

УДК 621.317

Б.О. Демідов, М.В. Борисенко, С.В. Герасимов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

РОЗРОБКА ВІЙСЬКОВО-ЕКОНОМІЧНОГО ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ПЕРЕСУВНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті запропонований алгоритм визначення військово-економічного показника ефективності експлуатації перспективної пересувної лабораторії вимірювальної техніки з використанням марківської моделі експлуатації. Встановлюється зв'язок запропонованого показника ефективності експлуатації перспективної пересувної лабораторії вимірювальної техніки з вектором параметрів експлуатації та метрологічного обслуговування.

Ключові слова: військово-економічний показник, пересувна лабораторія вимірювальної техніки, автоматизоване робоче місце.

Вступ

Постановка проблеми. При вирішенні завдань, пов'язаних з оптимізацією параметрів експлуатації пересувної лабораторії вимірювальної техніки (ПЛВТ), з урахуванням операцій метрологічного обслуговування (Моб), насамперед, необхідно обґрунтувати показник ефективності експлуатації.

Результати аналізу показників ефективності експлуатації складних технічних комплексів (СТК) показав, що вони не враховують матеріальний ефект (користь) від виконання тієї чи іншої операції при проведенні Моб, а враховують тільки витрати на експлуатацію ПЛВТ.

Будь-які матеріальні витрати на експлуатацію ПЛВТ, навіть найбільші, мають бути компенсовані матеріальним ефектом від його застосування за призначенням.

Виходячи з цього, запропонуємо військово-економічний показник (ВЕП) ефективності експлуатації ПЛВТ, в якому визначальне значення відводиться економічному ефекту (користі) від застосування за призначенням.

Аналіз публікацій. Однією з проблем сучасної науки є розробка та впровадження в практику методів дослідження динаміки функціонування складних систем. Для створення математичних моделей СТК з безперервним часом використовують математичний апарат систем масового обслуговування. Для розробки математичних моделей експлуатації сучасних СТК використовуються, в основному, марківські випадкові процеси [1 – 6]. Слід зазначити і те, що математичні моделі експлуатації СТК, які були описані у відомій літературі не враховують матеріальний ефект (користь) від виконання тієї чи іншої операції при проведенні Моб, а враховують тільки витрати на експлуатацію СТК. Саме військово-економічний показник повинен визначити вимоги до тактико-технічних характеристик перспектив-

ної ПЛВТ і організаційні заходи на проведення заміни застарілих зразків.

Мета статті. Полягає в розрахунку запропонованого військово-економічного показника ефективності експлуатації перспективної ПЛВТ, новизною якого є врахування економічного ефекту від застосування лабораторії за призначенням і параметрів її експлуатації та метрологічного обслуговування.

Основна частина

Отримаємо узагальнений математичний показник військово-економічної ефективності експлуатації ПЛВТ, а потім конкретизуємо його для розробленої марківської моделі експлуатації ПЛВТ[1].

Запишемо ВЕП у вигляді функції

$$W_e^M = F[\tilde{C}_{e, \text{ПЛВТ}}(\chi), \tilde{C}_n(\chi)], \quad (1)$$

де $\tilde{C}_{e, \text{ПЛВТ}}(\chi)$ – питома функція вартості, яка залежить від витрат на створення ПЛВТ, її функціонування та підтримання на необхідному рівні працездатності, від характеристик процесу експлуатації та виражена в частках її вартості (з урахуванням Моб); $\tilde{C}_n(\chi)$ – питома функція економічного ефекту, яка враховує економічний вигаш (ефект) від застосування ПЛВТ за призначенням і виражена в частках її вартості.

Наприклад, при застосуванні ПЛВТ за призначенням (виконання поставленого завдання з підтримання в бойовій готовності озброєння і військової техніки) вона приносить певний економічний ефект (користь), так як, з одного боку, збільшується вірогідність нанесення матеріальних та людських втрат противнику за рахунок використання справних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ), які пройшли метрологічне обслуговування, а, з іншого боку, запобігають матеріальним втратам від застосування несправного ОВТ. Отже, кожна ПЛВТ, що досягла своєї мети (підтримання справного стану ОВТ), частково окупає витрати на її створення, фун-

кціонування і підтримку на необхідному рівні працездатності.

При вирішенні оптимізаційних задач експлуатації ПЛВТ необхідно враховувати, що відношення питомої функції вартості ПЛВТ до питомої функції економічного ефекту від застосування ПЛВТ не перевищує одиниці, і формула (1) у цьому випадку приймає вигляд:

$$W_e^M = \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) / \tilde{C}_{\Pi}(\chi) \leq 1. \quad (2)$$

Питома функція $\tilde{C}_{\Pi}(\chi)$ визначається виразом

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{\Pi}(\chi) = \\ = k_{\text{ПЛВТ}} (\tilde{C}^+ + \tilde{C}^-) - (1 - k_{\text{ПЛВТ}}) \tilde{C}^- - \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi), \end{aligned} \quad (3)$$

$$k_{\text{ПЛВТ}} = \begin{cases} 0, & \text{якщо ПЛВТ не виконала поставлену перед нею задачу;} \\ 1, & \text{якщо ПЛВТ виконала поставлену перед нею задачу;} \end{cases}$$

