

УДК 623.4.017

Б.М. Ланецький¹, В.В. Лук'янчук¹, І.М. Терехува²¹Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків²Військова частина А0780, Львів

МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ГРУПИ ОДНОТИПНИХ ЗРК З'ЄДНАННЯ (ЧАСТИНИ) ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ЇХ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СПЕЦІАЛІЗОВАНИМИ БРИГАДАМИ

Розробляються моделі надійності радіоелектронних засобів групи однотипних зенітних ракетних комплексів з'єднання (частини) зенітних ракетних військ, які враховують специфіку відновлення працездатності зенітних ракетних комплексів при їх експлуатації за технічним станом. Наводяться результати моделювання, які свідчать про працездатність розроблених моделей та можливість їх використання при аналізі впливу параметрів технічної експлуатації на узагальнені показники ефективності системи експлуатації та ремонту зенітного ракетного озброєння.

Ключові слова: експлуатація та ремонт за технічним станом, модель надійності, спеціалізована бригада.

Вступ

Постановка проблеми. При експлуатації ЗРК за технічним станом (ЕТС) додатково до штатних заходів технічної експлуатації, передбачених експлуатаційною документацією, згідно [1] здійснюються періодичні контролю граничного стану (КГС) та, в залежності від їхніх результатів, виконується:

- заводський ремонт в обсязі середнього або капітального;
- відновлювальні роботи (ВР);
- поточний ремонт та технічне обслуговування великої періодичності.

Виконання військових середніх ремонтів, ВР, поточних ремонтів потребує більш високої кваліфікації фахівців (в порівнянні з експлуатаційним персоналом), спеціалізованого діагностичного та ремонтного обладнання, комплектів ЗІП для ВР тощо.

Для забезпечення техніко-економічної ефективності впровадження методів ЕТС зенітного ракетного озброєння (ЗРО) необхідно провести обґрунтування раціональної структури системи ЕТС та її параметрів. В свою чергу для обґрунтування цих параметрів необхідно мати моделі експлуатації та надійності, які дозволять проводити аналіз впливу параметрів системи експлуатації та ремонтів групи

ЗРК з'єднання (частини) ЗРВ на показники ефективності її функціонування.

Аналіз літератури. В науково-технічній літературі більша частина моделей експлуатації та надійності присвячена процесам відмов та відновлень окремо експлуатуємих виробів [3 – 8]. Задачі експлуатації групи однотипних систем, які потребують різних видів обслуговування (поточного ремонту, ВР, використання за призначенням тощо), досліджено в меншій мірі [2, 3].

Для дослідження ймовірнісних характеристик однотипних технічних систем, які тривало експлуатуються, застосовуються методи теорії масового обслуговування [3, 4]. При цьому передбачається незмінною структура системи масового обслуговування (СМО), що, в свою чергу, призводить до отримання фіксованих ймовірнісних характеристик СМО для стаціонарного режиму, що встановився (режиму роботи). При цьому неможливо знайти найкращу структуру СМО та дати відповідь на запитання, чи задовольняє отримана стаціонарна характеристика вимогам до ефективності експлуатації [3, 7].

В зв'язку з цим, виникає необхідність в розробці моделей експлуатації та надійності груп однотипних виробів.

Мета статті. Розробка моделей надійності, які описують процеси відмов радіоелектронних засобів групи однотипних ЗРК з'єднання (частини) зенітних ракетних військ та відновлення їх працездатності спеціалізованими бригадами.

Основна частина

Результати аналізу методів виконання вище наведених робіт свідчать про економічну доцільність використання централізованих методів їх виконання.

Далі будемо розглядати з'єднання (частину) ЗРВ, в якій здійснюється експлуатація N однотипних ЗРК (або засобів ЗРК), відновлення яких проводиться однією спеціалізованою бригадою. Час доставки бригади до місця проведення поточного ремонту РЕЗ кожного ЗРК групи будемо вважати однаковим.

