходів через визначений час. Такі заходи в багатьох випадках прийнято називати регламентними роботами або роботами технічного обслуговування, які 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.

Для скорочення будемо позначати зовнішню систему контролю ЗСК, а вбудовану систему контролю ВСК.

Схематичне зображення переходів для запропонованої моделі показано на рис.1.

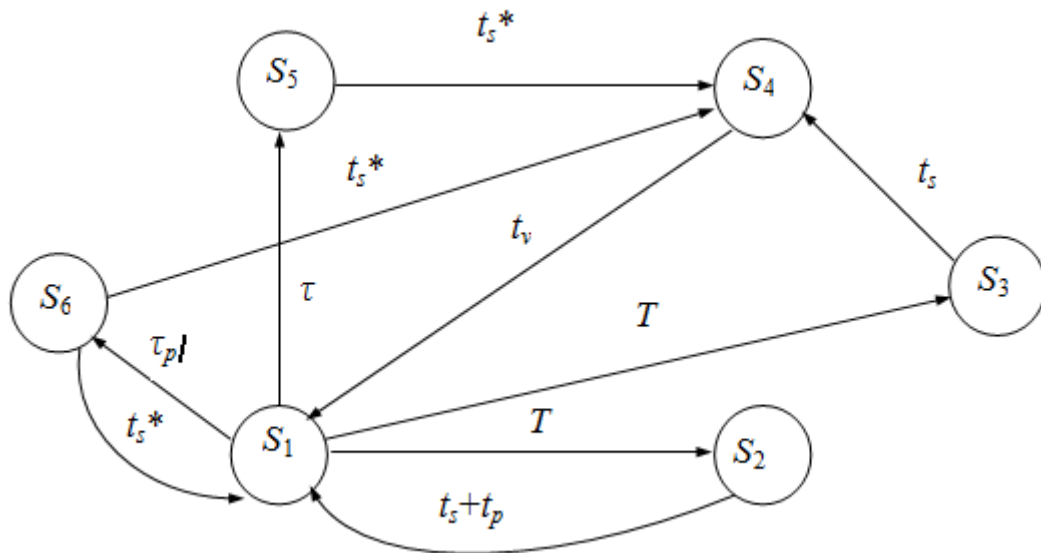


Рис. 1. Схема переходів для запропонованої моделі

Для скорочення зразок радіоелектронної техніки будемо називати об'єктом контролю (ОК). Схема переходів (рис.1) враховує наступні стани ОК і системи контролю (СК):

S_1 – ОК працює за призначенням у працездатному стані;

S_2 – на ОК проводиться контроль технічного стану наземною системою контролю та виконуються профілактичні роботи, причину в ОК відмови немає;

S_3 – на ОК проводиться контроль технічного стану наземною системою контролю, причому в ОК є відмова, 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.

На рис.1. використовуються такі позначення:

T – період проведення регламентних робіт;

t_s – тривалість перевірки ОК системою контролю ВСК;

t_s^* – тривалість перевірки ОК системою контролю ЗСК;

t_p – тривалість виконання профілактичних робіт;

t_v – тривалість аварійного відновлення;

τ – випадковий час надходження від ВСК сигналу про відмову;

τ_p – випадковий час надходження від ВСК помилкового сигналу про відмову.

На рис.2. показаний ідеальний варіант експлуатації ОК.

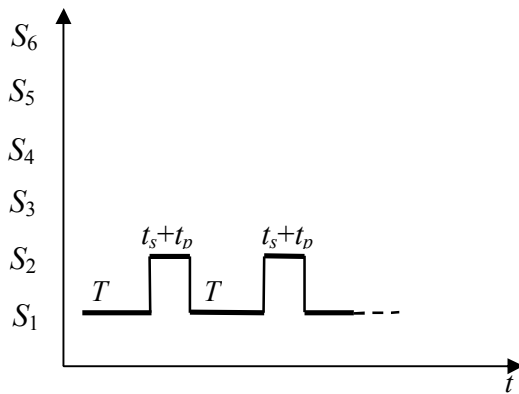


Рис.2. Ідеальний варіант експлуатації ОК

Протягом часу T ОК працює у справному стані, після чого проводиться контроль технічного стану (час t_s) і виконуються профілактичні роботи протягом часу t_p , після чого ситуація багатократно повторюється.

Можливий варіант реальної експлуатації показаний на рис. 3.