– другий спосіб використовується у тому випадку, якщо проводиться теоретичне моделювання функціонування ПЛВТ при застосуванні її за призначенням, при цьому розраховується теоретичне значення результату застосування ПЛВТ, що передбачається (у діапазоні від 0 до 1), за формулою:

$$k_{\text{ПЛВТ}} = k_{\text{оп}} k_{\text{зю}} P_1, \quad (4)$$

де P_1 – ймовірність перебування ПЛВТ у своєму основному стані (застосування за призначенням), значення якої залежить від вектора параметрів експлуатації χ , тому і коефіцієнт $k_{\text{ПЛВТ}}$ також залежить від вектора χ [4]; $k_{\text{оп}}$, $k_{\text{зю}}$ – чисельні коефіцієнти, що визначають відповідно рівень кваліфікації обслуговуючого ПЛВТ персоналу і рівень впливу зовнішніх умов на застосування ПЛВТ (змінюються в діапазоні від 0 до 1 і розраховуються на основі дослідних даних або методом експертних оцінок).

Розглянемо граничні випадки для виразу (3). При $k_{\text{ПЛВТ}} = 1$ співвідношення приймає вигляд:

$$\tilde{C}_{\Pi}(\chi) = \tilde{C}^+ + \tilde{C}^- - \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi),$$

тобто при виконанні зразком ПЛВТ поставленого завдання питома функція економічного ефекту складається з питомих функцій матеріального збитку, нанесеного противнику, і запобігання матеріальних втрат, виключаючи питому функцію вартості самого зразка ПЛВТ.

При $k_{\text{ПЛВТ}} = 0$ з виразу (3) маємо

$$\tilde{C}_{\Pi}(\chi) = -\tilde{C}^- - \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi),$$

де знак “–” показує, що при невиконанні зразком ПЛВТ поставленого завдання збиток складе величину матеріальних втрат і витрат на експлуатацію, включаючи вартість придбання.

Питома функція вартості $\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi)$ представляє залежність витрат на створення ПЛВТ, його функціо-

де \tilde{C}^+ , \tilde{C}^- – величини, що визначають економічний ефект (користь), як результат застосування ПЛВТ, виражені в частках вартості ПЛВТ, тобто відповідно матеріальний збиток, нанесений противнику, та запобігання матеріальних втрат; $k_{\text{ПЛВТ}}$ – чисельний коефіцієнт, що враховує виконання зразком ПЛВТ поставленого перед ним завдання (або завдань).

Запропонований коефіцієнт залежить від параметрів експлуатації ПЛВТ і визначається одним із двох способів:

– перший спосіб використовується в тому випадку, якщо відомий результат застосування ПЛВТ за призначенням (наприклад, за результатами проведення експерименту) – за двоохальтернативною шкалою:

нування і підтримка на необхідному рівні працездатності від параметрів процесу його експлуатації, так як вона враховує витрати на перебування ПЛВТ в тому чи іншому стані в процесі експлуатації і витрати, пов'язані з його переходами зі стану в стан і параметри процесу експлуатації об'єкта (вектор χ).

Для опису витрат на утримання складних технічних об'єктів, включаючи ПЛВТ, широко використовується комплексний економічний показник у вигляді річних витрат [4]:

$$C = [C_e + C_{\text{стк}} k_{\text{нор}}],$$

де C_e – собівартість одиниці продукції при експлуатації; $C_{\text{стк}}$ – питомі капітальні витрати на придбання ПЛВТ; $k_{\text{нор}} = 0,12-0,15$ – нормативний коефіцієнт.

Для задачі, що розв'язується C_e – експлуатаційні витрати (на Моб, ремонт, утримання обслуговуючого персоналу тощо); $C_{\text{стк}} = C_{\text{ПЛВТ}}$ – вартість придбання ПЛВТ.

При річних витратах в частках вартості ПЛВТ, тобто у формі питомих витрат, шукаю функцію вартості експлуатації ПЛВТ запишемо у вигляді:

$$\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) = [C_e(\chi) / C_{\text{ПЛВТ}} + k_{\text{нор}}]. \quad (5)$$

Введемо в функцію вартості (5) коефіцієнт T_e / T_{ec} , де T_e – термін знаходження ПЛВТ в експлуатації, T_{ec} – термін служби ПЛВТ до списання, який враховує ступінь зносу ПЛВТ. Тоді потрібну функцію вартості ПЛВТ представимо так:

$$\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) = [C_e(\chi) / C_{\text{ПЛВТ}} + k_{\text{нор}}] \frac{T_e}{T_{ec}}. \quad (6)$$

Запропонований вираз (6) більш повно описує річні витрати на експлуатацію ПЛВТ тому, що з кожним роком через знос і старіння елементів ПЛВТ щорічні витрати на проведення його Моб, а, значить, і на експлуатацію ПЛВТ в цілому, збільшуються.