Експлуатація групи однотипних ЗРК здійснюється циклами експлуатації, параметри яких визначаються планами експлуатації або бойового застосування [7].

На інтервалах між періодичними КГС проводяться поточні ремонти ЗРК (або засобів ЗРК) при виявленні їх непрацездатності.

При централізованому методі поточного ремонту можливі ситуації, коли декілька ЗРК з'єднання (частини) ЗРВ знаходяться в непрацездатному стані, а спеціалізована бригада зайнята відновленням працездатності одного з них.

На початок чергового циклу експлуатації всі РЕЗ групи ЗРК повинні бути працездатними.

Позначимо як:

– A – подію: безвідмовна робота РЕЗ окремого ЗРК групи за тривалість бойового використання на попередньому циклі експлуатації;

– B – подію: працездатність окремого ЗРК групи на початок чергового циклу експлуатації;

– $P(A)$ та $P(B)$ – ймовірності визначених подій.

Після бойового використання ЗРК розглянутої групи на попередньому циклі експлуатації можливі наступні результати (гіпотези):

H_0 – всі N ЗРК групи працездатні;

H_1 – відмовив один ЗРК угруповання, а решта $(N-1)$ – працездатні;

H_i – відмовили i ЗРК угруповання, а решта $(N-i)$ – працездатні тощо.

Знайдемо ймовірність цих гіпотез.

Вочевидь, що

$$P(H_i) = C_N^i [P(A)]^{N-i} [\bar{P}(A)]^i, \quad i = \overline{0, N}, \quad (1)$$

де $\bar{P}(A) = 1 - P(A)$.

Знайдемо ймовірності того, що окремий ЗРК групи буде працездатним на початок чергового циклу експлуатації при цих гіпотезах, які позначимо через $P(B/H_i)$.

Вочевидь, що $P(B/H_0) = 1$.

При гіпотезі H_1 – один ЗРК угруповання непрацездатний i , з ймовірністю $P_{b1}(t_p)$ за розполагаємий час, що є в циклі експлуатації t_p , буде відновлений, решта $(N-1)$ ЗРК працездатні і готові до бойового використання. Можна показати, що

$$P(B/H_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^i P_{bk}(t_p) + \left(1 - \frac{i}{N}\right), \quad i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Тоді ймовірність своєчасного застосування окремого ЗРК даної групи в черговому циклі експлуатації знайдемо за формулою повної ймовірності:

$$P(B) = P_{св.пр.} = \sum_{i=0}^N P(H_i) P(B/H_i). \quad (3)$$

Отримаємо розрахункові співвідношення для обчислення ймовірності $P_{bk}(t_p)$. Для цього знайдемо математичні очікування і дисперсії випадкових величин t_{bi} , $i = \overline{1, N}$.

Випадкову тривалість відновлення працездатності РЕЗ першого (одного) ЗРК можна представити у вигляді

$$t_{b1} = t_{d1} + t_{ov1}, \quad (4)$$

де t_{d1} – тривалість доставки бригади від місця її розміщення до місця ремонту першого ЗРК;

t_{ov1} – тривалість оперативного відновлення РЕЗ першого ЗРК, яка обумовлена тривалістю пошуку місця відмови типового елемента заміни (ТЕЗ) і його доставки до місця ремонту, заміни дефектного ТЕЗ на працездатний і подальшого контролю працездатності пристрою РЕЗ ЗРК.

Випадкову тривалість відновлення працездатності РЕЗ другого ЗРК можна представити у вигляді

$$t_{B2} = t_{B1} + t_{д12} + t_{OB2}, \quad (5)$$

де $t_{д12}$ – тривалість доставки бригади від місця ремонту першого ЗРК до місця ремонту другого ЗРК; t_{OB2} – тривалість оперативного відновлення РЕЗ другого ЗРК.

