

УДК 621.317.73

М. М. ДАРМОРОЗ, старший викладач кафедри інженерно-технічного забезпечення охорони державного кордону Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ ЕФЕКТИВНІСТЮ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ ПІД ЧАС ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ІНТЕГРОВАНОГО УПРАВЛІННЯ КОРДОНАМИ

На основі аналізу науково-методичної бази забезпечення ефективності технічних засобів охорони кордону розроблено прикладну математичну модель системи їх експлуатації. У розробленій моделі реалізовані наявні в системі експлуатації технічних засобів охорони кордону часові та структурні надмірності з урахуванням перспективних стратегій технічного обслуговування і ремонту. Розроблена математична модель відкриває можливість обґрунтованого управління ефективністю технічних засобів охорони кордону під час вирішення завдань інтегрованого управління кордонами.

Ключові слова: *ефективність технічних засобів охорони кордону, математична модель системи експлуатації технічних засобів охорони кордону, сучасні стратегії технічного обслуговування і ремонту, часові та структурні надмірності.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Одним із аспектів інтегрованого управління кордонами є управління динамікою нарощення ефективності охорони державного кордону на певних ділянках і напрямках шляхом зосередження наявних сил і технічних засобів охорони кордону [1]. Така інтегрованість управління кордонами обумовлює реалізацію

високого рівня ефективності з боку технічних засобів охорони кордону (ТЗОК). У даному випадку під ефективністю технічних засобів охорони кордону слід розуміти їх спроможність реалізувати свої потенційні тактико-технічні характеристики в будь-який час. Даний зміст ефективності технічних засобів охорони кордону під час вирішення завдань інтегрованого управління кордонами виключає можливість їх простоїв із-за втрати працездатності, а також проведення заходів технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). Тому виникла наочна необхідність розробки науково-методичних підходів щодо забезпечення реалізації на окремих ділянках кордону інтегрованої ефективності ТЗОК, тобто ефективності, що перебільшує ефективність окремих технічних об'єктів.

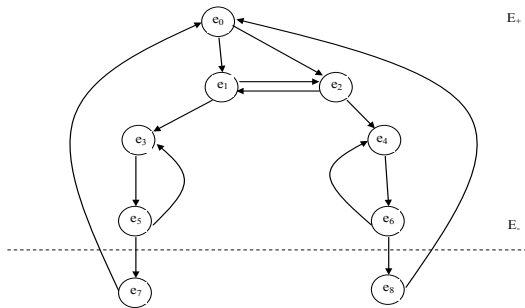
Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Проведений аналіз науково-методичної бази у даній предметній області свідчить про те, що до теперішнього часу виконана значна кількість робіт таких відомих вчених, як О. П. Ковтуненко, Б. П. Креденцер, А. В. Крижний, І. С. Катеринчук, О. В. Боровик, В. В. Зубарев, О. Б. Лантвойт, С. В. Ленков, М. І. Лисий, А. І. Сбітнев, В. Г. Солонников, Л. Г. Раскин, О. М. Шинкарук, М. О. Шишанов, та ін., щодо забезпечення ефективності озброєння і техніки різноманітного функціонального призначення [2–9]. Вивчення результатів наукових досліджень наведених авторів і їх практична реалізація свідчать про доцільність вирішення задач інтегрованого управління ефективністю ТЗОК шляхом оптимізації режимів їх технічного обслуговування [4; 10; 11].

У результаті аналізу першоджерел щодо вдосконалення систем технічного обслуговування (ТО) встановлено, що найбільш ефективними, на сьогодні, є концепція ТО за станом, а також із урахуванням структурних і почасових резервів [2; 4–7; 9–11]. При цьому встановлено, що одним із перспективних шляхів підвищення ефективності технічного обслуговування є використання (і облік в моделях) резервів часу не тільки під час відновлення працездатності, але і під час проведення технічного обслуговування [4].

Мета статті. Подання в формалізованому вигляді задачі нарощення ефективності ТЗОК шляхом удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) з урахуванням структурних і почасових резервів. Необхідність даної математичної моделі обумовлена необхідністю науково-обґрунтованого управління ефективністю технічних засобів охорони кордону під час вирішення завдань інтегрованого управління кордонами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Проведений аналіз науково-методичної бази синтезу систем ТОіР показав доцільність використання структурних і почасових надмірностей, що є в системі експлуатації та конструкції ТЗОК. При цьому, на підставі вивчення особливостей експлуатації ТЗОК у підрозділах охорони кордону (ПОК) встановлена наявність резервів часу τ_d з функцією розподілу $D(t) = P\{\tau_d < t\}$ при відновленні працездатності (ремонті) і $\tau_{д1}$ з функцією розподілу $D_1(t) = P\{\tau_{д1} < t\}$ при проведенні ТО. Якщо технічне обслуговування проводиться за допустимий час $\tau_{д1}$ з функцією розподілу $D_1(t) = P\{\tau_{д1} < t\}$, то воно належить до корисного часу функціонування ТЗОК, інакше – до простою. У момент виникнення відмови миттєво починається проведення ремонту, тривалість якого – випадкова величина t_B з функцією розподілу $F_B(t) = P\{t_B < t\}$, і “вмикається” резерв часу τ_B , що властивий даній системі експлуатації з функцією розподілу $D_1(t) = P\{\tau_{д1} < t\}$.

