

С. О. Пустовий, М. П. Бутенко, В. І. Іванов, Ю. М. Косков

**ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАСОБІВ АЕРОДРОМНО-ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ
ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ВІДМОВ**

У статті запропоновано спосіб оцінювання техніко-економічної ефективності експлуатації засобів аеродромно-технічного обслуговування літальних апаратів за станом з використанням експоненціального закону розподілу відмов, враховуючи помилки першого і другого роду. Для стандартних умов експлуатації виробів аеродромно-технічного обслуговування літальних апаратів показано графіки залежності коефіцієнта технічного використання і питомих витрат на годину роботи у справному стані від основних параметрів моделі.

Ключові слова: *техніко-економічна ефективність, коефіцієнт технічного використання, експоненціальний закон розподілу, достовірність контролю.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Аналіз експлуатації засобів аеродромно-технічного обслуговування (ЗАТО) літальних апаратів при проведенні антитерористичної операції показує, що збільшення інтенсивності їх використання призвело до збільшення кількості відмов. Окрім цього, чимала частка цих відмов пов'язана з недотриманням правил утримання ЗАТО на зберіганні, неповне виконання всього переліку та обсягів робіт з їх обслуговування під час зняття зі зберігання, а також невиконання правил експлуатації та обслуговування у підрозділах.

Існуюча система технічного обслуговування (ТО) і ремонту техніки не повною мірою забезпечує виконання покладених на неї завдань щодо підтримання зразків автомобільної та електрогазової техніки у справному стані. Це пояснюється тим, що прийнята стратегія ТО і ремонту в Збройних Силах України розрахована в основному на підтримання зразків озброєння і військової техніки у працездатному стані, які перебувають в експлуатації не більше тих термінів, які визначені заводами-виробниками та керівними документами, а саме 18–20 років.

Тому найважливішим і найбільш актуальним завданням у сучасних умовах щодо підтримання ЗАТО у технічносправному стані, які експлуатуються понад 20 років, є пошук шляхів підвищення ефективності їх експлуатації. При організації експлуатації ЗАТО за технічним станом важливо знати рівень їх технічної ефективності. При цьому необхідно визначити, яким чином можна впливати на ефективність для досягнення її максимального значення. Ефективність функціонування може бути визначена за наявності математичної моделі її експлуатації. Побудова математичної моделі повинна враховувати як планові технічні обслуговування, так і проведення поточних ремонтів автомобільної техніки. Важливим елементом побудови математичної моделі є вибір математичної моделі відмов.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з останніх робіт, в яких досліджуються питання ефективності експлуатації ЗАТО, є стаття [1]. У роботі викладено математичну модель ТО зразків автомобільної та електрогазової техніки авіації із застосуванням дифузійно-монотонного закону розподілу відмов. Крім дифузійно-монотонного закону розподілу, державним стандартом України [2, 3] передбачено застосування експоненціального закону розподілу, закону Вейбула і логарифмічно-нормального закону розподілу. Із зазначених законів експоненціальний закон розподілу є найбільш простим і розповсюдженим.

Враховуючи складність математичної моделі, яка викладена у роботі [1], у вигляді дифузійно-монотонного закону розподілу для отримання кінцевих результатів моделювання необхідно застосовувати числовий метод. У роботі [1] такий метод було застосовано й отримано результати моделювання.

У зв'язку з цим цікавим є застосування експоненціального закону розподілу, який дозволяє аналітичним шляхом отримати кінцеві результати. Крім того, це дає можливість у перспективі здійснити порівняння ефективності технічного обслуговування ЗАТО для дифузійно-монотонного та експоненціального законів розподілу.

Мета статті – запропонувати спосіб оцінювання техніко-економічної ефективності ЗАТО під час їх експлуатації з використанням експоненціального закону розподілу часу безвідмовної роботи.

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес ТО ЗАТО будемо описувати за допомогою напівмарківського процесу. Такий процес передбачає існування дискретних станів, що змінюються з часом детерміновано або випадково. Зміна станів відбувається з певними ймовірностями переходів, а час перебування у станах є випадковим або детермінованим. Наведемо основні характеристики експоненціального закону розподілу, які використовуються у моделі [2]:

щільність розподілу

$$f(t) = \lambda_o \cdot e^{-\lambda_o \cdot t}, \quad (1)$$

функція розподілу

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_o \cdot t}, \quad (2)$$

ймовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda_o \cdot t}, \quad (3)$$

де λ_o – інтенсивність відмов ЗАТО.

За критерій ефективності технічної експлуатації ЗАТО будемо використовувати коефіцієнт технічного використання K_{me} , що рекомендований державним стандартом України [3]. Визначення зазначеного критерію будемо здійснювати для моделі технічної експлуатації, що докладно описана у роботі [1].

За зразки ЗАТО будемо використовувати: аеродромний пересувний електроагрегат АПА-5Д (на базі шасі Урал-4320), аеродромний кондиціонер АК-0,4-9А (КамАЗ-5320),

уніфіковану газозарядну станцію УГЗС-МК-131 (ЗІЛ-131), паливозаправник аеродромний ТЗА-7,5-5334 (МАЗ-5334).

У табл. 1 наведено параметри експлуатації досліджуваних ЗАТО.