Річні витрати на експлуатацію ПЛВТ $C_e(\chi)$ пов'язані з моделлю його експлуатації. Витрати на експлуатацію ПЛВТ включають сумарні витрати на перебування ПЛВТ у всіх можливих станах моделі експлуатації та на переходи між ними і описуються широко використовуваним в науково-технічній літературі виразом [4]:

$$C_e(\chi) = \sum_{i=1}^{N_c} C_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} C_{ij} P_i(\chi) \tilde{\lambda}_{ij}(\chi), \quad (7)$$

де C_i, C_{ij} – витрати коштів у одиницю часу на експлуатацію відповідно при перебуванні ПЛВТ в i -му стані, $i = \overline{1, N_c}$, і при переході з i -го стану в j -й стан, $j = \overline{1, N_c}$; $P_i(\chi)$ – ймовірність перебування ПЛВТ в i -му стані; $\tilde{\lambda}_{ij}(\chi)$ – відношення інтенсивності переходу ПЛВТ зі стану i в стан j до суми всіх можливих інтенсивностей переходу з i -го стану.

Запишемо C_i і C_{ij} в частках вартості ПЛВТ, тобто $\tilde{C}_i = C_i / C_{\text{ПЛВТ}}$ і $\tilde{C}_{ij} = C_{ij} / C_{\text{ПЛВТ}}$, потрібна функція (6) з урахуванням рівності (7) маємо вигляд:

$$\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) = \left[\sum_{i=1}^{N_c} \tilde{C}_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^{N_c} \sum_{j=1}^{N_c} \tilde{C}_{ij} P_i(\chi) \tilde{\lambda}_{ij}(\chi) + \kappa_{\text{НОР}} \right] T_e / T_{\text{ЕС}}.$$

Тоді значення ВЕП ефективності експлуатації ПЛВТ W_e^M (2) знаходимо за формулою:

$$W_e^M = \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) / \kappa_{\text{ПЛВТ}} \left(\tilde{C}^+ + \tilde{C}^- \right) - (1 - \kappa_{\text{ПЛВТ}}) \tilde{C}^- - \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi). \quad (8)$$

Вираз (8) встановлює зв'язок запропонованого ВЕП ефективності експлуатації ПЛВТ W_e^M з параметрами процесу його експлуатації (вектор χ). З виразу (8) видно, що при коефіцієнті $\kappa_{\text{ПЛВТ}} = 0$ (наприклад, ПЛВТ не виконав поставлене завдання) показник ефективності $W_e^M = -\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) / (\tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) + \tilde{C}^-)$, тобто експлуатація ПЛВТ призведе до збитку, який складе вартість витрат на його придбання та експлуатацію. Для більш ефективної експлуатації ПЛВТ необхідно вибирати параметри процесу його експлуатації так, щоб показник ефективності $W_e^M \rightarrow 0$.

Для прикладу побудуємо ВЕП (8) для запропонованої марківської моделі експлуатації ПЛВТ [1]. Враховуючи, що ПЛВТ є складним технічним комплексом та складається з певної кількості автоматизованих робочих місць (АРМ), розглянемо математичну модель АРМ метрологічної лабораторії, як складового елемента в процесі функціонування ПЛВТ. При побудові математичної моделі

окремого АРМ, як складового типового елемента ПЛВТ, та врахував зв'язки між ними, будимо вважати отриману модель за модель перспективного зразка ПЛВТ. В свою чергу всі процеси та явища, які проходять при експлуатації АРМ цілком залежать від певної кількості засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які складають це автоматизоване робоче місце [1].

Таким чином, АРМ зі складу ПЛВТ застосовуються за призначенням, тобто виконують завдання за призначенням, питомі експлуатаційні витрати при якому позначимо $\tilde{C}_1 = \tilde{C}_2 = \tilde{C}_n$.

Витрати на перевірку технічного стану АРМ зі складу ПЛВТ виразимо через \tilde{C}_n

$$\tilde{C}_3 = \tilde{C}_4 = (1 + \kappa_n) \tilde{C}_n, \quad (9)$$

де κ_n – відношення витрат на проведення перевірки технічного стану АРМ зі складу ПЛВТ (комплексна перевірка) до витрат на їх функціонування.

Аналогічно запишемо:

– витрати при знаходженні АРМ зі складу ПЛВТ в несправному стані або на зберіганні:

$$\tilde{C}_5 = \tilde{C}_{11} = (1 + \kappa_x) \tilde{C}_n, \quad (10)$$

де κ_x – відношення витрат, необхідних при зберіганні складових АРМ, до витрат на їх функціонування;

– витрати на заміну несправного елемента АРМ:

$$\tilde{C}_6 = (1 + \kappa_3) \tilde{C}_n = \tilde{C}_3, \quad (11)$$

де κ_3 – відношення витрат на проведення заміни несправного елемента АРМ до витрат на його функціонування; \tilde{C}_3 – приведені питомі витрати на проведення заміни несправного елемента АРМ (включають в себе собівартість елемента і вартість роботи по його заміні);