Відповідно до сформульованих вище умов і з використанням окремих положень теорії напівмарковських процесів [4; 10–12] система експлуатації ТЗОК підрозділів охорони кордону при виконанні заходів ТО за станом з почасовою та структурною надмірностями характеризується станами та переходами, що зображені на рисунку.



Граф станів і переходів системи експлуатації ТЗОК в ПОК при виконанні заходів ТО за станом з почасовою та структурною надмірностями

На рисунку зображені такі стани системи експлуатації ТЗОК в ПОК при виконанні заходів ТО за станом з почасовою та структурною надмірностями: e_0 – стан, у якому всі ТЗОК у справному стані і володіють первинним запасом працездатності; e_1 – стан, у якому всі ТЗОК у справному стані і

мають знижений запас працездатності; e_3 – стан, у якому всі ТЗОК у справному стані, але частина з них перебуває на технічному обслуговуванні (йде витрата резерву часу τ_d); e_4 – стан, у якому частина ТЗОК у справному стані, частина з них перебуває на технічному обслуговуванні, частина на відновленні (йде витрата резерву часу τ_d, τ_{d1}); e_5 – стан, у якому всі ТЗОК у справному стані, але частина з них перебуває на технічному обслуговуванні, частина в очікуванні технічного обслуговування (йде витрата резерву часу τ_d , система виконує свої функції за рахунок структурного резерву); e_6 – стан, у якому частина ТЗОК у справному стані, частина з них перебуває на технічному обслуговуванні, частина на відновленні, частина в очікуванні відновлення (йде витрата резерву часу τ_d, τ_{d1} ; система виконує свої функції за рахунок структурного резерву); e_7 – стан, у якому всі ТЗОК у справному стані, але частина з них перебуває на технічному обслуговуванні, частина в очікуванні технічного обслуговування (резерв часу τ_d вичерпано, структурний резерв вичерпано – у функціонуванні системи збій); e_8 – стан, у якому частина ТЗОК у справному стані, частина з них перебуває на технічному обслуговуванні, частина на відновленні, частина в очікуванні відновлення (витрачено резерви часу τ_d, τ_{d1} ; резерв вичерпано – у функціонуванні системи збій).

Для визначення коефіцієнта технічного використання K_{TB} , за яким прийнято здійснювати оцінку ефективності ТЗОК при вирішенні завдань інтегрованого управління кордонами, його загальна формульна залежність [13] перетворена стосовно специфіки вирішуваної задачі та початкових передумов, допущень і обмежень з урахуванням графа станів і переходів, що представлений на рисунку:

$$K_{TB} = \sum_{i=0}^6 \pi_i \alpha_i \left(\sum_{i=0}^8 \pi_i \alpha_i \right)^{-1} \quad (1)$$

Стационарні ймовірності вкладеного кола Маркова π_i ($i = \overline{0,8}$), що входять у вираз (1), визначаються з приведеної нижче системи рівнянь (2), що одержані відповідно до загальної формули коефіцієнта технічного використання та графа станів і переходів, що зображений на рисунку:

$$\begin{aligned}
 \pi_0 &= \pi_3 P_{30} + \pi_4 P_{40} + \pi_7 P_{70} + \pi_8 P_{80}; \\
 \pi_1 &= \pi_0 P_{01} + \pi_2 P_{21}; \\
 \pi_2 &= \pi_0 P_{02} + \pi_1 P_{12}; \\
 \pi_3 &= \pi_1 P_{13} + \pi_5 P_{53}; \\
 \pi_4 &= \pi_2 P_{24} + \pi_6 P_{64}; \\
 \pi_5 &= \pi_3 P_{35}; \\
 \pi_6 &= \pi_4 P_{46}; \\
 \pi_7 &= \pi_5 P_{57}; \\
 \pi_8 &= \pi_6 P_{68}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

У результаті вирішення отриманої таким чином системи рівнянь з урахуванням нормувальної умови $\sum_{i=0}^8 \pi_i = 1$, і використовуючи вираз (1) отримується загальний вираз коефіцієнта технічного використання, що задовольняє специфіку вирішуваного завдання

$$K_{ТВ} = \frac{a_0 + (P_{01} + P_{21}P_{02})(a_1 + P_{13}(a_3 + P_{35}a_5)) + P_{02}(a_2 + P_{24}(a_4 + P_{46}(a_6 + a_8P_{68}))) + P_{46}a_6}{a_0 + (P_{01} + P_{21}P_{02})(a_1 + P_{12}(a_2 + P_{24}(a_4 + P_{46}(a_6 + a_8P_{68})))) + P_{46}a_6)(P_{01} + P_{21}P_{02}) + 1} + \frac{P_{13}(a_3 + P_{35}(a_5 + a_7P_{57}))) + P_{02}(a_2 + P_{24}(a_4 + P_{46}(a_6 + a_8P_{68})))}{(P_{01} + P_{21}P_{02}) + 1}
 \tag{3}$$

З урахуванням визначення стаціонарних імовірностей переходу p_{ij} і середнього часу перебування a_i у станах e_i ($ij = \overline{0,8}; i \neq j$) можна визначити вирази для величин, що входять у формулу (1). Для сформульованих вихідних умов задачі, прийнятих допущень і обмежень ці вирази мають такий вигляд

$$\begin{aligned}
 \alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 &= \frac{1}{n\lambda}(1 - e^{-n\lambda T_k}); \quad \alpha_4 = \alpha_5 = \frac{1}{\gamma_k + \gamma_1}; \\
 \alpha_6 = \alpha_3 &= \frac{1}{\theta + \gamma_1}; \quad \alpha_7 = \frac{1}{\theta_1 + \gamma_1}; \quad \alpha_8 = \frac{1}{\mu};
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$P_{01} = P_{02} = 1 - \alpha^{-n\lambda T_k}; \quad P_{13} = P_{24} = \frac{\gamma_1}{\gamma_k + \gamma_1}; \quad P_{53} = P_{64} = \frac{\gamma_1}{\theta + \gamma_1};$$

$$P_{35} = P_{46} = \frac{\gamma_1}{\theta_1 + \gamma_1}, \quad P_{57} = P_{68} = \frac{\gamma}{\mu + \gamma}, \quad P_{12} = P_{21} = \frac{\gamma}{\mu + \gamma}.$$

Для випадку, коли $F(t)$ підпорядковується експоненційному розподілу, отримаємо

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda T_k}). \quad (5)$$

Для випадку, коли $F(t)$ підпорядковується розподілу Ерланга 2-го порядку, отримаємо

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \frac{1}{\lambda_3} \left[2 - e^{-\lambda_3 \gamma_2} (2 + \lambda_3 T_k) \right]. \quad (6)$$

У результаті підстановки виразів (4) або (6) у вираз (1) та після відповідних перетворень отримаємо формулу для коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}$, що відповідає системі експлуатації ТЗОК в ПОК під час виконання заходів ТО за станом з почасовою та структурною надмірностями

$$K_{ТВ} = \left\{ \tilde{N} + A \left[F + (1-B) \frac{1}{\theta + \gamma_1} \right] + B \left\{ C + A \left[F + (1-B) \frac{1}{\theta_1 + \gamma_1} \right] \right\} + AB^2 \frac{1}{\mu + \gamma} \right\} / \left\{ D + A \left[F + (1-B) \frac{1}{\theta} \right] + B \left\{ C + A \left[F + (1-B) \frac{1}{\theta_1} \right] \right\} + AB^2 \frac{1}{\mu} \right\}, \quad (7)$$

де

$$A = 1 - e^{-r\lambda T_k}, \quad C = \frac{1}{n\lambda} A + (1-AB) \frac{1}{\gamma_k + \gamma_1}, \quad D = \frac{1}{n\lambda} A + (1-AB) \frac{1}{\gamma_k}.$$

Для випадку, коли $F(t)$ має експоненціальний розподіл

$$B = 1 - e^{-\lambda t_k}, \quad F = \frac{1}{\lambda} B.$$

Для випадку, коли $F(t)$ має розподіл Ерланга 2-го порядку з параметром $\lambda_y = 2/t_f$

$$B = 1 - e^{-\lambda_y T_k} (1 + \lambda_y T_k) \quad F = \frac{1}{\lambda_3} [2 - e^{-\lambda_y T_k} (2 + \lambda_y T_k)].$$

На базі формули (7) проведено математичне моделювання в середовищі MATCAD, у результаті якого встановлено збільшення значення коефіцієнта технічного використання на 12–14 % за рахунок зменшення простоїв ТЗОК, що викликані проведенням заходів ТОіР. Саме за рівнем коефіцієнта технічного використання передбачено визначення рівня ефективності ТЗОК під час вирішення завдань інтегрованого управління кордонами. Дана обставина свідчить про доцільність запровадження в систему експлуатації ТЗОК в ПОК технічного обслуговування за станом та використанням часової та структурної надмірності.

Відмінною особливістю математичної моделі експлуатації ТЗОК з часовою надмірністю, що визначає її новизну, є урахування резервів часу, що витрачається на відновлення (ремонт) працездатності і технічне обслуговування ТЗОК, а також урахування сучасних стратегій технічного обслуговування і ремонту.

Висновок. Отже, у статті розроблена прикладна математична модель системи експлуатації ТЗОК окремих підрозділів охорони кордону органів охорони державного кордону з використанням резервів. У розробленій моделі реалізовані наявні в системі експлуатації ТЗОК підрозділів охорони кордону часові та структурні надмірності.

Розроблена математична модель відкриває можливість обґрунтованого управління ефективністю технічних засобів охорони кордону під час вирішення завдань інтегрованого управління кордонами.

У подальшому науковому дослідженні доцільно на основі розробленої математичної моделі визначити потенційну ефективність основних і резервних ТЗОК та розробити рекомендації забезпечення встановленої їх ефективності на конкретних ділянках державного кордону при різних формах оперативно-службової діяльності.

Список використаної літератури

1. Литвин М. М. Інтегрований прикордонний менеджмент у сучасних умовах / М. М. Литвин // Наука і оборона. – 2010. – № 2. – С. 3–7.
2. Ковтуненко А. П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем : монография / А. П. Ковтуненко, М. А. Шишанов, В. В. Зубарев. – К. : Книжное изд-во НАУ, 2007. – 296 с.
3. Креденцер Б. П. Влияние характеристик контроля на надежность систем с временной избыточностью / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, О. Н. Шинкарук // Труды четвертой научно-технической конференции “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса : Негоциант, 2003. – С. 172.
4. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, М. И. Резников, В. В. Зубарев / под ред. Б. П. Креденцера. – К. : Фенікс, 2002. – С. 19.
5. Зубарев В. В. Комплексный подход к проблеме повышения надежности бортовой радиоаппаратуры / В. В. Зубарев, С. В. Ленков // Вісник КМУЦА. – К. : КМУЦА. – 1999. – № 2. – С. 37–41.
6. Зубарев В. В. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем : монография / В. В. Зубарев, А. П. Ковтуненко, Л. Г. Раскин. – К. : Книжное изд-во НАУ, 2005. – 184 с.
7. Крижний А. В. Основы решения проблемы долговечности вооружения войск ПВО СВ : дисс. / А. В. Крижний. – К. : АСУ, 1994. – 364 с.
8. Лантвойт О. Б. Деякі аспекти концепції комплексного контролю сухопутного кордону / Лантвойт О. Б., Ленков С. В., Лисий М. І. // Наука і оборона. – К., 2011. – №3 – С. 3–9.
9. Лантвойт О. Б. Деякі аспекти концепції комплексного управління технічним забезпеченням охорони кордону, інтегрованого в сферу воєнної безпеки держави / О. Б. Лантвойт // Наука і оборона. – К. – 2011. – № 3. – С. 53–56.
10. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 232 с.
11. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Г. Н. Черкесов. – М. : Сов. радио, 1974. – 296 с.
12. Король В. С. Полумарковские процессы и их приложения / В. С. Король, А. Ф. Турбин. – К. : Наукова думка, 1976. – 184 с.
13. ДСТУ 2860 – 94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996-01-01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 90 с.

Рецензент – доктор технічних наук, професор Шинкарук О. М.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2013.

Дармороз М. М. Научно-методические основы управления эффективностью технических средств охраны границы при выполнении заданий интегрированного управления границами

На основе анализа научно-методической базы обеспечения эффективности технических средств охраны границы разработано прикладную математическую модель системы их эксплуатации. В разработанной модели реализованы имеющиеся в системе эксплуатации технических средств охраны границы временные и структурные избыточности с учетом перспективных стратегий технического обслуживания и ремонта.

Разработана математическая модель открывает возможность обоснованного управления эффективностью технических средств охраны границы при решении задач интегрированного управления границей.

Ключевые слова: *эффективность технических средств охраны границы, математическая модель системы эксплуатации технических средств охраны границы, современные стратегии технического обслуживания и ремонта, временные и структурные избыточности.*

Darmoroz M. M. Scientific and methodological foundations of effective technical means border in solving the integrated border management

On the basis of scientific and methodological basis to ensure the effectiveness of means border application developed mathematical model of their operation. In the developed model implemented in the existing operating system hardware Border temporal and structural redundancy, given the promising strategies for maintenance and repair. The mathematical model makes it possible sound performance management hardware Border in solving the integrated border management.

Keywords: *efficiency of technical means of border protection, the mathematical model of the operation of technical means of border protection, advanced strategy of technical maintenance, temporal and structural redundancy.*