

УДК 621.396

А.О. Левченко, О.І. Кравчук

Науковий центр Сухопутних військ Академії сухопутних військ, Львів

СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДЛЯ ПЕРЕНЕСНИХ ПРОТИТАНКОВИХ РАКЕТНИХ КОМПЛЕКСІВ, ЯК ОБ'ЄКТУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІЄРАРХІЧНОЇ СТРУКТУРИ

В роботі наведено схему впливу складових переносних протитанкових ракетних комплексів в ієрархічній системі технічного забезпечення експлуатації для якої розроблено динамічну структуру моделі оператора забезпечення експлуатації. Проведено аналіз операцій властивих для структурних елементів переносних протитанкових ракетних комплексів та визначено вид коефіцієнтів перетворення справного стану під впливом операторів, що характеризують дію відповідних технологічних операцій. Зроблено висновок про необхідність розроблення методів моделювання систем експлуатації на основі штучних нейронних мереж враховуючи їх топологічну подібність з розробленими операторними моделями.

Ключові слова: система забезпечення експлуатації, оператор, модель системи експлуатації.

Вступ

Постановка проблеми. На новому рівні формування систем забезпечення експлуатації (СЗЕ) повстає проблема реальності статистичних гарантій забезпечення ефективності їх функціонування. Складність використання повної інформації результатів контролю працездатності долається переходом до контролю за сукупністю параметрів високого ступеня узагальнення, або моделюванням складних технічних систем, як ієрархічних [1].

Не дивлячись на конструктивну відмінність різних переносних протитанкових ракетних комплексів (ПТРК), в цих зразках озброєння реалізовані подібні технічні рішення, що робить можливим пропозицію одночасної зміни для них системи технічного забезпечення експлуатації (СТЗЕ).

Реалізація однакової структури та подібних технічних рішень в ПТРК 9К111 та 9К115 надає можливість побудови єдиної універсальної моделі СЗЕ для цих комплексів.

Визначення спільних за функціональним призначенням елементів різних ПТРК, дозволяє стверджувати про можливість побудови єдиної ієрархічної, універсальної моделі технологічної СЗЕ [1].

Завданням, що потребує розв'язання для можливості отримання аналітичних моделей СЗЕ, є побудова структури та динамічної моделі СЗЕ для методу, який дозволяє проводити синтез моделей СТЗЕ в умовах статистичної невизначеності вихідних даних.

Зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження в напрямку створення математичного і програмного забезпечення для формування пропозицій з визначення реального стану озброєння і військової техніки, з метою визначення потреби у відновленні зразків та заходів, щодо їх модернізації і продовження ресурсу, потребують подальшого розвитку науково-методичного апарату побудови аналітичних моделей динаміки

стану об'єктів експлуатації в умовах відсутності інформації про ймовірнісні характеристики випадкових процесів зміни їх параметрів. Це надасть можливість визначити шляхи розв'язання наукової проблеми статистичних гарантій моделі експлуатаційних процесів [2, 3], зниження ризику прийняття рішень управління узагальненими показниками якості [3 – 5] та практичної проблеми зниження експлуатаційних витрат [2, 6 – 8].

Аналіз досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Створення й ефективне використання автоматизованих систем управління вимагають розробки відповідного математичного забезпечення, що й зробило актуальною проблему моделювання процесів забезпечення експлуатації [9].

Значний внесок в розвиток методів моделювання процесів забезпечення експлуатації зроблено під час синтезу методу групового урахування аргументів (МГУА) [10, 11] та методу максимуму компактності [12, 13], а також розроблення алгоритмів процесу зміни стану технічних систем [14]. Узагальнення можливих моделей обслуговування із застосуванням класичних методів наведено в [15].

В [16, 17] запропоновано використання типових операторів для побудови моделей процесів забезпечення експлуатації.

Окреслення невирішеної частки загальної задачі. В роботах попередніх авторів не розглядались шляхи побудови моделей ієрархічних за структурою СЗЕ.