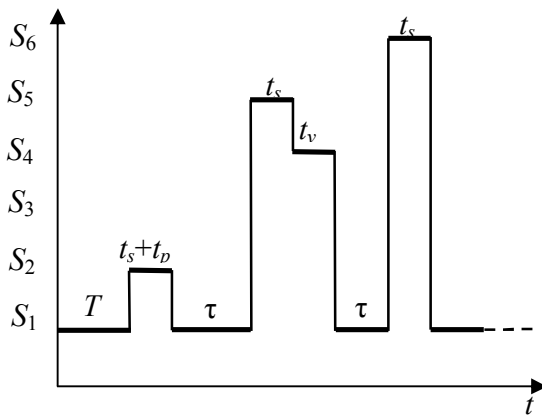


Рис.3. Можливий варіант реальної експлуатації ОК

На рис. 2 і рис. 3 по вертикальній вісі відкладені стани перебування ОК, а по горизонтальній вісі відкладений поточний час.

Процес функціонування ОК будемо описувати напівмарківським випадковим процесом. Особливістю такого процесу є те, що тривалість перебування ОК у попередньому стані при переході до наступного стану може мати довільний закон розподілу. Ця обставина суттєво розширює можливості моделювання процесу експлуатації ОК порівняно з марківським випадковим процесом, для якого така функція розподілу є експоненціальною. Доведено, що максимального коефіцієнту готовності можна досягти при детермінованому періоді проведення регламентних робіт.

Важливе значення під час розробки математичної моделі функціонування ОК має вибір математичної моделі відмов. Для виробів радіоелектронної техніки найбільш придатним вважається дифузійно-немонотонний (DN) закон розподілу часу безвідмовної роботи [4].

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

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

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

де t – поточний час;

μ – параметр масштабу;

ν – параметр форми;

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

Параметр масштабу має розмірність год, а параметр форми – безрозмірний.

Початковими даним, які враховуються у розрахунковій задачі, є:

параметр масштабу $\mu=200$ год;

параметр форми $\nu = 0,5$;

інтенсивність надходження сигналів помилкових тривог $\lambda=10^{-3}$ 1/год;

період проведення технічних обслуговувань $T=200$ год;

тривалість контролю зразка техніки наземними засобами контролю $t_s=2,5$ год;

тривалість контролю зразка техніки вбудованими засобами контролю $t_s^*=1$ год;

тривалість виконання профілактичних робіт $t_p=4$ год;

тривалість аварійного відновлення ОК $t_v=5$ год;

ймовірність надходження сигналу про відмову зразка техніки від вбудованої системи контролю $\rho=0,7$;

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

Коефіцієнт технічного використання ОК можна визначити з рівняння [5]

$$K_{tv} = \frac{\sum_{i=1}^6 \pi_i(T) \cdot \omega_i(T)}{\sum_{i=1}^6 \pi_i(T) \cdot \eta_i(T)}, \quad (3)$$

де $\pi_i(T)$ – частота потрапляння ланцюга Маркова до стану i ;

$\omega_i(T)$ – середній час перебування ОК у працездатному стані;

$\eta_i(T)$ – середній час перебування ОК у будь-якому стані.

У чисельнику (3) записаний середній час перебування ОК у працездатному стані, а у знаменнику – поточний час експлуатації ОК.

Частота потрапляння ланцюга Маркова до стану i $\pi_i(T)$ може бути визначена з системи рівнянь (4).

$$\left. \begin{aligned} \bar{\pi}_i(T) &= \bar{\pi}_i(T) \cdot P_{ij}(T) \\ \sum_{i=1}^6 \pi_i(T) &= 1 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

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

$P_{ij}(T)$ – матриця переходів ОК зі стану $i = \overline{1,6}$ до стану $j = \overline{1,6}$.

Матриця перехідних ймовірностей 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 $P_{12} = P(T)e^{-\lambda t}$;

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

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

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

Сума ймовірностей по кожному рядку матриці (5) повинна дорівнювати одиниці. Для всіх рядків, окрім першого, це очевидно.

Враховуючи значення $F(t)$ і $P(t)$ для DN-розподілу для початкових даних, отримаємо значення компонентів матриці перехідних ймовірностей

$$P_{ij}(200) = \begin{pmatrix} 0 & 0,4093 & 0,1304 & 0 & 0,3043 & 0,1558 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0,9 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Сума ймовірностей по першому рядку матриці дорівнює одиниці, що свідчить про вірність виконаних розрахунків.

Після підстановки матриці (5) в рівняння (4) можна отримати значення компонент вектора $\bar{\pi}_i(T)$ шляхом розв'язання наступних рівнянь

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

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

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

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

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

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

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

Можна переконалися, що сума ймовірностей компонент вектора $\bar{\pi}_i(T)$ дорівнює одиниці, що свідчить про адекватність розрахунку, виконаного за допомогою даного методу.