Таблиця 1

Параметри експлуатації досліджуваних засобів аеродромно-технічного обслуговування літальних апаратів

| № з/п | Марка ЗАТО Параметри експлуатації | АПА-5Д | АК-0,4-9А | УГЗС-МК-131 | ТЗА-7,5-5334 |
|-------|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | Урал-4320 | КамАЗ-5320 | ЗІЛ-131 | МАЗ-5334 |
| 1. | Інтенсивність відмов λ_0 , 1/год. | $4,35 \cdot 10^{-3}$ | $5,59 \cdot 10^{-3}$ | $1,32 \cdot 10^{-3}$ | $5,88 \cdot 10^{-3}$ |
| 2. | Інтенсивність надходження сигналів помилкових тривог λ , 1/год. | 10^{-3} | 10^{-3} | 10^{-3} | 10^{-3} |
| 3. | Інтенсивність проявлення відмов, що сталися в автомобільній та електрогазовій техніці $\lambda_{ПР}$, 1/год. | 10^{-2} | 10^{-2} | 10^{-2} | 10^{-2} |
| 4. | Тривалість контролю зовнішніми засобами контролю $t_{ПР}$, год. | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5. | Період проведення регламентних робіт T , год. | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 6. | Тривалість контролю вбудованими засобами контролю $t_{П}^*$, год. | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 7. | Тривалість виконання профілактичних робіт t_P , год. | 5 | 4 | 2 | 4 |
| 8. | Тривалість відновлення об'єкта контролю (ОК) у разі її відмови t_B , год. | 10 | 8 | 4 | 8 |
| 9. | Достовірність контролю ОК зовнішніми системами контролю $d_{НГ}$ | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| 10. | Достовірність правильного визначення несправного стану вбудованими засобами контролю $d_{НГ}^*$ | 0,55 | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| 11. | Достовірність правильного визначення справного стану вбудованими засобами контролю $d_{Г}$ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| 12. | Імовірність надходження сигналу про відмову об'єкта контролю від вбудованої системи контролю ρ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |

На кожному із вказаних ЗАТО є певні вбудовані засоби контролю, які контролюють поточний стан роботи автомобіля і його спеціального обладнання. Під зовнішніми засобами контролю розуміють ті засоби контролю, які залучаються при проведенні регламентних робіт та ТО.

K_{me} зразків ОК польотів можна визначити з формули [2]:

$$K_{me} = \frac{\pi_1(T) \cdot B(T)}{\pi_1(T) \cdot \eta_1(T) + \pi_2(T) \cdot \eta_2(T) + \pi_3(T) \cdot \eta_3(T) + \pi_4(T) \cdot \eta_4(T) + \pi_5(T) \cdot \eta_5(T) + \pi_6(T) \cdot \eta_6(T) + \pi_7(T) \cdot \eta_7(T)} \quad (4)$$

де

$$\left\{ \begin{array}{l} \pi_1(T) = \frac{M}{C}; \\ \pi_2(T) = a_1 \cdot \frac{M}{C}; \\ \pi_3(T) = a_2 \cdot \frac{M}{C} + a_3 \cdot \frac{a_2(1-d_{нз}) + a_4(1-d_{нз}^*)}{C}; \\ \pi_4(T) = \frac{M \left[d_{нз} \cdot a_2 + d_{нз}^* \cdot a_4 + (1-d_{нз}^*) \right] a_6}{C} + \frac{\left[d_{нз} \cdot a_3 + d_{нз}^* \cdot a_5 \right] \cdot \left[a_2(1-d_{нз}) + a_4(1-d_{нз}^*) \right]}{C}; \\ \pi_5(T) = a_4 \cdot \frac{M}{C} + a_5 \cdot \frac{a_2 - d_{нз} \cdot a_2 + a_4 - d_{нз}^* \cdot a_4}{C}; \\ \pi_6(T) = a_6 \cdot \frac{M}{C}; \\ \pi_7(T) = \frac{a_2(1-d_{нз}) + a_4(1-d_{нз}^*)}{C}. \end{array} \right. \quad (5)$$

У (4) $\pi_i(T)$ – частоти потрапляння ланцюга Маркова до стану i , де $i = \overline{1,7}$:

$$M(t) = 1 - (1 - d_{HG}) \cdot a_3 - (1 - d_{HG}^*) \cdot a_5,$$

$$C(t) = (1 + a_1 + a_2 + a_4 + 2a_6 + d_{HG} \cdot a_2 + d_{HG}^* \cdot a_4 - d_G \cdot a_6) \cdot [1 - a_3 \cdot (1 - d_{HG}) - a_5 \cdot (1 - d_{HG}^*)] + [a_3 \cdot (1 + d_{HG}) + a_5 \cdot (1 - d_{HG}^*) + 1] \cdot [a_2 \cdot (1 - d_{HG}) + a_4 \cdot (1 - d_{HG}^*)].$$

Для визначення складових компонентів вектора $\bar{\pi}(T)$ введемо такі позначення:

$$a_1(T) = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T}; \quad a_2(T) = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t); \quad a_3(T) = e^{-\lambda m T}; \quad a_4(T) = \rho \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t);$$

$$a_5(T) = 1 - e^{-\lambda m T}; \quad a_6(T) = \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt.$$

Для початкових даних табл. 1 вектор частот потрапляння ланцюга Маркова до стану i , де $i = \overline{1,7}$, для різних зразків ЗАТО дорівнюють

$$\pi_{АПА-5Д} = (0,382; 0,224; 0,066; 0,138; 0,138; 0,03; 0,075);$$

$$\pi_{AK-0,4} = (0,365; 0,189; 0,077; 0,157; 0,16; 0,027; 0,087);$$

$$\pi_{УГЗС-МК} = (0,448; 0,355; 0,027; 0,065; 0,0,056; 0,04; 0,031);$$

$$\pi_{ТЗА-7,5} = (0,361; 0,181; 0,079; 0,161; 0,164; 0,026; 0,09).$$

Можна переконатися, що сума компонентів вектора $\bar{\pi}(T)$ з досить високою точністю дорівнює одиниці, що свідчить про правильність виконаних розрахунків. Для визначення K_{me} необхідно також знати компоненти вектора $\eta(t)$ середніх тривалостей перебування напівмарківського процесу у станах i , де $i = \overline{1,7}$.