Викладення основного матеріалу

Принципова можливість побудови єдиної, ієрархічної, універсальної моделі технологічних СЗЕ [1] вимагає попереднього розгляду структури впливу станів об'єктів, що знаходяться на вищих рівнях ієрархії на визначення стану об'єктів нижнього рівня ієрархії. Для переносних ПТРК подібна структурна схема СЗЕ наведена на рис. 1.

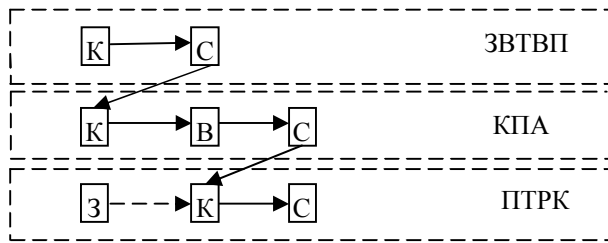


Рис. 1. Схема впливу складових ПТРК в ієрархічній СТЗЕ

На рис. 1: К – контроль стану; С – утримання в режимі готовому до використання за призначенням; В – відновлення стану; З – зберігання з виконанням технологічних операцій консервації.

З урахуванням специфіки експлуатації досліджуваних об'єктів при моделюванні процесів їх експлуатації справедливо ввести наступні припущення: будемо вважати, що стан засобів вимірювальної техніки військового призначення (ЗВТВП) не впливає на стан контрольно-перевірочної апаратури (КПА) під час виконання технологічних операцій ремонтних (відновлювальних) робіт. В свою чергу стан КПА не впливає на зміну стану пускової установки ПТРК чи протитанкової керованої ракети під час їх утримання без застосування за призначенням.

Існує велика кількість різновидностей методів побудови моделі СТЗЕ для різних об'єктів експлуатації (ОЕ). Їх докладний аналіз можна знайти в [12, 17]. В [16, 17] наведено переваги моделювання за допомогою типових операторів.

Моделі СЗЕ різняться одна від одної складом, порядком руху (чергуванням) і характеристиками операторів, що використовуються (оператор системи профілактичного обслуговування оператор системи оперативного контролю, оператор системи технічного обслуговування і ремонту, оператор системи метрологічного забезпечення і т.д). Тому, без суттєвої втрати спільності, розглянемо циклічну СЗЕ, якій на довільному інтервалі обслуговування відповідає модель, що задається оператором системи експлуатації, виду

$$L_{CE} = L_{C1}L_{C2}L_{B}L_{K}L_{C2}L_{C1},$$

тобто на кожному циклі справедливе співвідношення:

$$\mu = L_{CE}\mu,$$

де L_{C1} – оператор утримання СЗЕ в стані, придатному до використання за призначення; L_{C2} – оператор утримання СЗЕ в допоміжному режимі (підготовка до технічного обслуговування, транспортування); L_{B} – оператор відновлення, L_{K} – оператор контролю стану; μ – інтенсивність перерозподілу справного стану об'єкту експлуатації під впливом дії оператора системи експлуатації [3]. μ тотожне перетворенню міри справних об'єктів загальній кількості об'єктів.

Схема на рис. 2 відповідає в загальному випадку нелінійному інерційному перетворенню міри, що відповідає в свою чергу системі нелінійних дифере-

нційних рівнянь, основним методом вирішення яких являється числове інтегрування [2, 3]. Однак в частковому, але практично важливому випадку, коли $N > 1$, а СЗЕ являє собою одноканальну систему масового обслуговування, інерційністю проміжних перетворень міри перерозподілу засобів у справному та несправному стані можна знехтувати.

Еквівалентна лінійна модель, що розроблена для врахування цих особливостей СЗЕ представлена на рис. 3. Для уніфікації запису всім коефіцієнтам перетворення присвоєна загальна індексація.

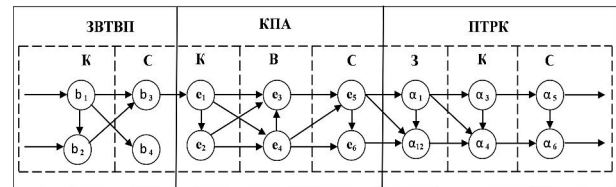


Рис. 2. Динамічна модель оператора системи експлуатації для об'єкта експлуатації ієрархічної структури, на прикладі ПТРК, де $b_{2i-1}, \alpha_{2i-1}, e_{2i-1}$ – справний стан технічного засобу; $b_{2i}, \alpha_{2i}, e_{2i}$ – несправний стан технічного засобу.

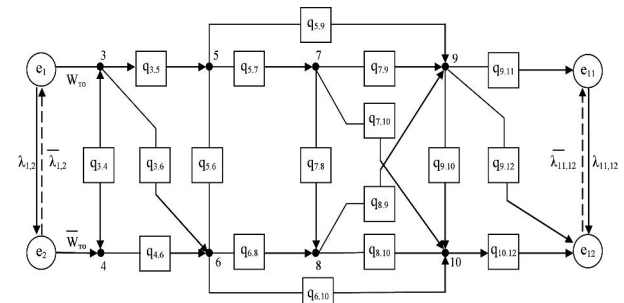


Рис. 3. Еквівалентна модель оператора СТЗЕ для об'єктів, відновлення справного стану яких проводиться шляхом регулювання нормованих параметрів

На рис 3 $q_{e_{2i-1}}, q_{e_{2i}}$ – коефіцієнти переходу справних та несправних об'єктів під впливом проведення технологічних операцій СТЗЕ зі стану e_{2i-1} у стан e_{2i} ; $\lambda_{e_{2i-1}}, \lambda_{e_{2i}}$ – інтенсивності перерозподілу міри справних і несправних об'єктів зі стану e_{2i-1} у стан e_{2i} під впливом технологічних операцій підсистем СТЗЕ.

Як показує практика, можливості за ресурсом підсистем утримання і контролю можна вважати необмеженим [2]. При будь-якому законі зміни продуктивності технічного обслуговування:

$$\Omega_{TO} = \omega_{TO} + \bar{\omega}_{TO},$$

де Ω_{TO} – продуктивність системи відновлення, ω_{TO} – продуктивність системи відновлення з урахуванням правильного виконання технологічних операцій та забезпечення справного стану; $\bar{\omega}_{TO}$ – продуктивність системи відновлення з урахуванням можливих внесених відмов за рахунок порушення процедур проведення операцій відновлення.

Інтенсивність витрат ресурсу відновлення ОЕ

$$Q_B^{(1)} = -q_B \omega_{TO} - \bar{q}_B \bar{\omega}_{TO},$$

де $q_B = q_{35}q_{57} + q_{36}q_{68} + q_{34}q_{68}$, $\bar{q}_B = q_{68}$; q_B – коефіцієнт переходу з несправного стану у справний під впливом правильного проведення операцій відновлення; \bar{q}_B – коефіцієнт переходу ОЕ з справного стану у несправний з урахуванням внесених відмов під час проведення операцій відновлення.

Інтенсивність дії будь-якого оператора L_* або його продуктивність:

$$\omega_* = \omega_{*2i-1} + \omega_{*2i}.$$

Інтенсивність зміни виду технічного стану ОЕ $\lambda_* = \lambda_*(t, \varphi_1, \varphi_2, \dots)$ характеризує процес виникнення несправностей в елементі ОЕ, тобто описує сукупність дії факторів $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ заходів експлуатації за час t . Крім того, сама по собі технологічна операція виконується у відповідності з визначеним алгоритмом, який може бути порушеним в силу різних обставин, наприклад, через низьку кваліфікацію обслуговуючого персоналу, під дією негативних факторів оточуючого середовища. Це призводить до спотворення результату операції в \bar{q}_* частці випадків, тобто:

$$\bar{q}_* + q_* = 1.$$

Дія підсистеми утримання ОЕ полягає у створенні відповідних умов утримання, які послаблюють вплив негативних факторів умов експлуатації і описується оператором утримання L_{cj} СЕ в j -му режимі. Алгоритм утримання може бути реалізованим без помилок з вірогідністю – D_{ncj} , при цьому вирази для коефіцієнту перетворення оператору підсистеми утримання мають вигляд:

$$q_{2i-1} = P_{ncj} \cdot 1(a_{cj}); \quad \bar{q}_{2i-1} = 1 - P_{ncj} \cdot 1(a_{cj});$$

$$q_{2i} = 0; \quad \bar{q}_{2i} = 1;$$

де

$$1(x) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x > 0 \\ 0, & \text{якщо } x \leq 0 \end{cases}.$$

Оператор контролю L_k прийнято характеризувати вірогідністю помилок контролю першого роду α і другого роду β ; правильного прийняття рішення про знаходження ОЕ, який контролюється в справному γ і несправному δ стані [2, 9]; вірогідністю $P_{пк}$ того, що алгоритм контролю буде реалізованим без помилок, які впливають на результат контролю ОЕ. Слід відзначити, що наявний розділ безлічі станів елемента ОЕ стає повністю помітним тільки при абсолютно достовірному контролі.

В загальному ж випадку при незалежності вказаних різновидів помилок в ході контролю вирази для коефіцієнту перетворення відповідного оператора мають вигляд:

$$q_{2i-1} = \frac{\alpha(1 - P_{\hat{E}}) + \gamma P_{\hat{E}}}{\alpha + \gamma}; \quad \bar{q}_{2i} = \frac{\beta P_{\hat{E}} + \delta(1 - P_{\hat{E}})}{\beta + \delta};$$

$$\bar{q}_{2i-1} = \frac{\alpha P_{\hat{E}} + \gamma(1 - P_{\hat{E}})}{\alpha + \gamma}; \quad q_{2i} = \frac{\beta(1 - P_{\hat{E}}) + \delta P_{\hat{E}}}{\beta + \delta}.$$

Оператор відновлення $L_{\hat{A}}$ має деякі особливості, пов'язані зі способом відновлення справності ОЕ.

Відновлення справності ОЕ із застосуванням апарату типових операторів, може бути здійснено наступним способом: 1) поповненням використаних матеріалів або виробів; 2) регулюванням параметрів елемента; 3) вилученням несправного елемента, його ремонтом та наступним поверненням на місце вилучення; 4) вилученням несправного елемента і його заміною справним.

Кожному перерахованому способу відновлення відповідає свій спосіб врахування інтенсивності витрат ресурсу відновлення. Особливий інтерес представляє останній спосіб відновлення з використанням запасних елементів, коли алгоритм відновлення реалізується без помилок, які спотворюють результат операції, з вірогідністю $P_{ПВ}$, а використаний для відновлення елемент заміни справний з вірогідністю $P_{ЕЕ}$. Тоді вирази для оператору відновлення мають такий вигляд:

$$q_{2i-1} = \frac{P_{\hat{A}} P_{ЕЕ} + [1 - 1(\alpha_B)](1 - x^*)}{P_{\hat{A}} + D_{\hat{A}\hat{A}}(1 - P_{\hat{A}}) + [1 - 1(\alpha_{\hat{A}})](1 - \delta^* - P_{\hat{A}}) + \delta^*};$$

$$\bar{q}_{2i-1} = \frac{P_{ЕЕ}(1 - P_{\hat{A}}) + P_{\hat{A}}[1(\alpha_{\hat{A}}) - D_{\hat{A}\hat{A}}]1\delta^*}{P_{\hat{A}} + D_{\hat{A}\hat{A}}(1 - P_{\hat{A}}) + [1 - 1(\alpha_{\hat{A}})](1 - \delta^* - P_{\hat{A}}) + \delta^*};$$

$$q_{2i} = P_{\hat{A}} D_{\hat{A}\hat{A}};$$

$$\bar{q}_{2i} = P_{\hat{A}}(1 - D_{\hat{A}\hat{A}}) + D_{\hat{A}\hat{A}}(1 - P_{\hat{A}}) + (1 - P_{\hat{A}})(1 - D_{\hat{A}\hat{A}}),$$

де

$$\delta^* = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \delta \neq 0 \\ 0, & \text{якщо } \delta = 0 \end{cases}$$

Використання ідеї методу динамічного балансу міри [16] дозволяє проводити в отриманій моделі врахування зміни кількості можливих станів елементів об'єкту експлуатації ієрархічної структури за рахунок їх об'єднання.

Аналітичні процедури такої зміни наведено в [16], а реалізація методу динамічного балансу міри трансформується в завдання побудови інтерполяційних моделей.

Висновки

Системне дослідження проблем забезпечення експлуатації передбачає побудову таких моделей, які враховують всю сукупність факторів впливу на ОЕ, а також реальні умови моделювання.

Однією з умов побудови моделей процесів експлуатації є реалізація вимог відтворюваності результатів експериментів для отримання статистичної інформації. Виконання цієї вимоги приводить до появи поняття статистичної стійкості моделей. Статистична стійкість моделей стає об'єктом управління для методів моделювання. Таким чином оцінювання точності експлуатаційних моделей трансформувалась в появу проблеми, розв'язання якої авто-

матично веде до зниження ризику прийняття рішень про стан складних систем та можливого зниженні експлуатаційних витрат.

Ймовірнісний опис моделей експлуатаційних процесів будь-яких об'єктів дозволяє принципово істотно спрощувати саму структуру моделей СТЗЕ, що для випадку еквівалентної моделі оператору забезпечення експлуатації, отриманої в статті, дозволить переходити від завдання розв'язання систем нелінійних диференціальних рівнянь до завдання побудови інтерполяційних поліномів наближення детермінованих функцій, що моделюють закономірності в процесах керування станом об'єктів експлуатації.

Основними методами розв'язання можливих систем диференціальних рівнянь є числові методи. Структура та топологічна подібність моделей отриманих в статті і відомих штучних нейронних мереж, вимагає подальших досліджень для розробки методів моделювання динаміки стану об'єктів експлуатації на основі останніх.

Напрямки подальших досліджень. Питанням, що потребує вирішення в першу чергу, слід вважати відповідність поелементної структури отриманих динамічних і еквівалентних моделей оператора забезпечення експлуатації, елементам штучних нейронних мереж та можливість відповідної заміни значень синапсичних коефіцієнтів штучних нейронних мереж значеннями коефіцієнтів перетворення оператора конкретного виду.

Крім того, актуальною є розробка задовільного математичного обґрунтування методу моделювання за підвалинами відмінними від класичних. Це завдання відповідає світовій тенденції подальшого розвитку саме тих методів, що реалізують принцип самоорганізації моделей, який окреслив Івахненко О.Г. і який є реалізований в технології штучних нейронних мереж, в МГУА, в методі максимуму компактності моделей.

Список літератури

1. Левченко А.О. Аналіз складу технічних засобів системи ТО переносних ПТРК військ берегової оборони / А.О. Левченко, О.О. Хлопецький // Збірник наукових праць СВМІ. – 2009. – № 1(16). – С. 65-70.
2. Левин С.Ф. Основы теории обеспечения эксплуатации технических объектов / С.Ф. Левин. – М.: МО СССР, 1982. – 99 с.

3. Левин С.Ф. Статистический анализ систем обеспечения эксплуатации технических объектов / С.Ф. Левин. – М.: Изд. АН СССР, 1989. – 432 с.

4. Левченко А. О. Методика обґрунтування вимог до узагальненого показника якості вбудованого контролю / А.О. Левченко, І.В. Шаріпова // Збірник наукових праць Одеського інституту СВ. – 2007. – № 14(Ч. 1). – С. 73-76.

5. Левченко А.О. Теоретические вопросы моделирования и оценки качества систем обеспечения эксплуатации сложных технических комплексов / А.О. Левченко // Системи озброєння та військової техніки. – 2007. – № 3(11). – С. 119-124.

