

УДК 623.746

Олександр Леонідович КОЛОС,
кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерних спеціальних
дисциплін факультету підготовки спеціалістів інженерних військ
та військ радіаційного, хімічного і біологічного захисту Академії
Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

ВИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДНІХ ПИТОМИХ ВИТРАТ НА ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ І РЕМОНТ ЗРАЗКІВ МАШИН ІНЖЕНЕРНОГО ОЗБРОЄННЯ В МОДЕЛЯХ ЇХ ІНТЕНСИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПОЧАСОВОЇ НАДМІРНОСТІ

У статті визначені аналітичні співвідношення для розрахунку середніх питомих витрат на обслуговування машин інженерного озброєння при організації системи технічного обслуговування за стратегією неперервного обслуговування за технічним станом з використанням наявного почасового організаційного резерву часу засобами теорії напівмарковських процесів. Здійснено теоретичне дослідження одержаних аналітичних залежностей шляхом оцінки впливу величини резерву часу, а також параметрів і стратегій технічного обслуговування і ремонту на величину необхідних середніх питомих витрат.

Ключові слова: *технічне обслуговування та ремонт, коефіцієнт технічного використання, середні питомі витрати, почасове резервування, напівмарковські процеси, машини інженерного озброєння.*

© Колос О. Л.

Постановка проблеми у загальному вигляді. За умов недостатнього фінансування, обмеження обсягів бойової підготовки одним зі способів підтримання належного рівня боєздатності підрозділів Збройних Сил України, нарощування досвіду практичного виконання завдань є участь українських військових у сучасних збройних конфліктах та миротворчих місіях. Для гарантованого виконання поставлених завдань необхідно підтримувати надійність техніки інженерних підрозділів Збройних Сил України на необхідному рівні. Це є однією з основних проблем технічного забезпечення. Оскільки більшість зразків інженерної техніки були прийняті на озброєння ще 25–30 років тому, а новітні зразки надто повільно надходять на озброєння Збройних Сил України, то зрозуміло, що чи не єдиним шляхом підтримання надійності машин інженерного озброєння (МІО) на необхідному припустимому рівні є ефективне і своєчасно організоване їх технічне обслуговування та ремонт (ТО та Р).

Розв'язання цієї проблеми можливе шляхом удосконалення існуючої системи ТО та Р машин інженерного озброєння та процесу організації і виконання запланованих робіт з використанням теорії почасового резервування при обов'язковому врахуванні конкретних умов експлуатації МІО [1; 2]. Для опису знаходження МІО у різних можливих технічних станах та процесах переходу їх з одного стану до іншого як у процесі функціонування за призначенням, так і під час ТО використовувався математичний апарат напівмарковських випадкових процесів. Принциповою особливістю нових моделей є те, що як резерв часу τ_d для проведення робіт ТО використовуються щодобові планові простої техніки (інтервали часу не використання МІО за призначенням). Крім цього, запропоновані математичні моделі враховують не ідеалізовані, а реальні можливості щодо використання почасової надмірності для проведення ТО, що відповідає конкретним для кожного випадку способам організації робіт інженерного підрозділу. Відповідно до цього були одержані аналітичні співвідношення для розрахунку коефіцієнта технічного використання МІО з почасовою і структурною надмірністю при їх періодичному і неперіодичному обслуговуванні. Здійснено теоре-

тичне дослідження запропонованих математичних моделей шляхом оцінки впливу величини резерву часу, можливостей структурного резервування, а також параметрів і стратегій ТО на комплексний показник надійності зразків МІО – коефіцієнт їх технічного використання $K_{ТВ}(\tau_d)$.

Оцінка можливого підвищення рівня надійності техніки при впровадженні запропонованого варіанта організації технічного обслуговування МІО з використанням щодобового їх простою у вечірне-нічні години як резерву часу при проведенні цих робіт показала [3], що суттєве зростання коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}(\tau_d)$ досліджуваних зразків інженерної техніки відбувається як при реалізації стратегії періодичного ТО (7–30 %), так і у випадку застосування стратегії ТО за реальним технічним станом (20–40 %), але в другому випадку більш інтенсивно.

Треба зазначити, що організація процесу експлуатації МІО повинна забезпечувати не тільки можливість підтримання надійності техніки на рівні вимог нормативних документів, але й урахувати при цьому реальні можливості Міністерства оборони щодо матеріальних і фінансових витрат на експлуатацію техніки. Тому при виборі стратегії проведення ТО і визначенні його параметрів поряд із коефіцієнтом технічного використання МІО необхідно оцінювати показниками, які виражають вартісні витрати на підтримання техніки в працездатному стані в заданих конкретних умовах експлуатації. Як такий показник доцільно використовувати середні питомі витрати \bar{C} , що припадають на одиницю часу перебування зразка в працездатному стані [4]. Як показало попереднє дослідження [3], більш суттєве зростання коефіцієнта технічного використання $K_{ТВ}(\tau_d)$ досліджуваних зразків інженерної техніки відбувається у випадку застосування саме стратегії ТО за реальним технічним станом, тому і подальше дослідження слід проводити у даному напрямі.

Метою статті є обґрунтування методики розрахунку величини середніх питомих витрат, які припадають на одиницю часу перебу-

вання МІО у працездатному стані при організації їх обслуговування за стратегією неперіодичного обслуговування за технічним станом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основним завданням публікації є дослідження залежності величини \bar{C} контролю технічного стану (КТС) T_{TO} і T_K при різних значеннях інших параметрів системи ТО. Важливою особливістю проведення дослідження є врахування наявності у МІО почасової надмірності організаційного типу (резерву часу τ_d з функцією розподілення (ФР): $D(t) = P\{\tau_d < t\}$ при відновленні працездатності і τ_{d1} з ФР: $D_1(t) = P\{\tau_{d1} < t\}$ при проведенні ТО), яка може бути використана лише в конкретно зазначені добові інтервали.

При цьому для визначення середніх питомих витрат \bar{C} будемо використовувати математичний апарат напівмарковських випадкових процесів, як це робилося і при дослідженні питань надійності МІО [5; 6].

Загальні середні витрати \bar{C} визначаються як відношення середніх витрат за час перебування МІО у підмножині станів, в яких проводиться відновлення працездатності, технічне обслуговування та КТС, до стаціонарної ймовірності перебування процесу у працездатному стані.

Тобто середні питомі витрати \bar{C} на обслуговування МІО при організації ТО за стратегією неперіодичного обслуговування за станом можуть бути визначені відповідно за формулами [7]:

$$\bar{C} = \left(A \sum_{j \in B} \pi_j a_j + c_B \sum_{n \in A} \pi_n a_n \right) \left(\sum_{i \in E_+} \pi_i a_i \right)^{-1}; \quad (1)$$

$$\bar{C} = \left(c_K \sum_{K \in D} \pi_K a_K + c_{TO} \sum_{j \in B} \pi_j a_j + c_B \sum_{n \in A} \pi_n a_n \right) \left(\sum_{i \in E_+} \pi_i a_i \right)^{-1}, \quad (2)$$

де c_i ($i = 1, 2, \dots, s$) коефіцієнти, які характеризують питомі витрати, якщо об'єкт провів у стані e_i одиницю часу, тобто c_K, c_{TO}, c_B витрати, пов'язані із КТС, проведенням ТО та відновленням працездатності техніки; π_i – стаціонарні ймовірності вкладеного ланцюга Маркова, які визначають із системи рівнянь:

$$\pi_i = \sum_{j \in E} P_{ji} \pi_j \quad (3)$$

з урахуванням умов нормування $\sum_{i \in E} \pi_i = 1$; P_{ij} – стаціонарні перехідні ймо-

вірності вкладеного ланцюга Маркова, $P_{ij} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_{ij}(t)$; $P_{ij}(t) = \int_0^t q_{ij}(x) dF_i(x)$

– ймовірність переходу напівмарковського процесу зі стану e_i у стан e_j за час, що не перевершує t ; $q_{ij}(t)$ – умовна ймовірність переходу зі стану e_i у стан e_j за умови, що в стані e_i напівмарковський процес перебуває час t ; a_i – середній час перебування напівмарківського процесу у стані e_i , $a_i = \int_0^{\infty} x dF_i(x)$;

$F_i(t)$ – функція розподілу часу перебування напівмарковського процесу в стані e_i , $F_i(t) = \sum_{j \in E} P_{ij}(t)$.

Ураховуючи вищевикладене, у подальшому, спираючись на побудовані в [6] графи станів і переходів об'єктів експлуатації (МІО) при організації їх обслуговування як за стратегією неперіодичного обслуговування за технічним станом, так і при врахуванні ідеальних і реальних можливостей щодо використання організаційного резерву часу (рис. 1, 2), одержимо аналітичні співвідношення для розрахунку середніх питомих витрат на підтримку МІО в належному працездатному стані.

Розглянемо особливості одержання розрахункового співвідношення для середніх питомих витрат \bar{C} при обслуговуванні зразка озброєння з почасовою надмірністю за стратегію обслуговування за технічним станом при врахуванні неможливості миттєвого надання резерву часу на обслуговування МІО. У такій ситуації наявний щодобовий резерв часу (щодобовий час невикористання техніки за призначенням) на проведення поточного ремонту надається лише з моменту закінчення запланованого робочого часу застосування МІО за призначенням на даний день. У цьому випадку процес функціонування системи відбувається за таким алгоритмом (рис. 1).

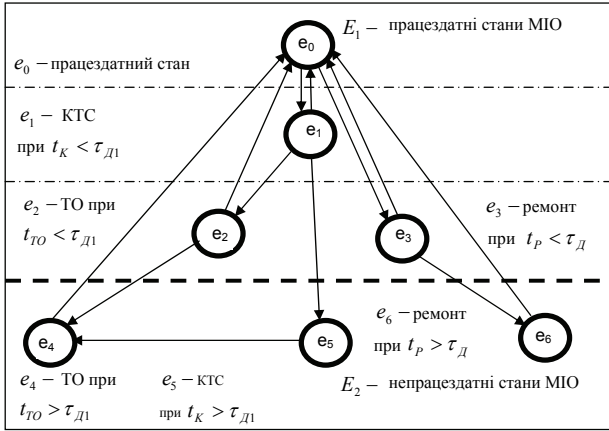


Рис. 1. Граф станів і переходів, що описує функціонування об'єкта системи ТО та Р МІО за технічним станом

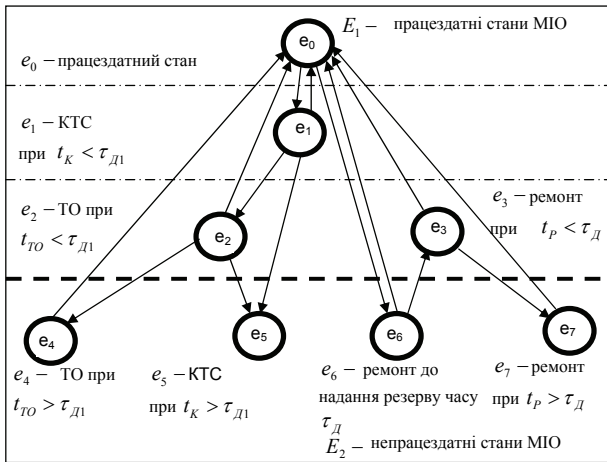


Рис. 2. Граф станів і переходів, що описує функціонування об'єкта системи ТО та Р МІО за технічним станом з почасовим резервуванням

У вихідній позиції об'єкт обслуговування (зразок МІО) перебуває у працездатному стані – стані e_0 . Переходи об'єкта обслуговування зі стану e_0 до станів: e_1 – контролю технічного стану МІО; e_2

– проведення робіт ТО; e_4 і e_5 – простоювання техніки при проведенні робіт ТО і контролю її технічного стану після закінчення резерву часу $\tau_{д1}$ відбуваються так само, як і при функціонуванні розглянутої вище першої моделі функціонування системи ТО. Особливість функціонування другої математичної моделі системи ТО полягає в тому, що у випадку відмови техніки об'єкт обслуговування миттєво переводиться до непрацездатного стану e_6 (резерв часу на відновлення не надається), на якому проводяться роботи щодо відновлення працездатності, але наявний щодобовий резерв часу, передбачений для використання при проведенні поточного ремонту, не може бути використаний аж до закінчення робочого часу інженерного підрозділу відповідно до порядку денного.

Лише з цього моменту вступає в дію резерв часу $\tau_{д}$, протягом якого витрачається час лише на відновлення працездатності МІО та який вважається уже корисним часом, а не простоюванням техніки. Якщо ремонтні роботи результативно завершаться протягом часу $t_B < \tau_{д}$, об'єкт обслуговування переводиться до працездатного стану e_0 . У протилежному випадку при $t_B > \tau_{д}$ ремонтні роботи тривають (стан e_7), але час, який буде витрачений на їх завершення, уже буде враховуватися як час непрацездатного стану техніки.

Відповідно до вибраної стратегії обслуговування та прийнятих особливостей надання резерву часу формула для розрахунку середніх питомих витрат на ТО зразка МІО (2) набуде такого вигляду:

$$\bar{C} = \frac{c_K (\pi_1 a_1 + \pi_5 a_5) + c_{TO} (\pi_2 a_2 + \pi_4 a_4)}{\pi_0 a_0 + \pi_1 a_1 + \pi_2 a_2 + \pi_3 a_3} + \frac{c_B (\pi_3 a_3 + \pi_6 a_6 + \pi_7 a_7)}{\pi_0 a_0 + \pi_1 a_1 + \pi_2 a_2 + \pi_3 a_3}. \quad (4)$$

Стационарні ймовірності вкладеного ланцюга Маркова π_i ($i = \overline{0,7}$) визначимо, розв'язуючи систему рівнянь, яка складена відповідно до графа станів і переходів, зображеного на рис. 2, за умови, що $\sum_{i=0}^7 \pi_i = 1$.

$$\begin{aligned}
 \pi_0 &= \pi_1 P_{10} + \pi_2 P_{20} + \pi_3 P_{30} + \pi_4 P_{40} + \pi_5 P_{50} + \pi_6 P_{60} + \pi_7 P_{70}; \\
 \pi_1 &= \pi_0 P_{01}; \\
 \pi_2 &= \pi_1 P_{12}; \\
 \pi_3 &= \pi_6 P_{63}; \\
 \pi_4 &= \pi_2 P_{24} + \pi_5 P_{54}; \\
 \pi_5 &= \pi_1 P_{15}; \\
 \pi_6 &= \pi_0 P_{06}; \\
 \pi_7 &= \pi_3 P_{37}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Підставляючи знайдені значення $\pi_i (i = \overline{0,7})$ у формулу (4), отримуємо (6)

$$\begin{aligned}
 \bar{C} &= \frac{c_K (P_{01} a_1 + P_{15} P_{01} a_5) + c_{TO} (P_{12} P_{01} a_2 + P_{01} P_{12} P_{24} a_4 + P_{01} P_{15} P_{54} a_4)}{a_0 + P_{01} a_1 + P_{12} P_{01} a_2 + P_{63} P_{06} a_3} + \\
 &+ \frac{c_B (P_{63} P_{06} a_3 + P_{06} a_6 + P_{37} P_{63} P_{06} a_7)}{a_0 + P_{01} a_1 + P_{12} P_{01} a_2 + P_{63} P_{06} a_3}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

У результаті математичних перетворень для сформульованих початкових умов дослідження математичні залежності для розрахунку середніх питомих витрат \bar{C} на технічне обслуговування МІО в кінцевому вигляді буде мати такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 \bar{C} &= \left\{ A_K \left[\frac{\exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)} + \frac{\gamma_1 \exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K) \gamma_K} \right] + c_{TO} \left[\frac{\eta_2 \gamma_K \exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)(\gamma_1 + \theta)} + \right. \right. \\
 &+ \left. \frac{\eta_2 \gamma_K \exp(-\lambda T_K) \gamma_1}{(\gamma_1 + \gamma_K) \theta (\gamma_1 + \theta)} + \frac{\gamma_1 \exp(-\lambda T_K) \eta_2}{(\gamma_1 + \gamma_K) \theta} \right] + c_B \left[\frac{\eta_1 [1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\gamma + \mu)} + \frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{\mu} + \right. \\
 &\left. \left. + \frac{\eta_1 \gamma [1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\gamma + \mu) \mu} \right] \right\};
 \end{aligned}$$

$$\left\{ \frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{\lambda} + \frac{\exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)} + \frac{\eta_2 \gamma_K \exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)(\gamma_1 + \theta)} + \frac{\eta_1 [1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\gamma_1 + \mu)} \right\}, \quad (8)$$

де γ – інтенсивність проведення контролю технічного стану МІО.

Можна також показати, що для випадку ідеального (миттєвого) надання резерву часу на проведення ТО за технічним станом (рис. 1) формула (8) дещо спрощується:

$$\begin{aligned} \bar{C} = & \left\{ C_K \left[\frac{\exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)} + \frac{\gamma_1 \exp(-\lambda T_K)}{\gamma_K (\gamma_1 + \gamma_K)} \right] + \right. \\ & + C_{TO} \left[\frac{\eta_2 \gamma_K \exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)(\theta + \gamma_1)} + \frac{\eta_2 \gamma_1 \exp(-\lambda T_K)}{\theta(\theta + \gamma_1)(\gamma_1 + \gamma_K)} + \right. \\ & \left. \left. \frac{\eta_2 \gamma_1 \exp(-\lambda T_K)}{\theta(\gamma_1 + \gamma_K)} \right] + C_B \left[\frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\mu + \gamma)} + \frac{\eta_2 \gamma_1 \exp(-\lambda T_K)}{\theta(\gamma_1 + \gamma_K)} \right] + \right. \\ & \left. + C_B \left[\frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\mu + \gamma)} + \frac{\gamma [1 - \exp(-\lambda T_K)]}{\mu(\mu + \gamma)} \right] \right\} / \\ & \left\{ \frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{\lambda} + \frac{\exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)} + \frac{\eta_2 \gamma_K \exp(-\lambda T_K)}{(\gamma_1 + \gamma_K)(\theta + \gamma_1)} + \frac{[1 - \exp(-\lambda T_K)]}{(\mu + \gamma)} \right\}. \quad (9) \end{aligned}$$

Отже, отримані аналітичні співвідношення для розрахунку середніх питомих витрат \bar{C} на технічне обслуговування МІО при його організації за стратегією неперіодичного обслуговування за технічним станом при врахуванні ідеальних і реальних можливостей щодо використання організаційного резерву часу. Крім цього, отримані аналітичні залежності дозволяють здійснити теоретичне дослідження впливу величин резервів часу $\tau_{Д1}$ і $\tau_{Д}$, а також тривалості всіх технологічних процесів ТО і їх співвідношень на вартісні показники обслуговування.

У процесі проведення такого дослідження з використанням програми MATLAB – сучасної системи автоматизації математичних розрахунків, були побудовані графіки залежності величини серед-

ніх питомих витрат \bar{C} періодичності КТС T_K відповідно за різних значень інших параметрів системи ТО (рис. 1, 2).

Залежність вартості ТО від $T_{TO}(T_K)$ для періодичного обслуговування і обслуговування за станом наведено на графіках (рис. 3–8).

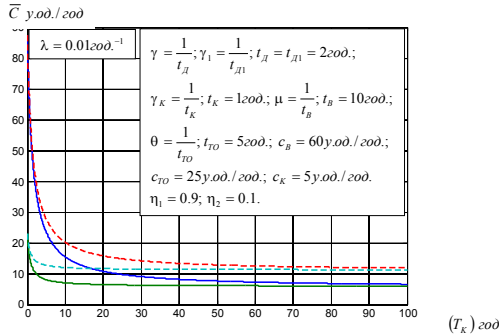


Рис. 3. Залежність вартості ТО від T_K для обслуговування за станом при ідеальному (миттєвому) наданні резерву часу. Графіки побудовані для наведених на рисунку значень параметрів системи ТО за інтенсивності відмов МІО $\lambda = 0,015 \text{ год}^{-1}$

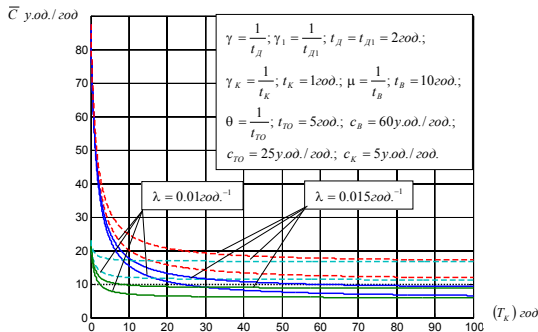


Рис. 4. Залежність вартості ТО від T_K для обслуговування за станом при миттєвому наданні резерву і за реальної можливості надання резерву часу для двох значень інтенсивності відмов МІО $\lambda = 0,01$ і $\lambda = 0,015$

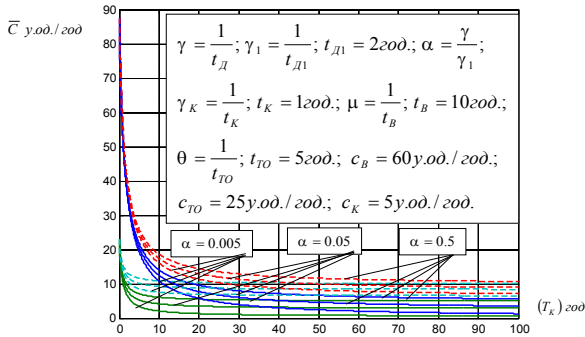


Рис. 5. Залежність вартості ТО від T_k обслуговування за станом при ідеальному (миттєвому) наданні резерву часу. Графіки побудовані для наведених значень параметрів при зміні значень параметра $\alpha = \frac{\gamma}{\gamma_1}$, $\alpha = [0,005; 0,05; 0,5]$, $\lambda = 0,01 \text{ год}^{-1}$

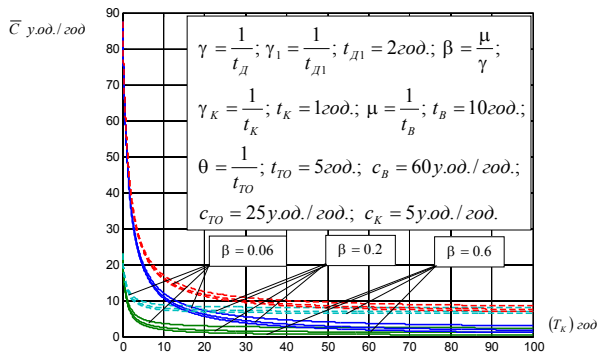


Рис. 6. Залежність вартості ТО від T_k обслуговування за станом при ідеальному (миттєвому) наданні резерву часу. Графіки побудовані для наведених на рисунку значень параметрів зміні значень параметра $\beta = \frac{\mu}{\gamma}$, $\beta = [0,05; 0,2; 0,6]$

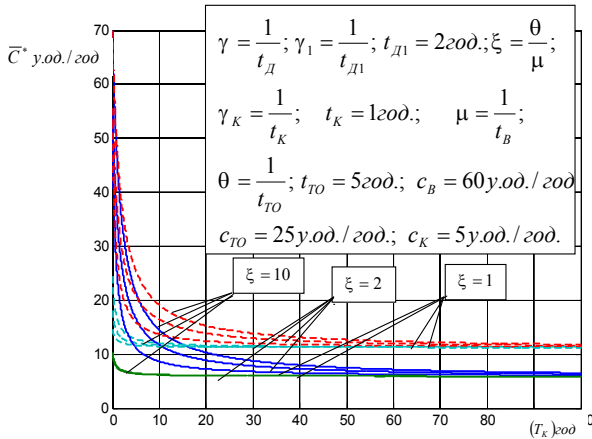


Рис. 7. Залежність вартості ТО від $T_{TO} (T_K)$ для обслуговування за станом при ідеальному (миттєвому) наданні резерву часу. Графіки побудовані для наведених на рисунку значень параметрів при зміні значень параметра

$$\xi = \frac{\theta}{\mu}, \quad \xi = [1; 2; 10]$$

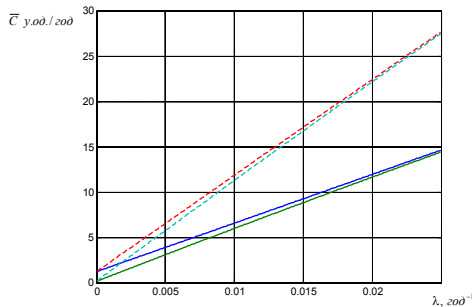


Рис. 8. Залежність вартості ТО \bar{C} у. од. /год від λ , год⁻¹ для обслуговування за станом при ідеальному (миттєвому) наданні резерву часу. Графіки побудовані для наведених на рисунку значень параметрів при $T_{TO}(T_K) = 100$ год, $\beta = [0,05; 0,2; 0,6]$

Висновки. За результатами аналізу наведених графіків (рис. 3–8) можна зробити такі висновки:

1. Величина середніх питомих витрат \bar{C} на проведення технічного обслуговування МІО для всіх видів ТО зростає у разі збільшення частоти контролю технічного стану техніки. При цьому основні закономірності цього процесу такі (рис. 3):

питомі витрати на проведення технічного обслуговування МІО з урахуванням реальних можливостей щодо використання організаційних простоїв техніки у всіх випадках вищі, ніж ті, які дають результати класичного варіанта розрахунку при ідеалізованих (миттєвих) можливостях використання резерву часу;

вартісні витрати на підтримання МІО у працездатному стані зростають у разі ускладнення конкретних умов експлуатації, що пояснюється зростанням інтенсивності відмов інженерної техніки (рис. 4).

2. Величину середніх питомих витрат можна зменшувати, цілеспрямовано змінюючи значення основних параметрів системи ТО.

У разі збільшення наявного резерву часу середні питомі витрати на обслуговування техніки зменшуються (рис. 5). При цьому зменшення відбувається інтенсивніше, якщо збільшення резерву часу відбувається за відносного зменшення параметра $\alpha = \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{\tau_{д1}}{\tau_{д}}$,

тобто збільшення резерву часу на проведення поточного ремонту відносно резерву часу, який надається на проведення контролю технічного стану і ТО.

Досягнути зменшення середніх питомих витрат можна також збільшенням значень параметра $\beta = \frac{\mu}{\gamma} = \frac{\tau}{t_B}$, тобто як шляхом змен-

шення часу, що витрачається на поточний ремонт МІО, так і за рахунок збільшення резерву часу на їх ТО (рис. 6).

Крім цього, такого ж результату можна досягнути і шляхом зменшення параметра $\xi = \frac{\theta}{\mu} = \frac{t_B}{t_{TO}}$ (рис. 7).

3. Вірогідність результатів, отриманих з використанням запропонованих у статті аналітичних розрахункових залежностей для середніх питомих витрат на проведення різних видів ТО, підтверджується і тим, що проведені розрахунки засвідчують і так всім відомий факт зростання витрат на проведення ТО у разі зростання інтенсивності відмов техніки в процесі її експлуатації (рис. 8).

Напрямом подальших досліджень може бути розробка рекомендацій із застосування одержаних аналітичних залежностей для розрахунку середніх питомих витрат на технічне обслуговування машин інженерного озброєння при організації системи технічного обслуговування за стратегією неперервного обслуговування за технічним станом з використанням наявного почасового організаційного резерву часу.

Список використаної літератури

1. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с временной избыточностью / Г. Н. Черкесов; под ред. А. М. Половко. – М. : Сов. радио, 1974. – 296 с.

2. Креденцер Б. П. Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью / Б. П. Креденцер. – К. : Наукова думка, 1978. – 240 с.

3. Солонников В. Г. Удосконалення моделі функціонування системи технічного обслуговування техніки підрозділів інженерних військ Збройних Сил України в ході виконання завдань у складі міжнародних миротворчих контингентів засобами почасового резервування / В. Г. Солонников, О. Л. Колос, О. В. Полякова // Труды университета. – 2010. – № 1 (94). – С. 177–188, інв. 44294.

4. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, М. И. Резников, В. В. Зубарев / под ред. Б. П. Креденцера. – К. : Фенікс, 2002. – 192 с.

5. Мальченко С. В. Використання методу почасового резервування для вдосконалення системи технічного обслуговування техніки як один із способів підвищення її надійності в ході виконання завдань підрозділами інженерних військ ЗС України у складі міжнародних миротворчих контингентів / О. Л. Колос, В. Г. Солонников, О. В. Полякова. – К. : НАОУ, Труды университета. – 2009. – № 1(91). – С. 121–132, інв. № 44105.

6. Застосування теорії почасового резервування для обґрунтування доцільності організації функціонування системи технічного обслуговування за реальним технічним станом техніки інженерних підрозділів Збройних Сил України, що діють у складі міжнародних миротворчих контингентів / О. В. Василенко, В. Г. Солонніков, О. Л. Колос, О. В. Полякова // Труды університету. – 2010. – № 3(36). – С. 182–195, інв. № 44378.

7. Волох О. П. Методика обґрунтування раціональних значень параметрів технічного обслуговування машин інженерного озброєння при їх використанні за призначенням : дис. канд. техн. наук : 20.02.14 / О. П. Волох. – Кам'янець-Подільський, 2006. – 169 с.

Рецензент – кандидат технічних наук Нагачевський В. Й.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2014.

Колос А. Л. Определение средних удельных затрат на техническое обслуживание по состоянию и ремонт образцов машин инженерного вооружения в моделях их интенсивного функционирования с учетом почасовой избыточности

В статье получены аналитические соотношения для расчета средних удельных затрат на обслуживание машин инженерного вооружения при организации системы технического обслуживания по стратегии непрерывного обслуживания технического состояния с использованием имеющегося почасового организационного резерва времени средствами теории полумарковских процессов. Осуществлено теоретическое исследование полученных аналитических зависимостей путем оценки влияния величины резерва времени, а также параметров и стратегий технического обслуживания и ремонта на величину необходимых средних удельных затрат.

Ключевые слова: *техническое обслуживание и ремонт, коэффициент технического использования, средние удельные расходы, почасовое резервирование, полумарковские процессы, машины инженерного вооружения.*

Kolos O. L. Determination of average unit costs on maintenance and repair the samples of engineering armament machines in models of intensive operation, considering the time-based redundancy

The reasoning of study method of calculating the average unit costs value that occur per unit of residence time of engineering armament machines in working condition when organizing their service after non-periodic maintenance strategy for technical condition, is proved in the article.

The research of dependence the condition monitoring values for different values of other parameters of equipment maintenance system is substantiated. An important feature of this research is the consideration of availability while operating engineering armament machines the organizational type of time-based redundancy, that is reserve in functionality restorind and during their maintenance, which can be used only in specifically listed daily intervals. Thus for the determination of average unit costs the semi-Markov random processes mathematical tools was applied. Total average costs are defined as the ratio of the average cost per stay of engineering armament machines in the subset conditions that include restore functionality, maintenance and control of technical condition to the stationary probability of being process in working condition.

The analytic correlations for calculating of average unit costs on servicing of engineering armament machines in the organization of maintenance system for ongoing maintenance strategy of technical condition using available time-based organizational reserve by means of semi-Markov processes theory were received in the article. Theoretical research of the analytical dependences by assessing the effect of the time reserve and options of maintenance strategies and repair on required amount of average unit costs.

It's been determined that due to the frequency control increase of a technical state of technology the value of the average unit costs of maintenance conduction of the machines of engineering armament for all kinds of maintenance is increasing. Herewith unit costs of maintenance conduction of the machines of engineering armament, taking into account

that real opportunities to use organizational machinery downtime in all cases are higher than those resulting in a classic calculation version considering the idealized (immediate) opportunities to use time reserve and value spendings in order to maintain the machines of engineering armament in working condition, are increasing considering the complication of specific operating conditions due to growing intensity of engineering technology failure.

It's been determined that the value of the average unit costs can be intentionally reduced by changing the basic settings of the maintenance system. The reliability of the results, obtained using, the proposed in the article, analytical estimated dependencies for the average unit costs of all kinds maintenance conduction, is also verified by the calculation proving a well-known fact of the maintenance conduction costs increase given the growing intensity of technology failure.

Keywords: *maintenance, technical use factor, the average unit cost, time-based reserving, semi-Markov processes, engineering armament machinery.*