

Збройна боротьба: теорія, забезпечення, досвід

УДК 623.486

О.П. Ковтуненко, О.П. Коростельов, О.В. Зубарев

Центральний науково-дослідний інститут озброєння і військової техніки, Київ

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ УРАХУВАННЯ ВПЛИВУ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ЇХ НАДІЙНІСТЬ

Запропоновано методичний апарат, який дозволяє визначити кількісні показники впливу на надійність функціонування складних систем озброєння і військової техніки

Ключові слова: надійність, складні системи, системи озброєння та військова техніка.

Вступ

У загальному випадку будь-яка система озброєння і військової техніки (ОВТ) може знаходитись у наступних станах: зберігання; розгорнута і знаходиться в режимі очікування використання за призначенням; знаходиться у режимі технічного обслуговування або ремонту. Тому однією з найважливіших задач є збільшення загальної тривалості експлуатації ОВТ, визначення рівню впливу умов експлуатації систем ОВТ на показники їх надійності.

Метою статті є розробка методичний апарату, який дозволив би визначити кількісні показники впливу на надійність функціонування складних систем озброєння і військової техніки

Результати досліджень

Загальна тривалість експлуатації ОВТ може бути визначена як сума тривалості її перебування у різних режимах

$$t_{\text{екв}} = \sum_{l=1}^r t_l,$$

де t_l ($l=1, 2, \dots, r$) – тривалість утримання системи ОВТ в l -му режимі.

При відхиленні кліматичних умов від оптимальних інтенсивність старіння підвищується. Це можливо врахувати, якщо ввести деякий масштабний коефіцієнт $k(\underline{V})$, числове значення якого залежить від кліматичних умов. В цьому випадку

$$t_{\text{екв}} = \sum_{l=1}^r k(\underline{V}_l) t_l, \quad (1)$$

де \underline{V}_l – вектор кліматичних умов, яким характеризується l -й режим утримання системи ОВТ.

Вектор \underline{V}_l ($l=1, 2, \dots, r$) повністю визначається режимом утримання системи ОВТ та районом дислокації. Співвідношення (1) визначає еквівалентну тривалість її експлуатації.

Функція $k(\underline{V})$ характеризує жорсткість кліматичних умов та являє собою деяку поверхню у восьмивимірному просторі кліматичних факторів.

В загальному випадку [1]

$$k(\underline{V}) = a_0 + \sum_{i=1}^b a_i v_i + \sum_{i_1=1}^b \sum_{i_2>i_1}^b a_{i_1 i_2} v_{i_1} v_{i_2} + \dots + \sum_{i_1=1}^b \sum_{i_2>i_1}^b \dots \sum_{i_8>i_7}^b a_{i_1 i_2 \dots i_8} v_{i_1} v_{i_2} \dots v_{i_8} = \sum_{s=1}^{q_1} a_{1s} u_s. \quad (2)$$

Співвідношення (2) прийнято називати кліматичною моделлю.

Підставивши (2) в (1), маємо

$$t_{\text{екв}} = a_0 \sum_{l=1}^r t_l + \sum_{i=1}^b a_i \sum_{l=1}^r v_{il} t_l + \sum_{i_1=1}^b \sum_{i_2>i_1}^b a_{i_1 i_2} \sum_{l=1}^r v_{i_1 l} v_{i_2 l} t_l + \dots + \sum_{i_1=1}^b \sum_{i_2>i_1}^b \dots \sum_{i_8>i_7}^b a_{i_1 i_2 \dots i_8} \sum_{l=1}^r v_{i_1 l} v_{i_2 l} \dots v_{i_8 l} t_l = \sum_{s=1}^r \sum_{s=1}^{q_s} a_{1s} u_{1s} t_s = \sum_{s=1}^{q_1} a_{1s} \sum_{l=1}^r u_{1s} t_l = \sum_{s=1}^{q_1} a_{1s} z_{1s}. \quad (3)$$