У першому стані напівмарківський процес перебуває в середньому час $\eta_1(t)$, що дорівнює

$$\eta_1(t) = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T} \cdot T + (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t) \cdot T + \rho \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t) \cdot \int_0^T t \cdot dF_{15}(t) + \lambda \cdot \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt \cdot \int_0^T t \cdot dF_{16}(t); \quad (6)$$

$$\text{де } F_{15}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} dF(x)}{\int_0^T e^{-\lambda x} dF(x)}; \quad F_{16}(t) = \frac{\int_0^t e^{-\lambda x} [1 - F(x)] dx}{\int_0^T e^{-\lambda x} [1 - F(x)] dx}. \quad (7)$$

За формулами (6) і (7) були здійснені розрахунки тривалості перебування виробів ЗАТО у різних станах моделі, а саме:

$$\eta_{\text{АПА-5Д}} = (83; 6; 2; 10; 0,5; 0,5; 63, 2);$$

$$\eta_{\text{АК-0,4}} = (80,1; 5; 1,8; 8; 0,5; 0,5; 63, 2);$$

$$\eta_{\text{УГЗС-МК}} = (91,1; 3; 1,4; 4; 0,5; 0,5; 63, 2);$$

$$\eta_{\text{ТЗА-7,5}} = (79,4; 5; 1,8; 8; 0,5; 0,5; 63, 2).$$

$B(t)$ – середній час перебування ЗАТО у справному стані. Цей час являє собою математичне сподівання мінімуму двох випадкових величин, а саме τ, τ_n , а також не випадкового значення періоду T проведення регламентних робіт. Якщо $\tau, \tau_n < T$, то $B(t) = M \{ \min(\tau, \tau_n) \}$.

Якщо вважати, що помилкові тривоги розподілені за експоненціальним законом, тобто $\Delta(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, де λ – інтенсивність надходження помилкових сигналів про відмову, то для АПА-5Д:

$$B(T) = M \{ \min(\tau, \tau_n) \} = \int_0^T [1 - F(t)] \cdot [1 - \lambda(t)] dt = \int_0^T [1 - F(t)] e^{-\lambda t} dt = 79,47 \text{ г.} \quad (8)$$

За формулою (8) можуть бути розраховані тривалості середнього часу перебування інших зразків ЗАТО у справному стані.

Для розрахунку техніко-економічної ефективності експлуатації ЗАТО будемо вважати, що середні витрати на перебування виробу у стані h_i та вихід зі стану дорівнюють [4]:

$$C_i(T) = C_{ii}(T) \cdot \eta_i(T) + \sum_{j=1}^7 P_{ij}(T) \cdot C_{ij}(T), \quad (9)$$

де $C_{ii}(T)$ – витрати на перебування виробу в станах процесу технічної експлуатації, грн/год.

У подальших розрахунках вважається, що $C_{ii}(T)$ являє собою закупівельну вартість виробів [5], призначених на 20 років експлуатації, але знаходяться в експлуатації 30 і більше років;

$C_{ij}(T)$ – витрати на вихід виробу зі станів технічної експлуатації, грн;

$P_{ij}(T)$ – матриця перехідних імовірностей напівмарківського процесу зі стану i до стану j .

Для моделі, що розглянута у роботі [1], матриця перехідних імовірностей має вигляд.

$$P_{ij}(T) = \begin{pmatrix} 0 & P_{12} & P_{13} & 0 & P_{15} & P_{16} & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{HR} & 0 & 0 & 1-d_{HR} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_{HR}^* & 0 & 0 & 1-d_{HR}^* \\ d_{\Gamma} & 0 & 0 & 1-d_{\Gamma} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & e^{-\lambda_{np}T} & 0 & 1-e^{-\lambda_{np}T} & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Елементи матриці дорівнюють: $P_{12} = [1 - F(T)] \cdot e^{-\lambda T}$; $P_{13} = (1 - \rho) \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t)$;

$$P_{15} = \rho \int_0^T e^{-\lambda t} dF(t); \quad P_{16} = \lambda \int_0^T e^{-\lambda t} [1 - F(t)] dt.$$

Можна показати, що сума елементів матриці за кожним рядком дорівнює одиниці.

Для вихідних умов табл. 1 матриця $P_{ij}(T)$ має вигляд для різних засобів АТО:

$$P_{ij_{АПА}}(100) = \begin{pmatrix} 0 & 0,586 & 0,101 & 0 & 0,236 & 0,077 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,55 & 0 & 0 & 0,45 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,368 & 0 & 0,632 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$P_{ij_{AK}}(100) = \begin{pmatrix} 0 & 0,518 & 0,123 & 0 & 0,286 & 0,073 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,55 & 0 & 0 & 0,45 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,368 & 0 & 0,632 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$P_{ij_{УГЗС}}(100) = \begin{pmatrix} 0 & 0,793 & 0,035 & 0 & 0,082 & 0,089 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,55 & 0 & 0 & 0,45 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,368 & 0 & 0,632 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$P_{ij_{ТЗА}}(100) = \begin{pmatrix} 0 & 0,502 & 0,128 & 0 & 0,298 & 0,072 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,8 & 0 & 0 & 0,2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,55 & 0 & 0 & 0,45 \\ 0,7 & 0 & 0 & 0,3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,368 & 0 & 0,632 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для визначення середніх витрат на перебування виробу у станах необхідно знати відновлювану вартість зразка [5]. Відновлювана вартість вираховується за формулою

$$B_B = P_B \cdot K_I,$$

де P_B – первісна вартість (ціна придбання) електрогазової техніки до 1991 року, яку наведено у [5];