6. Становська Т.П. Моделювання життєвого циклу хімічного та нафтохімічного обладнання за допомогою нейронної супермережі / Т.П. Становська, С.О. Балан, С.М. Красножон // Труды Одесского политехнического университета. – 2001. – Вып. 4(16). – С. 154-157.

7. Становська Т.П. Управління життєвим циклом складних систем за допомогою нейронної супермережі / Т.П. Становська, С.О. Балан, С.М. Красножон // Наукові праці Донецького НТУ. – 2002. – Вып. 47. – С. 155-161.

8. Скотков А.В. Решение задачи управления распределенными объектами в режиме реального времени / А.В. Скотков, А.В. Лютый, Г.Г. Сергеев // Автоматизация процессов и управление. Вестник СевГТУ. – 2000. – № 27. – С. 35-38.

9. Амосов Н.М. Моделирование сложных систем / Н.М. Амосов. – К.: Наук. думка, 1973. – 175 с.

10. Івахненко А.Г. Предсказание случайных процессов / А.Г. Івахненко, В.Г. Лапа. – К.: Наук. думка, 1971. – 415 с.

11. Івахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Івахненко. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с.

12. Левин С.Ф. Комбинированный метод статистического моделирования / С.Ф. Левин. – М.: АН СССР, 1978. – 75 с.

13. Блинов А.П. Научно-методическое обеспечение гарантированности решения метрологических задач вероятностно-статистическими методами / А.П. Блинов, С.Ф. Левин // Измерительная техника. – 1988. – № 12. – С. 8-10.

14. Абрамов О.В. Прогнозирование состояния технических систем / О.В. Абрамов, А.Н. Розенбаум. – М.: Наука, 1990. – 126 с.

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

16. Левин С.Ф. Основы теории контроля / С.Ф. Левин. – М.: МО СССР, 1983. – 51 с.

17. Левченко А.О. Забезпечення експлуатації засобів виміральної техніки військового призначення: моногр. / А.О. Левченко, М.Ю. Яковлев; Львівський ін-т Сухопутних військ ім. П.Сагайдачного НУ "Львівська політехніка". – Львів: ЛІСВ, 2008. – 241 с.

Надійшла до редколегії 10.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. А.М. Зубков, Академія Сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, Львів.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ОПЕРАТОРА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ПЕРЕНОСНЫХ ПРОТИВОТАНКОВЫХ РАКЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ, В КАЧЕСТВЕ ОБЪЕКТА ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

А.А. Левченко, О.И. Кравчук

В работе приведена схема влияния составляющих переносных противотанковых ракетных комплексов в иерархической системе технического обеспечения эксплуатации для которой разработана динамическая структура модели оператора обеспечения эксплуатации. Проведен анализ операций, свойственных для структурных элементов переносных противотанковых ракетных комплексов и определен вид коэффициентов превращения исправного состояния под воздействием операторов, которые характеризуют действие соответствующих технологических операций. Сделан вывод о необходимости разработки методов моделирования систем эксплуатации на основе искусственных нейронных сетей, учитывая их топологическое подобие с разработанными операторными моделями.

Ключевые слова: система обеспечения эксплуатации, оператор, модель системы эксплуатации.

**STRUCTURAL MODEL OPERATOR GUARANTEE EXPLOITATION FOR PORTABLE TANK
ROCKET EXPLOITATION STRUCTURES**

A.A. Levchenko, O.I. Kravchuk

In work the chart of influencing of making portable anti-tank rocket complexes is resulted in the hierarchical system of the technical providing of exploitation which the dynamic structure of model of operator of providing of exploitation is developed for. The analysis of operations, peculiar for the structural elements of portable anti-tank rocket complexes and certainly type of coefficients of transformation of the in good condition state under act of operators which characterize the action of the proper technological operations is conducted. A conclusion is done about the necessity of development of methods of design of the systems of exploitation on the basis of artificial neuron networks, taking into account their topology similarity with the developed operator models.

Keywords: *system of providing of exploitation, operator, model of the system of exploitation.*