– витрати на ремонт АРМ зі складу ПЛВТ з урахуванням проведення перевірки:

$$\tilde{C}_7 = \tilde{C}_8 = (1 + \kappa_n + \kappa_b) \tilde{C}_n, \quad (12)$$

де κ_b – відношення витрат на відновлення елемента АРМ до витрат на його функціонування;

– витрати на самодіагностику АРМ:

$$\tilde{C}_9 = (1 + \kappa_{\text{сд}}) \tilde{C}_n, \quad (13)$$

де $\kappa_{\text{сд}}$ – відношення витрат самодіагностики АРМ до витрат на його функціонування;

– витрати на діагностування програмних засобів АРМ:

$$\tilde{C}_{10} = (1 + \kappa_n \kappa_{\text{пз}}) \tilde{C}_n, \quad (14)$$

де $\kappa_{\text{пз}}$ – відношення часу, що витрачається на діагностування програмних засобів АРМ до часу комплексної перевірки.

Враховуючи особливості експлуатації АРМ зі складу ПЛВТ у військах можна ввести такі припущення:

– переходи АРМ в стан застосування комплексу за призначенням, прихованої відмови і назад не вимагають матеріальних та інших витрат, тобто

$$\tilde{C}_{12} = \tilde{C}_{19} = \tilde{C}_{29} = \tilde{C}_{34} = \tilde{C}_{91} = 0; \quad (15)$$

– не вимагають, як правило, значних витрат переходи АРМ зі складу ПЛВТ з ремонту в повірку (λ_{73} , λ_{83}), так як ремонт здійснюється силами фахівців ПЛВТ та їх штатними засобами. Якщо ремонт здійснюється органами ремонту то складові елементи, які були відправлені в ремонт, мають бути повернуті до пересувної лабораторії вимірювальної техніки відремонтованими і перевіренними, тобто прийmemo

$$\tilde{C}_{73} = \tilde{C}_{83} = 0; \quad (16)$$

– не вимагають матеріальних витрат переходи з несправного стану в стан діагностування програмних засобів АРМ ($\lambda_{5,10}$) і назад ($\lambda_{10,5}$), тобто справедливо припущення

$$\tilde{C}_{5,10} = \tilde{C}_{10,5} = 0; \quad (17)$$

– не вимагають матеріальних витрат переходи зі стану заміни несправного елемента АРМ справним в стан діагностування програмних засобів АРМ ($\lambda_{6,10}$) та зі стану діагностування програмних засобів АРМ в стан застосування за призначенням ($\lambda_{10,1}$), тобто справедливо припущення

$$\tilde{C}_{6,10} = \tilde{C}_{10,1} = 0; \quad (18)$$

– переходи, пов'язані з перевіркою і ремонтом ПЛВТ, як правило, вимагають витрат на транспортування складових елементів ПЛВТ до місць знаходження зразкових еталонних баз (метрологічних центрів) і назад та транспортування складових елементів ПЛВТ до місця зберігання несправного обладнання, тому прийmemo

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{13} &= \tilde{C}_{24} = \tilde{C}_{35} = \\ &= \tilde{C}_{3,11} = \tilde{C}_{45} = \tilde{C}_{95} = \tilde{C}_{11,1} = \\ &= \tilde{C}_{11,2} = \tilde{C}_{11,3} = \tilde{C}_T; \tilde{C}_{31} = \tilde{C}_{42} = 0; \end{aligned} \quad (19)$$

де \tilde{C}_T – наведені питомі витрати на транспортування одного складового елемента ПЛВТ на повірку і (або) ремонт або транспортування зразкових засобів вимірювання до ПЛВТ;

– переходи, пов'язані з ремонтом складових елементів ПЛВТ (λ_{57} , λ_{58}), вимагають додаткових витрат на транспортування складових елементів ПЛВТ на зовнішнє ремонтне підприємство до місця відновлення і в цьому випадку маємо

$$\tilde{C}_{57} = \tilde{C}_{58} = \tilde{C}_T + \tilde{C}_{зр}, \quad (20)$$

де $\tilde{C}_{зр}$ – наведені питомі витрати на транспортування складового елемента ПЛВТ у ремонтне підприємство для відновлення і назад.

З урахуванням можливих станів і переходів моделі експлуатації перспективного зразка ПЛВТ [1], а також прийнятих припущень вираз (6) приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{e \text{ ПЛВТ}}(\chi) &= \\ &= \left\{ \sum_{i=1}^{11} \tilde{C}_i P_i(\chi) + \tilde{C}_{13} P_1(\chi) \tilde{\lambda}_{13}(\chi) + \tilde{C}_{24} P_2(\chi) \tilde{\lambda}_{24}(\chi) + \right. \\ &\quad + P_3(\chi) \left[\tilde{C}_{35} \tilde{\lambda}_{35}(\chi) + \tilde{C}_{3,11} \tilde{\lambda}_{3,11}(\chi) \right] + \\ &\quad + \tilde{C}_{45} P_4(\chi) \tilde{\lambda}_{45}(\chi) + P_5(\chi) \times \\ &\quad \times \left[\tilde{C}_{57} \tilde{\lambda}_{57}(\chi) + \tilde{C}_{58} \tilde{\lambda}_{58}(\chi) \right] + \\ &\quad \left. + \tilde{C}_{9,10} P_9(\chi) \tilde{\lambda}_{9,10}(\chi) + \kappa_{\text{нор}} + P_{11}(\chi) \times \right. \\ &\quad \left. \times \left[\tilde{C}_{11,1} \tilde{\lambda}_{11,1}(\chi) + \tilde{C}_{11,2} \tilde{\lambda}_{11,2}(\chi) + \tilde{C}_{11,3} \tilde{\lambda}_{11,3}(\chi) \right] \right\} \times \\ &\quad \times T_e / T_{ec}. \end{aligned} \quad (21)$$