Випадкову тривалість відновлення працездатності РЕЗ i -го ЗРК можна представити у вигляді

$$t_{Bi} = t_{B1} + \sum_{j=1}^{i-1} (t_{дj,j+1} + t_{OB(j+1)}), \quad i = \overline{2, N}. \quad (6)$$

Тоді, застосовуючи оператори математичного сподівання і дисперсії до співвідношень (4, 5, 6), отримаємо

$$M(t_{B1}) = T_B + T_D; \quad D(t_{B1}) = \sigma_B^2 + \sigma_D^2; \quad (7)$$

$$M(t_{Bi}) = i(T_B + T_D); \quad D(t_{Bi}) = i(\sigma_B^2 + \sigma_D^2), i = \overline{1, N}.$$

де $T_B, T_D, \sigma_B^2, \sigma_D^2$ – математичне сподівання та дисперсія відповідних випадкових величин.

З урахуванням того, що при централізованих методах поточний ремонт РЕЗ проводиться висококваліфікованим персоналом, закон розподілу випадкової величини t_{Bi} можна вважати усіченим нормальним [8].

Тоді

$$F_{Bi}(t_p) = C_{Bi} \Phi\left(\frac{t_p - M(t_{Bi})}{\sigma_{Bi}}\right); \quad (8)$$

$$C_{Bi} = \left[\Phi\left(\frac{M(t_{Bi}) - t_{Bi \min}}{\sigma_{Bi}}\right) \right]^{-1},$$

де $t_{Bi \min}$ – мінімально можливий час відновлення працездатності РЕЗ i -го ЗРК.

За співвідношеннями (3) – (8) можна проводити розрахунки залежностей ймовірності своєчасного застосування окремого ЗРК групи від величин показників ефективності відновлення РЕЗ ЗРК при централізованому методі поточного ремонту.

Аналогічним чином, можна отримати розрахункове співвідношення для ймовірності того, що кількість своєчасно застосованих ЗРК (l) з групи N ЗРК буде не менш заданої величини l^* :

$$P_{св.пр.}(l \geq l^*) = \sum_{i=0}^N P(H_i) [F_{Bi}(t_p) - F_{B(i+1)}(t_p)] + \quad (9)$$

$$+ \sum_{f=1}^{N-l^*} \sum_{i=f}^N P(H_i) [F_{B(i-f)}(t_p) - F_{B(i-f+1)}(t_p)].$$

Розроблені математичні моделі є формалізованим описом процесів відмов РЕЗ групи ЗРК з'єднання (частини) ЗРВ і відновлення їх працездатності спеціалізованою бригадою.

Показник $P_{св.пр.}$ за своєю суттю є аналогом нестационарного коефіцієнта готовності, але, на відміну від нього, більшою мірою враховує специфіку відно-

влення РЕЗ групи ЗРК, час, який є на відновлення їх працездатності, що є в циклі експлуатації, метод поточного ремонту РЕЗ групи ЗРК, інші чинники.

Для порівняльного аналізу впливу різних параметрів на показник ефективності функціонування системи експлуатації ($P_{св.пр.}$) проведено моделювання процесів відмов РЕЗ ЗРК та їх відновлень для групи з 4-х однотипних ЗРК.

На рис. 1, 2 наведені залежності величини $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ від величини часу t_p , який є у розпорядженні у циклі експлуатації на відновлення працездатності РЕЗ ЗРК, при різних параметрах методу поточного ремонту, а на рис. 3, 4 – від величини середнього часу відновлення T_B працездатності РЕЗ ЗРК.