K_I – коефіцієнт індексації, який станом на 1 січня 2015 року становить 3,4277.

$$B_{ВАПА-5Д} = 193665 \text{ грн}; \quad B_{ВАК-0,4-9А} = 380817 \text{ грн}; \quad B_{ВУГЗС-МК-131} = 419893 \text{ грн};$$

$$B_{ВТЗА-7,5-5334} = 73012 \text{ грн}.$$

Як зазначалося раніше, $C_{ii}(T)$ має розмірність – грн/год.

Таким чином, для ЗАТО $C_{ii}(T)$ буде:

$$C_{ii_{ВАПА-5Д}} = \frac{193665}{8760 \cdot 30} = 0,7369292 \text{ грн/год.}; \quad C_{ii_{ВАК-0,4-9А}} = \frac{380817}{8760 \cdot 30} = 1,4490753 \text{ грн/год.};$$

$$C_{ii_{ВУГЗС-МК-131}} = \frac{419893}{8760 \cdot 30} = 1,5977664 \text{ грн/год.}; \quad C_{ii_{ВТЗА-7,5-5334}} = \frac{73012}{8760 \cdot 30} = 0,2778234 \text{ грн/год.}$$

Питомі витрати на одиницю календарного часу виробу дорівнюють

$$C_{\text{шт}} = \frac{\sum_{i=1}^7 C_i(T) \cdot \pi_i(T)}{\pi_i(T) \cdot \eta_i(T)}, \quad (10)$$

де $\pi_i(T)$ – середня частота потрапляння марківського ланцюга до стану h_i ;

$\eta_i(T)$ – середня тривалість перебування виробу у будь-якому стані h_i ;

$C_i(T)$ – середні витрати на перебування виробу та вихід зі стану h_i .

Витрати на технічну експлуатацію ЗАТО у матричній формі мають такий вигляд:

$$C_{\text{АПА-5Д}} = \begin{pmatrix} 0,7369 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 197920 & 0,7369 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7369 & 197920 & 0 & 0 & 197920 \\ 65973 & 0 & 0 & 0,7369 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6597,3 & 0,7369 & 0 & 6597,3 \\ 6597,3 & 0 & 0 & 6597,3 & 0 & 0,7369 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,7369 \end{pmatrix};$$

$$C_{\text{АК-0,4-9А}} = \begin{pmatrix} 1,4491 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 213170 & 1,4491 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,4491 & 213170 & 0 & 0 & 213170 \\ 71057 & 0 & 0 & 1,4491 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7105,7 & 1,4491 & 0 & 7105,7 \\ 7105,7 & 0 & 0 & 7105,7 & 0 & 1,4491 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,4491 \end{pmatrix};$$

$$C_{\text{УГЭС-МК-131}} = \begin{pmatrix} 1,5978 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 85000 & 1,5978 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,5978 & 85000 & 0 & 0 & 85000 \\ 28333 & 0 & 0 & 1,5978 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2833,3 & 1,5978 & 0 & 2833,3 \\ 2833,3 & 0 & 0 & 2833,3 & 0 & 1,5978 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,5978 \end{pmatrix};$$

$$C_{\text{ТЗА-7,5-533А}} = \begin{pmatrix} 0,2778 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 172500 & 0,2778 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,2778 & 172500 & 0 & 0 & 172500 \\ 57500 & 0 & 0 & 0,2778 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5750 & 0,2778 & 0 & 5750 \\ 5750 & 0 & 0 & 5750 & 0 & 0,2778 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,2778 \end{pmatrix}.$$

У наведених матрицях розмірність елементів, що знаходяться на головній діагоналі, – грн/год., а решта елементів мають розмірність у гривнях.

Здійсимо розрахунок витрат на перебування та вихід зі станів за формулою (9):

$$\begin{cases} C_1 = C_{11}\eta_1 + P_{12}C_{12} + P_{13}C_{13} + P_{15}C_{15} + P_{16}C_{16} \\ C_2 = C_{22}\eta_2 + P_{21}C_{21} \\ C_3 = C_{33}\eta_3 + P_{34}C_{34} + P_{37}C_{37} \\ C_4 = C_{44}\eta_4 + P_{41}C_{41} \\ C_5 = C_{55}\eta_5 + P_{54}C_{54} + P_{57}C_{57} \\ C_6 = C_{66}\eta_6 + P_{61}C_{61} + P_{64}C_{64} \\ C_7 = C_{77}\eta_7 + P_{73}C_{73} + P_{75}C_{75} \end{cases} \quad (11)$$

Вектор витрат для станів моделі досліджуваних засобів буде мати такий вигляд:

$$C_{\text{АПА-5Д}} = (61; 19796; 19793; 65980; 6598; 6598; 47);$$

$$C_{\text{АК-0,4-9А}} = (116; 21324; 21320; 71069; 7106; 7106; 92);$$

$$C_{\text{УГЗС-МК-131}} = (146; 8505; 8502; 28339; 2834; 2834; 101);$$

$$C_{\text{ТЗА-7,5-5334}} = (22; 17251; 17251; 57502; 5750; 5750; 18).$$

Далі здійснимо розрахунок витрат на одиницю календарного часу за формулою

$$C_{\text{штг}} = \frac{\sum_{i=1}^7 C_i \cdot \pi_i(T)}{\eta_{\text{сеп}}},$$

де $\eta_{\text{сеп}} = \pi_1(T) \cdot \eta_1(T) + \pi_2(T) \cdot \eta_2(T) + \pi_3(T) \cdot \eta_3(T) + \pi_4(T) \cdot \eta_4(T) + \pi_5(T) \cdot \eta_5(T) + \pi_6(T) \cdot \eta_6(T) + \pi_7(T) \cdot \eta_7(T)$.