Розрахуємо значення ймовірностей переходів АРМ зі складу ПЛВТ з одного стану в інший $\tilde{\lambda}_{ij}(\chi)$, використовуючи модель експлуатації АРМ зі складу ПЛВТ у вигляді графа [1]:

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda}_{13}(\chi) &= \frac{\lambda_{13}(\chi)}{\lambda_{12}(\chi) + \lambda_{13}(\chi) + \lambda_{19}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{24}(\chi) &= \frac{\lambda_{24}(\chi)}{\lambda_{24}(\chi) + \lambda_{29}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{35}(\chi) &= \frac{\lambda_{35}(\chi)}{\lambda_{31}(\chi) + \lambda_{34}(\chi) + \lambda_{35}(\chi) + \lambda_{3,11}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{3,11}(\chi) &= \frac{\lambda_{3,11}(\chi)}{\lambda_{31}(\chi) + \lambda_{34}(\chi) + \lambda_{35}(\chi) + \lambda_{3,11}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{45}(\chi) &= \frac{\lambda_{45}(\chi)}{\lambda_{42}(\chi) + \lambda_{45}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{95}(\chi) &= \frac{\lambda_{95}(\chi)}{\lambda_{91}(\chi) + \lambda_{95}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{57}(\chi) &= \frac{\lambda_{57}(\chi)}{\lambda_{56}(\chi) + \lambda_{57}(\chi) + \lambda_{58}(\chi) + \lambda_{5,10}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{58}(\chi) &= \frac{\lambda_{58}(\chi)}{\lambda_{56}(\chi) + \lambda_{57}(\chi) + \lambda_{58}(\chi) + \lambda_{5,10}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{11,1}(\chi) &= \frac{\lambda_{11,1}(\chi)}{\lambda_{11,1}(\chi) + \lambda_{11,2}(\chi) + \lambda_{11,3}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{11,2}(\chi) &= \frac{\lambda_{11,2}(\chi)}{\lambda_{11,1}(\chi) + \lambda_{11,2}(\chi) + \lambda_{11,3}(\chi)}; \\ \tilde{\lambda}_{11,3}(\chi) &= \frac{\lambda_{11,3}(\chi)}{\lambda_{11,1}(\chi) + \lambda_{11,2}(\chi) + \lambda_{11,3}(\chi)}. \end{aligned}$$

Після підстановки отриманих виразів формула (21) приймає вигляд:

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{\text{е ПЛВТ}}(\chi) = & \left\{ \tilde{C}_{\text{н}} \times \right. \\ & \times [P_1(\chi) + P_2(\chi) + (1 + \kappa_{\text{п}})(P_3(\chi) + P_4(\chi) + P_7(\chi)) + \\ & + P_7(\chi)\kappa_{\text{в}} + (1 + \kappa_{\text{х}})(P_5(\chi) + P_{11}(\chi)) + (1 + \kappa_{\text{п}}\kappa_{\text{пз}}) \times \\ & \times (P_{10}(\chi) + P_8(\chi)) + P_8(\chi)\kappa_{\text{п}} + (1 + \kappa_{\text{сд}})P_9(\chi)] + \\ & + P_6(\chi)\tilde{C}_3 + \tilde{C}_{\text{т}} [P_1(\chi)\tilde{\lambda}_{13}(\chi) + P_2(\chi)\tilde{\lambda}_{24}(\chi) + P_3(\chi) \times \\ & \times (\tilde{\lambda}_{35}(\chi) + \tilde{\lambda}_{3,11}(\chi)) + P_4(\chi)\tilde{\lambda}_{45}(\chi) + P_9(\chi)\tilde{\lambda}_{95}(\chi) + \\ & + P_{11}(\chi)(\tilde{\lambda}_{11,1}(\chi) + \tilde{\lambda}_{11,2}(\chi) + \tilde{\lambda}_{11,3}(\chi))] + \\ & \left. + P_5(\chi) [\tilde{C}_{\text{т}} + \tilde{C}_{\text{зп}}] (\tilde{\lambda}_{57}(\chi) + \tilde{\lambda}_{58}(\chi) + \kappa_{\text{нор}}) \right\} T_{\text{е}} / T_{\text{ес}}. \end{aligned} \quad (22)$$