Аналогічно можуть бути отримані співвідношення для решти еквівалентних факторів. При цьому інтенсивність відмов системи ОВТ може бути визначена в просторі чотирьох еквівалентних факторів і представлена поліноміальною моделлю виду ієрархічної структури [2]

$$\lambda(\underline{B}, \underline{Y}) = b_0 + \sum_{i=1}^4 b_i y_i + \sum_{i_1=1}^4 \sum_{i_2=1}^4 b_{i_1 i_2} y_{i_1} y_{i_2} + \dots + \sum_{i=1}^4 \dots \sum_{i_a=i_{a-1}}^4 b_{i_1 \dots i_a} y_{i_1} \dots y_{i_a} = \sum_{j=1}^n b_j x_j, \quad (4)$$

де y_1 – еквівалентна тривалість експлуатації системи ОВТ на різних етапах,

$$y_1 = \sum_{s=1}^{q_1} a_{1s} z_{1s}, \quad (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1q_1}) = \underline{A}_1; \quad (5)$$

y_2 – еквівалентна дальність транспортування системи ОВТ,

$$y_2 = \sum_{s=1}^{q_2} a_{2s} z_{2s}, \quad (a_{21}, a_{22}, \dots, a_{2q_2}) = \underline{A}_2; \quad (6)$$

y_3 – еквівалентна тривалість роботи системи ОВТ під напругою,

$$y_3 = \sum_{s=1}^{q_3} a_{3s} z_{3s}, \quad (a_{31}, a_{32}, \dots, a_{3q_3}) = \underline{A}_3; \quad (7)$$

y_4 – еквівалентна тривалість виробництва серії систем ОВТ,

$$y_4 = \sum_{s=1}^{q_4} a_{4s} z_{4s}, \quad (a_{41}, a_{42}, \dots, a_{4q_4}) = \underline{A}_4, \quad (8)$$

$$q_1 = 2^1, \quad q_2 = 2^2, \quad q_3 = 2^3, \quad q_4 = 2^4.$$

Використання ієрархічної структури для опису закону зміни параметрів потоку відмов у факторному просторі дозволяє врахувати специфічні особливості дії факторів та суттєво скоротити розмірність задачі, яка вирішується. Число параметрів, які оцінюються, у даному випадку визначається за формулою

$$n = C_{4+d}^d + \sum_{v=1}^4 q_v.$$

Чим більше число параметрів моделі, які оцінюються, тим більша точність відтворюваності спостережень значень процесу, який досліджується. Але ж надмірне збільшення числа параметрів, які оцінюються, при незмінному об'ємі вибірки, суттєво зменшує статистичну стійкість результатів, що може привести до їх неправильної інтерпретації.

У вищезазначеному випадку, якщо для опису структури еквівалентних факторів використовувати повні рівняння регресії, які враховують всі можливі взаємодії факторів,

$$q_1 = 2^6 = 64; \quad q_2 = 2^4 = 16;$$

$$q_3 = 2^{16} = 65\,536; \quad q_4 = 2^8 = 256.$$

Зрозуміло, що оцінка такого числа параметрів фактично нереалізуєма. Разом з цим особливою необхідності в оцінці всієї множини параметрів немає, оскільки більшу частину з них визначають взаємодії вищого порядку, впливом яких можливо знехтувати. Для реалізації запропонованої моделі в більшості випадків традиційно використовуються методи теорії факторного аналізу. У ситуації, яка розглядається, означені методи не можуть бути застосовані безпосередньо, оскільки вони орієнтовані на «активний» експеримент, тобто потрібно деяке їх удосконалення.

Пояснимо вищезазначене. Нехай Z_{ij} – спостережуване у j -му експерименті значення i -го фактора. Для зручності обробки результатів досліджень проводиться перетворення незалежних змінних Z_{ij} до

безрозмірних величин

$$x_{ij} = \frac{2Z_{ij} - z_{i \min} - z_{i \max}}{z_{i \max} - z_{i \min}},$$

де $[z_{i \min}; z_{i \max}]$ – діапазон значень i -го фактора.

У результаті використання введеного перетворення числові значення всіх змінних будуть в діапазоні $[-1, 1]$. При проведенні повного факторного експерименту (ПФЕ) з r факторами загальне число результатів повинно дорівнювати 2^r , а значення факторів у кожному з них відповідно (+1) (верхній рівень) або (-1) (нижній рівень) [1].

План активного ПФЕ має важливі властивості, які пояснюють інтенсивне застосування методів теорії планування експериментів.

По-перше, для ПФЕ виконується умова котирування, тобто

$$\sum_{j=1}^{2^r} x_{ij}^2 = 2^r, \quad i = 1, 2, \dots, r.$$

По-друге, цей план симетричний відносно центра експерименту

$$\sum_{j=1}^{2^r} x_{ij} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, r.$$

По-третє, матриця планування ортогональна, тобто для будь-яких i_1 та i_2 має місце співвідношення

$$\sum_{j=1}^{2^r} x_{i_1 j} x_{i_2 j} = 0, \quad i_1 \neq i_2, \quad (i_1, i_2) \subset \{1, 2, \dots, r\}.$$

При цьому забезпечується незалежне оцінювання значимості всіх факторів та взаємодій, які входять до моделі.

Нарешті, по-четверте, план ПФЕ рентабельний. Це означає, що точність передбачаючих значень функції відгуку моделі однакова на рівних ділянках від центра моделі та не залежить від напрямку у факторному просторі. Обробка результатів активного експерименту проста, що пов'язано з ортогональністю плану експерименту. Якщо при цьому модель процесу, який аналізуємо, буде мати вигляд

$$y = \sum_{i=0}^m a_i x_i, \quad (9)$$

то оцінка i_1 -го коефіцієнта рівняння регресії розраховується за формулою

$$\hat{a}_{i_1} = \frac{\sum_{j=1}^n y_j x_{i_1 j}}{\sum_{j=1}^n x_{i_1 j}^2}, \quad (10)$$

де y_j – значення процесу, який спостерігається в j -му експерименті; n – кількість експериментів.

Таким чином, при використанні активного ПФЕ є можливість оцінки параметрів рівняння регресії. Але специфіка активного експерименту є такою, що всі окремі дослідження, які входять у експеримент, повинні бути проведені тільки у деяких визна-

чених «ортогональних» точках факторного простору. Справа в тому, що сукупність результатів поточного контролю технічного стану системи ОБТ за своєю природою є пасивним експериментом, який не може бути раціонально організовано, як це передбачається при активному експериментуванні. Положення вектора віку \underline{Y}_k відповідної k -ї перевірки не залежить від експериментатора, а визначається умовами експлуатації системи і випадковими значеннями, які впливають на фактори в період перевірки. В зв'язку з цим матриця лише частково має властивостей матриці ПФЕ. Можливий підхід до ортогоналізації плану пасивного експерименту полягає у наступному.

Нехай надійність системи ОБТ визначається сукупним впливом r факторів z_1, z_2, \dots, z_r .

Назвемо точкою першого виміру точку \underline{Z}_k у факторному просторі, яка відповідає положенню вектора еквівалентних факторів у період закінчення k -го контролю. Нехай у факторному просторі вибрано m точок $\underline{\bar{Z}}_l = (\bar{z}_{1l}, \bar{z}_{2l}, \dots, \bar{z}_{rl})$, $l=1, 2, \dots, m$, спеціальним чином розміщених відносно точок першого виміру. Дані точки назвемо точками другого виміру. Сукупність точок другого виміру будемо називати планом експерименту. Множину номерів перевірок E розподілимо на m підмножин ($E = \{E_1, E_2, \dots, E_m\}$) за таким правилом

$$E_l = \left\{ k : \min_{\mu} (\bar{z}_{\mu} - z_k)(\bar{z}_{\mu} - z_k)^T = (\bar{z}_{1l} - z_k)(\bar{z}_{1l} - z_k)^T \right\}. \quad (11)$$

При цьому область значень компонентів вектора умов експлуатації системи ОБТ у факторному просторі поділяється на m підобластей.

Спробуємо здійснити незалежну апроксимацію інтенсивності відмов у кожній підобласті факторного простору гіперплощиною ($y_0 \equiv 1$)[^]

$$\lambda_1(\underline{Y}) = \sum_{i=0}^r C_i^{(1)} y_i, \quad i=0, 1, 2, \dots, m, \quad (12)$$

Для цього розв'яжемо m систем рівнянь правдоподібності

$$\sum_{k \in E_l} \frac{R_{jk}^{(1)}}{\exp \left\{ \sum_{i=0}^r C_i^{(1)} R_{jk}^{(1)} \right\} - 1} = \sum_{k \in E_l} R_{jk}, \quad j=0, 1, \dots, r, \quad (13)$$

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ

А.П. Ковтуненко, О.П. Коростелев, О.В. Зубарев

Предложен методический аппарат, который позволяет определить количественные показатели влияния на надежность функционирования сложных систем вооружения и военной техники.

Ключевые слова: надежность, сложные системы, системы вооружения и военная техника.

METHODOICAL BASES OF ACCOUNT OF INFLUENCE OF EXTERNAL OF DIFFICULT SYSTEMS OF ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE ENVIRONMENTS ON THEIR RELIABILITY

A.P. Kovtunenکو, O.P. Korostelev, O.V. Zubarev

A methodical vehicle which allows to define the quantitative indexes of influence on reliability of functioning of the difficult systems of armament and military technique is offered.

Keywords: reliability, difficult systems, systems of armament and military technique.

де $E_\ell^1 = \{k : k \in E_\ell, \eta_k = 1\}$; $E_\ell^0 = E_\ell / E_\ell^1$; $\ell = 1, \dots, m$.

Нехай отримані оцінки $\hat{C}_i^{(1)}$ ($i=0, 1, \dots, r$) коефіцієнтів $C_i^{(\ell)}$ ($\ell=0, 1, \dots, m$) співвідношень (12) та відповідно їм коваріаційні матриці $\left\| \Psi_{i_1 i_2}^{(1)} \right\|$ для всіх $l=1, 2, \dots, m$. Обчислимо значення інтенсивності відмов у кожній точці другого виміру

$$\hat{\lambda}_l = \sum_{i=0}^r \hat{C}_i^{(\ell)} z_{i\ell}, \quad (\ell=0, 1, \dots, m). \quad (14)$$

Дисперсія σ_1^2 оцінки $\hat{\lambda}_l$ може бути розрахована за формулою

$$\sigma_1^2 = \sum_{i_1=1}^r \sum_{i_2=1}^r \Psi_{i_1 i_2}^{(\ell)} z_{i_1 \ell} z_{i_2 \ell}, \quad \ell=1, 2, \dots, m. \quad (15)$$

Розрахунок величин $\hat{\lambda}_l$ та σ_1^2 , $l \in \{1, 2, \dots, m\}$, будемо називати ℓ -м дослідом, а значення $\hat{\lambda}_l$ – результатом ℓ -го дослідю, дисперсія σ_1^2 характеризує похибку ℓ -го дослідю.

Сукупність дослідів $\{1, 2, \dots, m\}$ – активний експеримент. План $\{\underline{X}_1, \underline{X}_2, \dots, \underline{X}_m\}$ такого експерименту може бути вибраний дослідником.

Висновки

Таким чином, на підставі запропонованого методичного апарату стає можливим визначити рівень впливу умов експлуатації систем ОБТ на показники їх надійності.

Список літератури

1. Ковтуненко А.П. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения: монография / А.П. Ковтуненко, В.В. Зубарев – К.: НАУ, 2009, 487 с.
2. Ковтуненко А.П. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем: монография / А.П. Ковтуненко, В.В. Зубарев, Л.Г. Раскин. – К.: НАУ, 2005. – 183 с.

Надійшла до редколегії 21.01.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.