Далі здійснимо розрахунок питомих витрат на одиницю календарного часу перебування ЗАТО у справному стані за формулою

$$C_{1\text{штг}} = \frac{C_{\text{штг}}(T) \cdot \eta_{\text{сеп}}(T)}{P_1(T) \cdot B(T)}. \quad (12)$$

Для наочності вказані характеристики розміщені у табл. 2

Таблиця 2

Характеристики витрат і середні тривалості перебування напівмарківського процесу у станах моделі

| № з/п | Характеристики витрат і середні тривалості перебування напівмарківського процесу у станах моделі | Марка ЗАТО | | | | |
|-------|--|---------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------|
| | | АПА-5Д Урал-4320 | АК-0,4-9А КамАЗ-5320 | УСГЗ-МК-131 ЗІЛ-131 | ТЗА-7,5-5334 МАЗ-5334 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| 1. | Витрати на перебування та вихід зі станів, грн | C_1 | 61 | 116 | 146 | 22 |
| 2. | | C_2 | 19796 | 21324 | 8505 | 17251 |

| | | | | | | |
|----|---|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 3. | | C_3 | 19793 | 21320 | 8502 | 17251 |
| 4. | | C_4 | 63980 | 71069 | 28339 | 57502 |
| 5. | | C_5 | 6398 | 7106 | 2834 | 5750 |
| 6. | | C_6 | 6398 | 7106 | 2834 | 5750 |
| 7. | | C_7 | 47 | 92 | 101 | 18 |
| 8. | Середні тривалості перебування в станах | $\eta_{сер1}$ | 83 | 80 | 91,1 | 79,4 |
| 9. | напівмарківського процесу $\eta_{сер}$, год. | $\eta_{сер2}$ | 6 | 1,5 | 3 | 5 |

Продовження табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
|-----|--|---------------|------|------|------|------|
| 10. | | $\eta_{сер3}$ | 2 | 1,8 | 1,4 | 1,8 |
| 11. | | $\eta_{сер4}$ | 10 | 8 | 4 | 8 |
| 12. | | $\eta_{сер5}$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 13. | | $\eta_{сер6}$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 14. | | $\eta_{сер7}$ | 63,2 | 63,2 | 63,2 | 63,2 |
| 15. | Питомі витрати на одиницю календарного часу C_{nut} , грн | | 405 | 490 | 123 | 405 |
| 16. | Питомі витрати на одиницю часу перебування у вправному стані C_{1nut} , грн/год. | | 539 | 682 | 682 | 570 |

За формулами (4) і (12) виконано розрахунки коефіцієнта технічного використання і питомих витрат на підтримання ЗАТО у працездатному стані.

Результати розрахунків наведено на рис. 1–4, де по осі ординат зліва відкладено значення $K_{те}$, а праворуч – питомі витрати на одиницю часу перебування ЗАТО у справному стані. По осі абсцис на рис. 1 відкладено значення періодичності проведення регламентних робіт, на рис. 2 – достовірність контролю технічного стану ЗАТО зовнішніми засобами контролю, на рис. 3 – тривалість відновлення, на рис. 4 – тривалість контролю технічного стану ЗАТО зовнішніми засобами контролю.