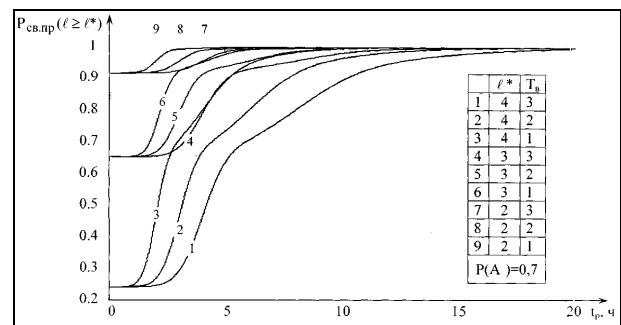


Рис. 1. Графіки залежностей величини $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ для групи з чотирьох ЗРК від величини часу t_p , при $t_B \sim N(T_B, \sigma_B), \sigma_B = 0,2T_B, t_D \sim N(T_D = 1 \text{ ч}, \sigma_D = 0,16 \text{ ч}), P(A) = 0,7$

Задаючись необхідними величинами $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ та t_p , можна знайти необхідну величину часу відновлення. У свою чергу, при відомій залежності тривалості відновлення працездатності РЕЗ ЗРК від нормативного часу відновлення працездатності РЕЗ ЗРК, кількості ремонтників, кількості засобів технологічного оснащення, досвіду та кваліфікації лідера бригади ремонтників та решти членів ремонтної бригади, забезпеченості запасними частинами, можна перевірити виконання вимог до складу і кваліфікації виконавців спеціалізованої бригади.

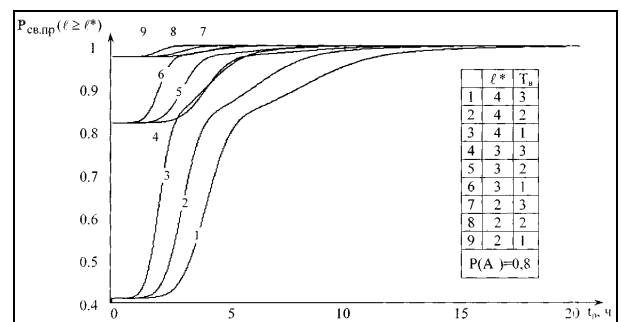


Рис. 2. Графіки залежностей величини $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ для групи з чотирьох ЗРК від величини часу t_p , при $t_B \sim N(T_B, \sigma_B), \sigma_B = 0,2T_B, t_D \sim N(T_D = 1 \text{ ч}, \sigma_D = 0,16 \text{ ч}), P(A) = 0,8$

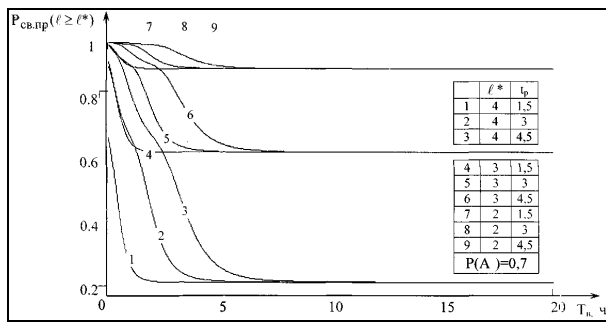


Рис. 3. Графіки залежностей величини $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ для групи з чотирьох ЗРК від величини $T_{п.ч.}$, при $t_{в.} \sim N(T_{в.}, \sigma_{в.})$, $\sigma_{в.} = 0,2T_{в.}$, $t_{д.} \sim N(T_{д.} = 1 \text{ ч.}, \sigma_{д.} = 0,16 \text{ ч.})$, $P(A) = 0,7$

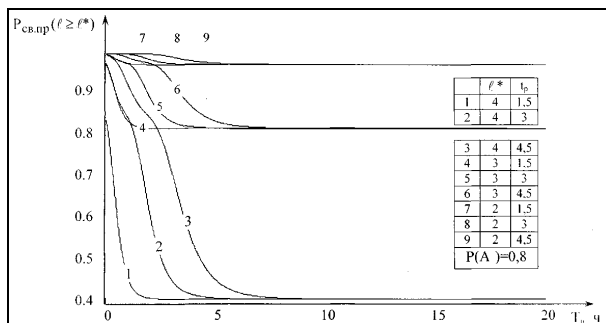


Рис. 4. Графіки залежностей величини $P_{св.пр.}(l \geq l^*)$ для групи з чотирьох ЗРК від величини $T_{п.ч.}$, при $t_{в.} \sim N(T_{в.}, \sigma_{в.})$, $\sigma_{в.} = 0,2T_{в.}$, $t_{д.} \sim N(T_{д.} = 1 \text{ ч.}, \sigma_{д.} = 0,16 \text{ ч.})$, $P(A) = 0,8$