Перепишемо вираз (22) для математичної моделі перспективної ПЛВТ з урахуванням економічних параметрів ПЛВТ при знаходженні в станах моделі експлуатації C_i і при переході з одного стану в інший C_{ij} :

$$\begin{aligned} C_{\text{е}}(\chi) = C_{\text{ев}} = & \sum_{i=1}^{11} C_i P_i + \sum_{j=1}^{11} \sum_{i=1}^{11} C_{ij} \tilde{\lambda}_{ij} P_{ij} = \sum_{i=1}^{11} C_i P_i + \\ & + (C_{12} \tilde{\lambda}_{12} + C_{13} \tilde{\lambda}_{13} + C_{19} \tilde{\lambda}_{19}) P_1 + \\ & + (C_{24} \tilde{\lambda}_{24} + C_{29} \tilde{\lambda}_{29}) P_2 + (C_{31} \tilde{\lambda}_{31} + C_{34} \tilde{\lambda}_{34} + \\ & + C_{35} \tilde{\lambda}_{35} + C_{3,11} \tilde{\lambda}_{3,11}) P_3 + (C_{42} \tilde{\lambda}_{42} + C_{45} \tilde{\lambda}_{45}) P_4 + \\ & + (C_{56} \tilde{\lambda}_{56} + C_{57} \tilde{\lambda}_{57} + C_{58} \tilde{\lambda}_{58} + C_{5,10} \tilde{\lambda}_{5,10}) P_5 + \\ & + C_{6,10} \tilde{\lambda}_{6,10} P_6 + C_{73} \tilde{\lambda}_{73} P_7 + C_{83} \tilde{\lambda}_{83} P_8 + (C_{91} \tilde{\lambda}_{91} + \\ & + C_{95} \tilde{\lambda}_{95}) P_9 + (C_{10,1} \tilde{\lambda}_{10,1} + C_{10,5} \tilde{\lambda}_{10,5}) P_{10} + \\ & + (C_{11,1} \tilde{\lambda}_{11,1} + C_{11,2} \tilde{\lambda}_{11,2} + C_{11,3} \tilde{\lambda}_{11,3}) P_{11}, \end{aligned} \quad (23)$$

де $C_{\text{ев}}$ – економічні витрати на експлуатацію ПЛВТ у процесі її життєвого циклу (виражені в грошових одиницях).

Розглянемо граничні умови виразу (23). Для цього приймемо припущення, що витрати на перебування ПЛВТ в кожному з можливих станів рівні і складають $C_{\text{см}}$, при переходах складових елементів АРМ з одного стану в інший витрати рівні і складають $C_{\text{пм}}$, тобто

$$\begin{aligned} C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C_6 = \\ = C_7 = C_8 = C_9 = C_{10} = C_{11} = C_{\text{см}}; \\ C_{12} = C_{13} = C_{19} = C_{24} = C_{29} = C_{31} = C_{34} = C_{35} = \\ = C_{3,11} = C_{42} = C_{45} = C_{56} = C_{57} = C_{58} = C_{5,10} = \\ = C_{65} = C_{73} = C_{83} = C_{91} = C_{95} = C_{10,1} = C_{10,5} = \\ = C_{11,1} = C_{11,2} = C_{11,3} = C_{\text{пм}}. \end{aligned}$$

З урахуванням прийнятих припущень, вираз (23) прийме вигляд:

$$\begin{aligned} C_{\text{ев}} = \\ = C_{\text{см}} \sum_{i=1}^{11} P_i + C_{\text{пм}} [(\tilde{\lambda}_{12} + \tilde{\lambda}_{13} + \tilde{\lambda}_{19}) P_1 + \\ + (\tilde{\lambda}_{24} + \tilde{\lambda}_{29}) P_2 + (\tilde{\lambda}_{31} + \tilde{\lambda}_{34} + \tilde{\lambda}_{35} + \tilde{\lambda}_{3,11}) P_3 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + (\tilde{\lambda}_{42} + \tilde{\lambda}_{45}) P_4 + (\tilde{\lambda}_{56} + \tilde{\lambda}_{57} + \tilde{\lambda}_{58} + \tilde{\lambda}_{5,10}) P_5 + \\ + \tilde{\lambda}_{6,10} P_6 + \tilde{\lambda}_{73} P_7 + \tilde{\lambda}_{83} P_8 + (\tilde{\lambda}_{91} + \tilde{\lambda}_{95}) P_9 + \\ + (\tilde{\lambda}_{10,1} + \tilde{\lambda}_{10,5}) P_{10} + (\tilde{\lambda}_{11,1} + \tilde{\lambda}_{11,2} + \tilde{\lambda}_{11,3}) P_{11}]. \end{aligned} \quad (24)$$

Враховуючи (23), спростимо формулу (24):

$$C_{\text{ев}} = C_{\text{см}} \sum_{i=1}^{11} P_i + C_{\text{пм}} \sum_{i=1}^{11} P_i = C_{\text{см}} + C_{\text{пм}}.$$

Таким чином, отримано, що витрати на експлуатацію ПЛВТ складаються з витрат на перебування її в можливих станах моделі експлуатації та витрат на переходи з одного стану в інший. Це дозволяє говорити про коректність отриманого аналітичного виразу (23).

Перетворимо вираз (23), використовуючи формули (9) – (20), отримаємо:

$$\begin{aligned} C_{\text{ев}} = C_{\text{н}} [1 + \kappa_{\text{п}} (P_3 + P_4 + P_7 + P_8 + \kappa_{\text{пз}} P_{10}) + \\ + \kappa_{\text{в}} (P_7 + P_8) + \kappa_3 P_6 + \kappa_{\text{сд}} P_6] + C_{\text{т}} \left[\frac{P_1 \tilde{\lambda}_{13}}{\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{19}} + \right. \\ \left. + \frac{P_2 \lambda_{24}}{\lambda_{24} + \lambda_{29}} + \frac{P_3 (\lambda_{35} + \lambda_{3,11})}{\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35} + \lambda_{3,11}} + \right. \\ \left. + \frac{P_4 \lambda_{45}}{\lambda_{42} + \lambda_{45}} + \frac{P_5 (\lambda_{57} + \lambda_{58})}{\lambda_{56} + \lambda_{57} + \lambda_{58} + \lambda_{5,10}} + \frac{P_9 \lambda_{95}}{\lambda_{91} + \lambda_{95}} + \right. \\ \left. + P_{11} \right] + C_{\text{зп}} \frac{P_5 (\lambda_{57} + \lambda_{58})}{\lambda_{56} + \lambda_{57} + \lambda_{58} + \lambda_{5,10}}. \end{aligned} \quad (25)$$

Підставляючи в формулу (25) співвідношення для λ_{ij} моделі [1] і спростивши отриманий вираз, остаточно запишемо:

$$\begin{aligned} C_{\text{ев}} = C_{\text{н}} [1 + \kappa_{\text{п}} (P_3 + P_4 + P_7 + P_8 + \kappa_{\text{пз}} P_{10}) + \\ + \kappa_{\text{в}} (P_7 + P_8) + \kappa_3 P_6 + \kappa_{\text{сд}} P_6] + \\ + C_{\text{т}} \left[P_1 \frac{T_{\text{п}}^{-1}}{T_{\text{от}}^{-1} + T_{\text{п}}^{-1} + T_6^{-1}} + P_2 \frac{T_{\text{п}}^{-1}}{T_{\text{п}}^{-1} + T_6^{-1}} + \right. \\ \left. + P_3 \frac{(2 - \beta) \tau_{\text{п}}^{-1}}{T_{\text{от}}^{-1} + (3 - \alpha - \beta) \tau_6^{-1}} + P_4 (1 - \beta) + \right. \\ \left. + P_5 \frac{(1 + \lambda - \beta) \tau_{\text{п}}^{-1} + 2 \tau_{\text{нв}}^{-1} + T_{\text{от}}^{-1} + \kappa_{65} \left(\sum_{i=1}^{n_6} \tau_{\text{п}_i} \right)^{-1}}{T_{\text{от}}^{-1} + (2 + \alpha - 2\beta) \tau_{\text{п}}^{-1} + 2 \tau_{\text{нв}}^{-1} + \kappa_{65} \left(\sum_{i=1}^{n_6} \tau_{\text{п}_i} \right)^{-1}} + \right. \\ \left. + P_9 \frac{(1 + \lambda - \beta) T_6^{-1}}{(1 + \alpha - \beta) T_6^{-1} + \tau_{\text{пк}}^{-1}} + P_{11} \right] + C_{\text{зп}} P_5 \times \\ \times \frac{(1 + \lambda - \beta) \tau_{\text{п}}^{-1} + 2 \tau_{\text{нв}}^{-1} + T_{\text{от}}^{-1} + \kappa_{65} \left(\sum_{i=1}^{n_6} \tau_{\text{п}_i} \right)^{-1}}{T_{\text{от}}^{-1} + (2 + \alpha - 2\beta) \tau_{\text{п}}^{-1} + 2 \tau_{\text{нв}}^{-1} + \kappa_{65} \left(\sum_{i=1}^{n_6} \tau_{\text{п}_i} \right)^{-1}}. \end{aligned} \quad (26)$$

Вираз (26) встановлює залежність витрат на експлуатацію ПЛВТ від параметрів експлуатації та метрологічного обслуговування. Аналіз виразу (26) показує, що в граничному випадку, якщо витрати на

ремонт, перевірку, зберігання і транспортування ПЛВТ дорівнюють нулю

$$(k_{\text{п}} = k_{\text{в}} = k_{\text{з}} = k_{\text{сд}} = C_{\text{т}} = C_{\text{зр}} = 0),$$

то витрати на експлуатацію будуть визначатися тільки витратами на її застосування, тобто $C_{\text{ев}} = C_{\text{н}}$.

Для спрощення кінцевого виразу, прийемо:

$$B = \{ \tilde{C}_3 P_6(\chi) + \tilde{C}_7 [\tilde{\lambda}_{13}(\chi) P_1(\chi) + \tilde{\lambda}_{24}(\chi) P_2(\chi) + \\ + [\tilde{\lambda}_{35}(\chi) + \tilde{\lambda}_{3,11}(\chi)] P_3(\chi) + \tilde{\lambda}_{45}(\chi) P_4(\chi) + \tilde{\lambda}_{95}(\chi) \times \\ \times P_9(\chi) + (\tilde{\lambda}_{1,1}(\chi) + \tilde{\lambda}_{1,2}(\chi) + \tilde{\lambda}_{1,3}(\chi)) P_{11}(\chi)] + \\ \tilde{C}_8 [P_1(\chi) + P_2(\chi) + (1 + k_{\text{п}}) [P_3(\chi) + P_4(\chi) + P_7(\chi)] + \\ + k_{\text{в}} P_7(\chi) + (1 + k_{\text{х}}) [P_5(\chi) + P_{11}(\chi)] + (1 + k_{\text{п}} k_{\text{пз}}) \times \\ \times [P_{10}(\chi) + P_8(\chi)] + k_{\text{п}} P_8(\chi) + (1 + k_{\text{сд}}) P_9(\chi)] + \\ + [\tilde{C}_7 + \tilde{C}_{\text{зр}}] P_5(\chi) [\tilde{\lambda}_{57}(\chi) + \tilde{\lambda}_{58}(\chi)] + k_{\text{нор}} \}.$$

Для виразу ВЕП ефективності експлуатації ПЛВТ (для наведених витрат) з урахуванням рівностей (2) і (22) остаточно отримаємо:

$$W_{\text{е}}^{\text{М}} = \\ = \frac{B T_{\text{е}}}{T_{\text{св}}} \left/ \left\{ k_{\text{ПЛВТ}} (\tilde{C}^+ + \tilde{C}^-) - (1 - k_{\text{ПЛВТ}}) \tilde{C}^- - \left(\frac{B T_{\text{е}}}{T_{\text{св}}} \right) \right\} \right. \quad (27)$$

Співвідношення (27) встановлює зв'язок запропонованого ВЕП ефективності експлуатації зразка ПЛВТ з вектором параметрів експлуатації, наприклад, періодичністю перевірки $T_{\text{п}}$, тривалістю перевірки $\tau_{\text{п}}$ та параметрами метрологічного обслуговування (ймовірностями помилки першого α і другого β роду), та ін.

Висновки

Таким чином, був розроблений військово-економічний показник ефективності перспективного

зразка перспективної пересувної лабораторії виміральної техніки. Особливістю запропонованого ВЕП ефективності експлуатації перспективної ПЛВТ є врахування параметрів її експлуатації та метрологічного обслуговування. Отриманий ВЕП може бути використаний при виконанні та прийманні етапів дослідно-конструкторських робіт із створення (модернізації) ПЛВТ і дозволить отримати оптимальну структуру метрологічного забезпечення та збільшити ефективність експлуатації ПЛВТ.

Список літератури

1. Демидов Б.О. Математична модель експлуатації перспективного зразка пересувної лабораторії виміральної техніки військового призначення / Б.О. Демидов, М.В. Борисенко // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС. – 2013. – Вип. 6(113). – С. 66-70.
2. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
3. Маслов А.Я. Оптимизация радиоэлектронной аппаратуры / А.Я. Маслов, Л.Н. Немудрук, А.Г. Гуца. – М.: Радио и связь, 1982. – 200 с.
4. Крецул В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий / В.В. Крецул. – М.: Из-во стандартов, 1989. – 200 с.
5. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем / А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
6. Чинков В.Н. Математическая модель эксплуатации измерительной техники с учетом применения обменного фонда / В.Н. Чинков, А.П. Флорин. // Информационные системы. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1994. – Вип. 2. – С. 32-36.

Надійшла до редколегії 2.06.2014

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

РОЗРАБОТКА ВОЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ПЕРЕДВИЖНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Б.А. Демидов, М.В. Борисенко, С.В. Герасимов

В статье предложен алгоритм определения военно-экономического показателя эффективности эксплуатации перспективной передвижной лаборатории измерительной техники с использованием марковской модели эксплуатации. Устанавливается связь предложенного военно-экономического показателя эффективности эксплуатации перспективной передвижной лаборатории измерительной техники с вектором параметров эксплуатации и метрологического обслуживания.

Ключевые слова: военно-экономический показатель, передвижная лаборатория измерительной техники, автоматизированное рабочее место.

DEVELOPMENT OF MILITARY AND ECONOMIC PERFORMANCE INDICATOR OPERATION PROMISING MOBILE LABORATORY MEASURING EQUIPMENT

B.O. Demidov, M.V. Borisenko, S.V. Gerasimov

The algorithm determining military and economic performance indicator operation promising mobile laboratory measuring equipment using Markov model operation. The connection of the proposed performance indicator operation promising mobile laboratory measuring instrument with a vector of parameters and operation of the metrological service.

Keywords: military and economic indicators, mobile laboratory measuring equipment, workstation