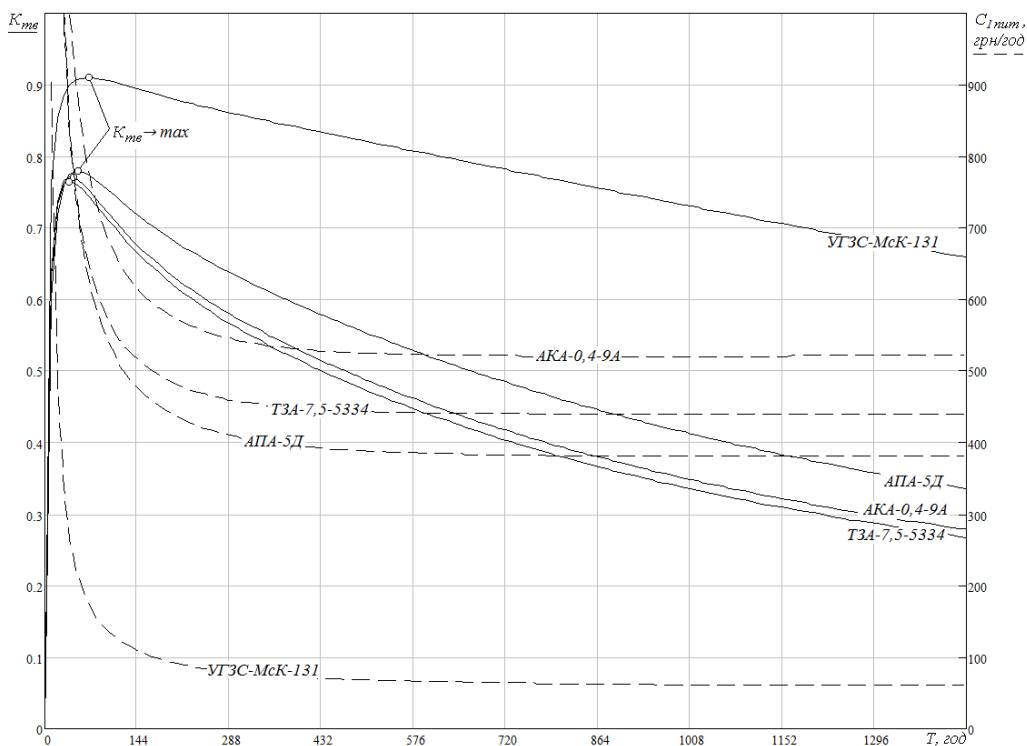


Рис. 1. Залежність коефіцієнта технічного використання K_{mv} та питомих витрат C_{1min} за одиницю часу перебування ЗАТО в працездатному стані від періодичності їх контролю T

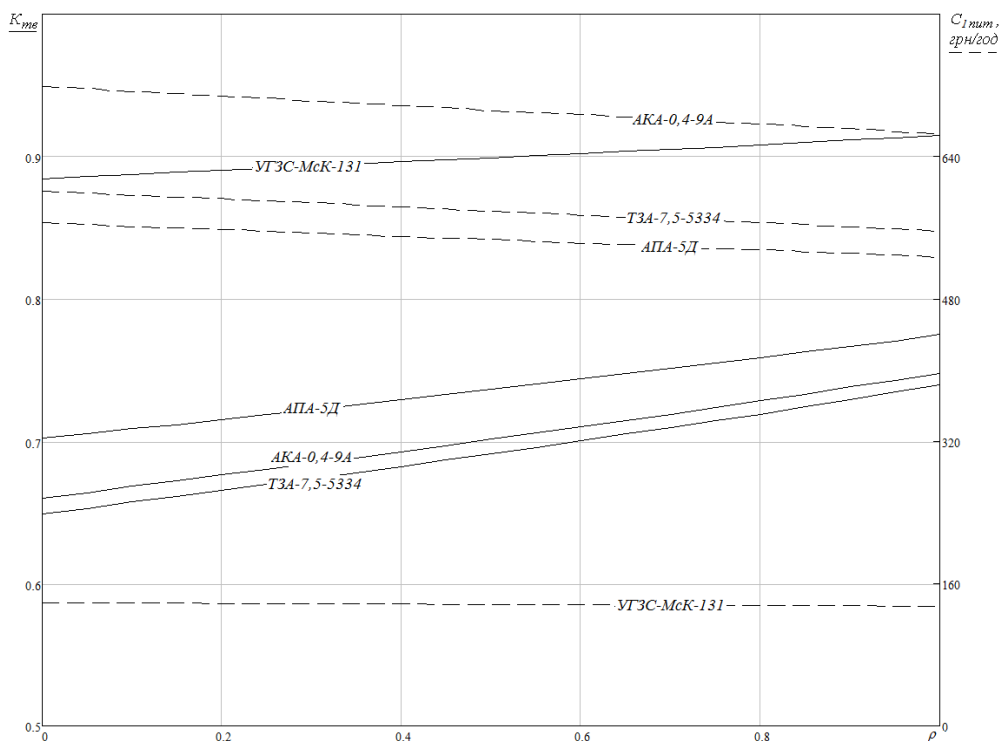


Рис. 2. Залежність коефіцієнта технічного використання K_{mv} та питомих витрат C_{1min} за одиницю часу перебування ЗАТО в працездатному стані від імовірності надходження сигналу про відмову від вбудованої системи контролю ρ

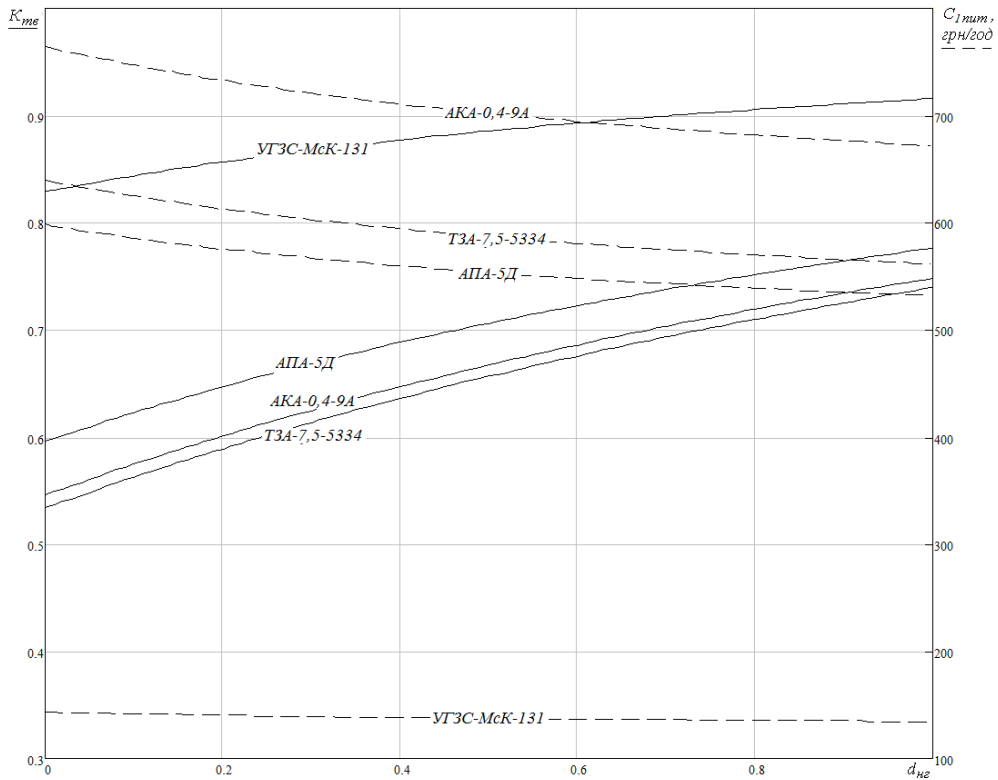


Рис. 3. Залежність коефіцієнта технічного використання K_{mv} та питомих витрат C_{1min} за одиницю часу перебування ЗАТО в працездатному стані від достовірності d_{nz} зовнішньої системи контролю

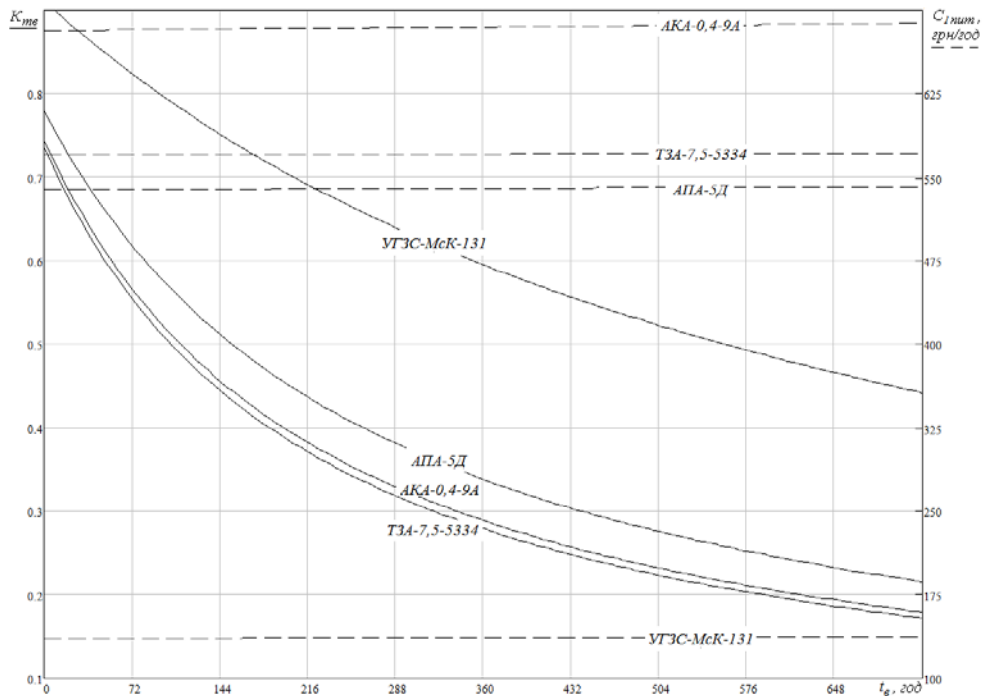


Рис.4. Залежність коефіцієнта технічного використання K_{mv} та питомих витрат C_{1min} за одиницю часу перебування ЗАТО в працездатному стані від тривалості t_g їх відновлення

Усі розрахунки виконані при постійних значеннях параметрів, що викладені вище, крім тих, що змінюються по осі абсцис.

З рис. 1 видно, що існує оптимальний період проведення регламентних робіт, при якому забезпечується максимальне значення K_{me} . При цьому існує мінімальне значення C_{1num} , яке забезпечується при періодичності проведення регламентних робіт T , близької до оптимальної за критерієм $K_{me} \rightarrow max$. Так, наприклад, для уніфікованої газозарядної станції $K_{me} \approx 0,91$ при $T_{opt} \approx 72$ год; для АПА-5д $K_{me} \approx 0,78$ при $T_{opt} \approx 48$ год.

Керівництвом з автомобільної техніки рекомендується проводити ТО ТО-1 через 1200–1600 км пробігу машин. Якщо вважати, що під час простою автомобільна і спеціальна техніка не відмовляє, то регламентні роботи рекомендуються проводити на УГЗС через $72 \cdot 30 = 2160$ км згідно з розрахунками математичної моделі експлуатації техніки за технічним станом при швидкості руху автомобіля 30 км/год., а для АПА-5Д відповідно – $48 \cdot 30 = 1440$ км. При цьому питомі витрати на годину роботи виробів у справному стані будуть дорівнювати: приблизно 110 грн для УГЗС, а для АПА-5д і ТЗА-7,5 приблизно 600 грн. Отримані результати дають можливість організаторам експлуатації авіаційної техніки планувати проведення регламентних робіт і визначити очікувану вартість експлуатації виробу протягом певного часу. Так, наприклад, для УГЗС за 10 год. роботи витрати будуть дорівнювати приблизно 1100 грн, а для АПА-5Д і ТЗА-7,5 витрати за 10 год. експлуатації приблизно дорівнюють 6000 грн.

З рис. 2 видно, що збільшення ймовірності надходження інформації про відмову призводить до підвищення K_{me} і тим більше, що більшим є надійність виробу, а питомі витрати на годину роботи зменшуються досить повільно.

З рис. 3. видно, що зі збільшенням достовірності наземних засобів контролю d_{nc} значно збільшується K_{me} , а питомі витрати C_{1num} на годину перебування виробу у справному стані повільно знижуються.

З рис. 4 видно, що зі збільшенням тривалості відновлення K_{me} зменшується, а C_{1num} від тривалості відновлення t_e практично не залежать при прийнятих початкових умовах.

Висновки

1. У статті запропоновано спосіб оцінювання техніко-економічної ефективності експлуатації засобів аеродромно-технічного обслуговування літальних апаратів при переході до стратегії експлуатації за технічним станом для експоненціального закону розподілу часу їх відмов при врахуванні помилок першого і другого роду.

2. Із застосуванням способу можна встановлювати оптимальний період проведення регламентних робіт, при якому забезпечується максимальне значення коефіцієнта технічного використання і мінімальне значення питомих витрат на одиницю часу перебування виробу у справному стані.

3. Запропонований спосіб оцінювання техніко-економічної ефективності експлуатації може бути застосований і до інших видів техніки, в яких є вбудовані засоби контролю, що постійно з певною ймовірністю контролюють основні параметри експлуатації, а також існують регламентні роботи, що проводяться з певною періодичністю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Математична модель технічного обслуговування зразків автомобільної та електрогазової техніки авіації із застосуванням дифузійно-монотонного розподілу відмов / Авраменко О. В., Бутенко М. П., Іванов В. І., Косков Ю. М. // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ ДУТ, 2015. – Вип. 11 – С. 78–86.
2. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності: ДСТУ 2862-94. – К. : Держспоживстандарт України, 1994. – 90 с. – (Національний стандарт України).
3. Надійність техніки. Моделі відмов. Основні положення: ДСТУ3433-96. – К. : Держспоживстандарт України, 1996. – 42 с. – (Національний стандарт України).
4. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных аппаратов / Л. И. Волков. – М. : Высшая школа, 1981. – 368 с.
5. Інструкція про порядок здійснення оцінки електрогазової техніки номенклатури Повітряних Сил Збройних Сил України, яка обліковується на позабалансовому рахунку 010, у вартісному вираженні. – Вінниця : ПС ЗС України – 2009. – 14 с. – (Затверджена наказом Генерального штабу Збройних Сил України від 15 січня 2009 року № 20).
6. Керівництво з експлуатації автомобільної техніки в Збройних Силах України. – К. : МО України – 2002. – 20 с. – (Затверджене наказом Міністра оборони України від 01 липня 2002 № 219).

Подано 16.08.2016

С. А. Пустовой, Н. П. Бутенко, В. И. Иванов, Ю. М. Косков

ОЦЕНИВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ АЭРОДРОМНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ОТКАЗОВ

В статье предложен способ оценки технико-экономической эффективности эксплуатации средств аэродромно-технического обслуживания летательных аппаратов для экспоненциального закона распределения времени их безотказной работы с учетом ошибок первого и второго рода при переходе на стратегию эксплуатации по техническому состоянию. Показаны зависимости коэффициента технического использования и удельных расходов на единицу времени пребывания изделий в исправном состоянии от периодичности проведения регламентных работ, вероятности поступления информации об отказе, достоверности контроля, длительности восстановления для типичных условий эксплуатации. Установлен оптимальный период проведения регламентных работ, обеспечивающий максимальное значение коэффициента технического использования и минимальное значение удельных расходов на единицу времени пребывания изделия в исправном состоянии. Процессы, происходящие в предложенной модели, описываются с помощью полумарковского случайного процесса в его классической трактовке. Полученные в работе результаты могут быть

использованные организаторами эксплуатации при обосновании параметров, при которых достигаются наивысшие показатели технической эффективности изделий с учетом стоимости их работы. Предложенный способ может быть применен и к другим видам техники, в которых есть встроенные средства контроля, что постоянно с определенной вероятностью контролируют основные параметры техники, а также существуют регламентные работы, которые проводятся с установленной периодичностью.

Ключевые слова: технико-экономическая эффективность, коэффициент технического использования, экспоненциальный закон распределения, достоверность контроля.

S. O. Pustovyi, M. P. Butenko, V. I. Ivanov, Y. M. Koskov

TECHNICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF EXPLOITATION OF MILITARY MOTOR VEHICLES THAT PROVIDE FLIGHTS OF THE AIR FORCE PLANES IS BASED ON EXPONENTIAL PATTERN OF FAILURES

In the article the worked out method of technical and economic estimation of exploitation efficiency of military motor vehicles that provide flights of the air force. For the exponential law of distribution of time of their faultless work taking into account the errors of the first and second kind. Dependences of coefficient of the technical use and specific charges are shown on time of stay of wares unit in the in good condition state from periodicity of realization of regulation works. And also from probability of receipt of information about a refuse, control authenticity, duration of renewal for typical external environments. The optimal period of realization of regulation works, at that the maximal value of coefficient of the technical use and minimum value of specific charges are provided on time of stay of good unit in the in good condition state, is set. Processes that take place in the offered model are described by means of semi-Markov decision process in his classic interpretation. The results got in-process can be the exploitations used by organizers at the ground of parameters at that the greatest indexes of technical efficiency of wares are arrived at taking into account their costs of work. This method of estimation of technical and economic efficiency of exploitation can be applied and to other standards techniques there are built-in controls in that constantly with certain probability control the basic parameters of technique, and also regulation works are conducted with certain periodicity.

Keywords: technical and economic efficiency, coefficient of the technical use, exponential law of distribution, control authenticity.