Далі здійснимо розрахунок середніх тривалостей перебування ОК у різних станах напівмарківського процесу. Наприклад, для стану S_7 отримаємо

$$\eta_1(T) = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T} + (1-\rho) \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} \times \\ \times dF(t) \cdot T + \rho \int_0^T e^{-\lambda t} \cdot dF(t) \cdot \int_0^T t \cdot dF_5(t) + \\ + \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt \cdot \int_0^T t \cdot dF_6(t) \quad (6)$$

Можна показати, що для початкових даних моделі $\eta_1(T) = 163,82$ год, $\eta_2(T) = t_p + t_r = 6,5$ год,

$\eta_3 = t_s + t_r = 6,5$ год, $\eta_4 = 5$ год, $\eta_5 = t_s^* = 1$ год, $\eta_6 = 1$ год.

Здійснимо розрахунок середнього часу одного переходу напівмарківського процесу:

$$\eta_s(t) = \pi_1(t) \cdot \eta_1(t) + \pi_2(t) \cdot \eta_2(t) + \pi_3(t) \cdot \eta_3(t) + \\ + \pi_4(t) \cdot \eta_4(t) + \pi_5(t) \cdot \eta_5(t) + \pi_6(t) \cdot \eta_6(t) = 69,18 \text{ год.}$$

Для розрахунку коефіцієнта технічного використання визначимо середній час безвідмовної роботи ОК у стані S_7 :

$$\omega_1(T) = \int_0^T (1 - F(x)) \cdot e^{-\lambda x} \cdot dx = 155,88 \text{ год.}$$

Коефіцієнт технічного використання у точці $T=200$ год з урахуванням рівняння (4) буде

$$K_{tv} = \frac{\pi_1(200) \cdot \omega_1(200)}{\eta_s(200)} = 0,9196.$$

Для визначення залежності K_{tv} від параметрів моделі у широких межах їх змін виконано розрахунки чисельним методом. Графічна інтерпретація отриманих результатів наведена на рис. 4-7. Так, на рис. 4 показана залежність K_{tv} від періодичності T проведення технічних обслуговувань при зміні параметра форми v від 1 до 0,25 при $\mu=600$ год; $\lambda=10^{-3}$ 1/год; $t_s=2,5$ год; $t_s^*=1$ год; $t_p=4$ год; $t_r=5$ год.

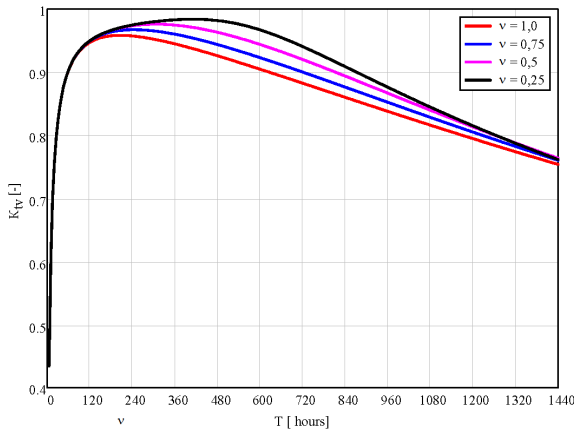


Рис. 4. Залежність K_{tv} від періодичності T проведення технічних обслуговувань при зміні параметра форми ν від 1 до 0,25 при $\mu=600$ год; $\lambda=10^{-3}$ 1/год; $t_s=2,5$ год; $t_s^*=1$ год; $t_p=4$ год; $t_v=5$ год

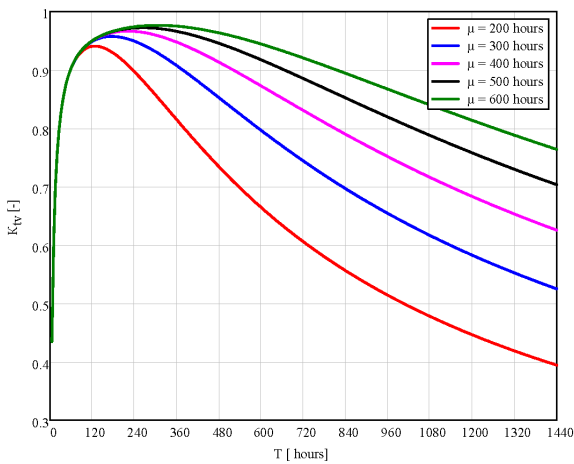


Рис. 5. Залежність K_{tv} від періодичності T проведення технічних обслуговувань при значенні параметра форми $\nu=0,5$ і зміні параметра масштабу μ від 200 до 600 год при $\lambda=10^{-3}$ 1/год; $t_s=2,5$ год; $t_s^*=1$ год; $t_p=4$ год; $t_v=5$ год

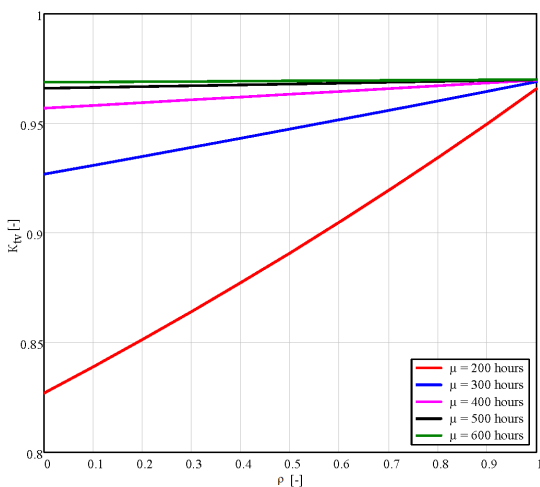


Рис. 6. Залежність K_{tv} від ймовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю при різних значеннях параметра масштабу μ і постійних значеннях $\nu=0,5$; $T=200$ год; $t_s=2,5$ год; $t_s^*=1$ год; $t_p=4$ год; $t_v=5$ год

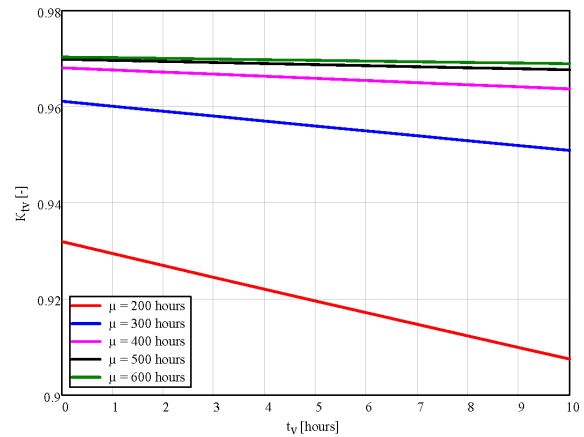


Рис. 7. Залежність K_{tv} від тривалості аварійного відновлення t_v зразка техніки при різних значеннях параметра масштабу μ і постійних значеннях $\nu=0,5$; $T=200$ год; $t_p=4$ год; $\lambda=10^{-3}$ 1/год; $t_s=2,5$ год; $t_s^*=1$ год

Аналіз наведених графіків показує (рис. 4) наявність оптимальної періодичності проведення технічних обслуговувань, при якій забезпечується максимальне значення K_{tv} . При цьому, чим меншим є параметр форми ν , тим більшим є K_{tv} . У даній роботі використані середні значення параметра форми.

При збільшенні параметру масштабу від $\mu=200$ год до $\mu=600$ (рис. 5) збільшується K_{tv} , а також збільшується оптимальне значення періодичності проведення технічних обслуговувань.

При збільшенні ймовірності надходження сигналу про відмову зразка техніки від вбудованої системи контролю ρ (рис. 6) K_{tv} збільшується. При цьому для більших значень параметра масштабу забезпечується більше значення K_{tv} .

Збільшення тривалості відновлення зразка техніки призводить до зменшення K_{tv} (рис. 7).

Висновки й перспективи подальших досліджень

В роботі з використанням напівмарківського випадкового процесу побудована математична модель технічного обслуговування радіоелектронних засобів зенітного ракетного озброєння, які експлуатуються за планово-попереджувальною стратегією експлуатації, особливою якої є врахування помилок першого роду з використанням шести станів. Встановлена аналітична залежність коефіцієнта технічного використання від параметрів масштабу і форми, періодичності проведення технічного обслуговування, ймовірності надходження інформації про відмову, тривалості відновлення зразка техніки та інших параметрів моделі.

Визначено існування оптимальної періодичності проведення технічного обслуговування, при якій досягається максимальне значення коефіцієнта технічного використання.

Напрямок подальших досліджень є створення методики оцінювання ефективності технічного обслуговування радіоелектронних засобів з використанням представленої моделі.

Література

1. С.В. Ленков, В.М. Цицарєв, В.О. Осипа, В.О. Браун Математическая модель процесса технического обслуживания и ремонта сложных объектов радиоэлектронной техники. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ. 2013. № 39. С. 12-19. 2. П.М. Яблонский, С.А. Пустовой, П.В. Опенько Экономико-математическая модель технического обслуживания образцов вооружения и военной техники по состоянию для диффузионно-немонотонного распределения отказов. *Экономика и предпринимательство*. Москва. 2013. № 8. С. 436-443. 3. В.И. Мирненко, П.М. Яблонский, С.А. Пустовой, А.В. Авраменко Математическая модель технического обслуживания изделий авиационной техники с использованием диффузионно-монотонного распределения отказов. *Оралдың Ғылым Жаршысы*. Уралнаучкнига. 2014. №21 (100). С.12-22. 4. ДСТУ 3433-96 Надійність техніки. Моделі відмов Основні положення. *Держстандарт України*. Київ. 1997. 5. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. *Держстандарт України*. Київ. 1994.

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ

*Владимир Иванович Мирненко (доктор технических наук, профессор)
Сергей Владимирович Китик*

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В работе представлена математическая модель технического обслуживания радиоэлектронных средств зенитного ракетного вооружения, которые эксплуатируются по плано-предупредительной стратегии эксплуатации. Модель построена с использованием полумарковского случайного процесса. В качестве модели отказов использован диффузионно-немонотонный закон распределения, свойственный для изделий радиоэлектронной техники вследствие электрических явлений, и учтены ошибки первого типа.

Установлена аналитическая зависимость коэффициента технического использования от параметров масштаба и формы диффузионно-немонотонного распределения, периодичности технического обслуживания, продолжительности полного восстановления образца техники, вероятности поступления сигнала об отказе. Приведены графики зависимости коэффициента технического использования от указанных параметров модели. Доказано существование оптимальной периодичности проведения технических обслуживаний, при которой обеспечивается максимальное значение коэффициента технического использования. Основные результаты получены при использовании численного метода вычислений.

Ключевые слова: техническое обслуживание; полумарковский случайный процесс; диффузионно-немонотонные распределение.

SEMI-MARKOV MATHEMATICAL MODEL OF RADIO ELECTRONIC MAINTENANCE OF ANTI-AIR MISSILE ARMS

*Volodymyr Mirnenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)
Serghij Kitik*

National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovskiy, Kiev, Ukraine

The paper presents a mathematical model of maintenance of electronic equipment for anti-aircraft missile weapons, which are operated according to a planned preventive operation strategy. The model is constructed using a semi-Markov random process. As a model of failures, a diffusion-nonmonotonic distribution law is used, which is typical for electronic products due to electrical phenomena, and errors of the first type are taken into account.

The analytical dependence of the technical utilization coefficient on the parameters of the scale and shape of the diffusion-nonmonotonic distribution, the frequency of maintenance, the duration of the complete restoration of the equipment sample, the probability of a failure signal is established. The graphs of the dependence of the technical utilization coefficient on the indicated model parameters are given. The existence of an optimal frequency of technical maintenance is proved, at which the maximum value of the coefficient of technical use is ensured. The main results were obtained using the numerical calculation method.

Key words: maintenance; semi-Markov random process; non-monotonic diffusion distribution.

References

1. S.V. Lénkov, V.M. Tsitsarév, V.O. Osipa, V.O. Braun Matematicheskaya model' protsessa tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta slozhnykh ob"yektov radioelektronnoy tekhniki. *Zbirnik naukovikh prats' V'ys'kovogo institutu Kiivs'kogo natsional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka*. Kíiv. 2013. № 39. S. 12-19. 2. P.M. Yablonskiy, S.A. Pustovoy, P.V. Open'ko Ekonomiko-matematicheskaya model' tekhnicheskogo obsluzhivaniya obraztsov voozuzheniya i voyennoy tekhniki po sostoyaniyu dlya diffuzionno-nemonotonnogo raspredeleniya otkazov. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. Moskva. 2013. № 8. S. 436-443. 3. V.I. Mirnenko, P.M. Yablonskiy, S.A. Pustovoy, A.V. Avramenko Matematicheskaya model' tekhnicheskogo obsluzhivaniya izdeliy aviatsionnoy tekhniki s ispol'zovaniem diffuzionno-monotonnogo raspredeleniya otkazov. *Oraldyñ Ғылым Zharslysy*. Uralnauchkniga. 2014. №21 (100). S.12-22. 4. DSTU 3433-96 Nadiynist' tekhniki. Modeli vidmov Osnovni polozheniya. *Derzhstandart Ukraini*. Kíiv. 1997. 5. DSTU 2862-94. Nadiynist' tekhniki. Metodi rozrakhunku pokaznykiv nadiynosti. *Derzhstandart Ukraini*. Kíiv. 1994.