ВИСНОВКИ

Таким чином, розроблені математичні моделі надійності радіоелектронних засобів групи однотипних ЗРК з'єднання (частини) зенітних ракетних військ при відновленні їх працездатності спеціалізованими бригадами, у поєднанні з іншими моделями, дозволяють проводити аналіз впливу параметрів

МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ГРУППЫ ОДНОТИПНЫХ ЗРК СОЕДИНЕНИЯ (ЧАСТИ) ЗЕНИТНЫХ РАКЕТНЫХ ВОЙСК ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИХ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫМИ БРИГАДАМИ

Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, И.Н. Теребуха

Разрабатываются модели надежности радиоэлектронных средств группы однотипных зенитных ракетных комплексов соединения (части) зенитных ракетных войск, учитывающих специфику восстановления работоспособности зенитных ракетных комплексов при их эксплуатации по техническому состоянию. Приводятся результаты моделирования свидетельствующие о работоспособности разработанных моделей и возможности их использования при анализе влияния параметров технической эксплуатации на обобщенные показатели эффективности системы эксплуатации и ремонта зенитного ракетного вооружения.

Ключевые слова: эксплуатация и ремонт по техническому состоянию, модель надежности, специализированная бригада.

MODEL OF RELIABILITY OF RADIO ELECTRONIC MEANS IN THE GROUP OF THE SAME TYPE SAM COMPLEXES OF TACTICAL UNITS OF SAM TROOPS DURING THEIR FUNCTIONALITY RECOVERY BY SPECIALIZED BRIGADES

B.N. Lanetskij, V.V. Lukjanчук, I.N. Terebucha

The models of reliability of radio electronic means in the group of the same type SAM complexes of tactical units of SAM troops taking into account the specifics of functionality recovery of SAM complexes during their exploitation by technical state are developed. Results of simulation are presented showing capability of the models developed and possibility of their use for the analysis of influence of parameters of technical exploitation on the generalized indexes of efficiency of the system of exploitation and repair of SAM armament.

Keywords: exploitation and repair on the technical state, model of reliability, specialized brigade.

технічної експлуатації на узагальнені показники ефективності системи експлуатації та ремонту та приймати рішення з вибору раціональної структури цієї системи та значень її параметрів.

Список літератури

1. Порядок експлуатації за технічним станом озброєння та військової техніки зенітних ракетних та радіотехнічних військ, за якими не здійснюється авторський нагляд. Наказ Міністра оборони України від 05.02.10 № 53.

2. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонт техники. Термины и определения.

3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем: Учебное пособие / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.

4. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / А.К. Бакаров, Л.И. Кульбак, В.Ю. Лавриненко и др.; под ред. В.Ю. Лавриненко. – М.: Высшая школа, 1978. – 330 с.

5. Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н.Н. Смирнов, А.А. Ицкевич. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.

6. Техническая эксплуатация летательных аппаратов: учеб. для ВУЗов / Н.Н. Смирнов, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко и др.; под ред. Н.Н. Смирнова. – М.: Транспорт, 1990. – 423 с.

7. Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем: монограф. / А.П. Ковтуненко, В.В. Зубарев, Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев. – К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 236 с.

8. Основы теории надійності експлуатації та ремонту засобів зенітних ракетних систем: навчальний посібник / Б.М. Ланецкий, В.С. Жуков, О.С. Алексеев; за ред. Б.М. Ланецкого. – Х.: ХУПС, 2009. – 510 с.

Надійшла до редколегії 4.10.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків..