

*Олександр Йосипович Мацько (кандидат військових наук, професор)*  
*Владислав Григорович Солонніков (доктор технічних наук, професор)*  
*Сергій Миколайович Костюченко*

*Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна*

## **ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНІКИ З ПОЧАСОВОЮ НАДМІРНІСТЮ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ НАДІЙНОСТІ В ХОДІ ВИКОНАННЯ ЗАВДАНЬ ПІДРОЗДІЛАМИ ІНЖЕНЕРНИХ ВІЙСЬК ЗС УКРАЇНИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ОПЕРАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ СИЛ**

*В статті засобами теорії почасового резервування обґрунтована доцільність використання планових простоїв інженерної техніки для профілактичного технічного обслуговування і поточного ремонту з метою підтримки її надійності на необхідному рівні. Для кількісної оцінки впливу процесу організації функціонування системи ТО у відповідності до запропонованої моделі на зміну рівня надійності інженерної техніки розроблена методика розрахунку коефіцієнту технічного використання МІО, яка враховує не ідеалізовані, а реальні можливості щодо використання щодобових простоїв техніки в якості резервного часу для підвищення коефіцієнту її технічного використання.*

**Ключові слова:** Система технічного обслуговування, коефіцієнт технічного використання, почасове резервування, напівмарківські процеси, простої техніки.

### **Вступ**

Багатоісторична історія війн та збройних конфліктів свідчить про те, що успіху у боротьбі, як правило, досягали війська, які були добре озброєні та технічно і матеріально забезпечені. Тому, якщо говорити про озброєння і військову техніку, треба зазначити, що в усі часи до якості, а точніше до їх тактико-технічних характеристик (ТТХ), завжди висувалися надзвичайно високі і жорсткі вимоги. Вони стосувалися як ефективності бойового застосування озброєння і військової техніки, так і всіх аспектів їх надійності, тобто здатності зберігати свої бойові характеристики в часі в визначених умовах експлуатації.

Переходячи до предмету нашого обговорення, тобто питання забезпечення виконання завдань підрозділами інженерних військ Збройних Сил України при проведенні операції об'єднаних сил (ООС), треба констатувати, що до складу цих підрозділів входить техніка, яка знаходиться на експлуатації понад 20–25 років і за своїм станом потребує значних робіт з відновлення технічної придатності та проведення регламентованого технічного обслуговування. Під час приведення озброєння і військової техніки (ОВТ) до застосування фактичний рівень справності інженерної техніки виявився майже критичним [1]. Такі показники надійності цієї техніки як безвідмовність, довговічність, збереженість та ремонтпридатність, враховуючи загальні (вікові) терміни їх знаходження на експлуатації, вже не відповідали паспортним значенням цих характеристик на момент прийняття їх на озброєння.

**Постановка проблеми.** В зв'язку з очевидною неможливістю забезпечити потрібну надійність

зразків інженерної техніки за рахунок підвищення безвідмовності її елементів (елементну базу і технологію виготовлення елементів ми змінити не в змозі) гарантований позитивний результат застосування машин інженерного озброєння (МІО) в умовах, що склалися, може бути реалізованим лише при раціональних режимах використання інженерної техніки за призначенням з обов'язковим врахуванням всіх особливостей поставлених завдань та впровадженні оптимальної системи технічного обслуговування та ремонту МІО. Тільки завдяки впровадженню таких заходів можливе підтримання інженерної техніки в стані готовності до використання за призначенням та забезпечення її надійності на працездатному рівні.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** Вирішення цієї проблеми стикається із суттєвими труднощами як теоретичного, так і практичного характеру. В роботах [2,3,5,6] зазначалося, що одним з перспективних шляхів підвищення надійності МІО є виявлення в алгоритмах їх функціонування резервів часу (почасової надмірності) та врахування і використання останніх при проведенні технічного обслуговування та ремонту МІО під час технологічних простоїв чи простоїв, обумовлених порядком використання техніки за призначенням (розпорядком дня).

Аналіз експлуатації інженерної техніки при проведенні АТО та ООС свідчить про те, що процес використання МІО за призначенням носить систематичний, періодичний (щодобовий) характер, при цьому етап безпосереднього застосування інженерної техніки, який, як правило, припадає на світлу частину доби,

змінюється теж щодобово етапом її простою в нічний час. Наявність в алгоритмі експлуатації МІО етапів простою техніки, обумовлених суворо детермінованим щодобовим використанням МІО за призначенням, дозволяє умовно розглядати їх як системи неперервного використання з фіксованою щодобовою (тобто систематично відновлюваною) почасовою надмірністю (резервом часу), яку можна використовувати для діагностування зразків інженерної техніки, проведення робіт їх технічного обслуговування та відновлювання.

В зв'язку з цим, спираючись на рекомендації теорії почасового резервування, доцільно щодобовий час простою техніки розглядати як систематично поповнювану почасову надмірність організаційного змісту і використовувати її для проведення планових робіт ТО і відновлювання МІО. Але оскільки щодобовий час невикористання техніки за призначенням у відповідності з розпорядком денним, як правило, припадає на вечірні і нічні часи, які в першу чергу повинні використовуватися для повноцінного відпочинку особового складу, в тому числі і ремонтного підрозділу, то зрозуміло, що період невикористання МІО за призначенням в повному обсязі не може бути задіяний як резервний час для проведення ТО та виконання відновлювальних робіт. Тому для практичної реалізації виявленої почасової надмірності пропонується перенести лише частину робочого часу ремонтного підрозділу (2,0-2,5 години) на періоди простою МІО. Це дозволить суттєво підвищити як часткові, так і комплексні показники надійності функціонування зразків інженерної техніки. Але, як зазначається в [4], реальне підвищення надійності МІО при використанні часу простою техніки для її ТО і ремонту буде дещо меншим ніж його значення, отримане з допомогою розрахунків відповідно до теорії почасового резервування. Справа полягає в тому, що відповідно до класичного варіанту теорії почасової надмірності наявний резерв часу вступає в дію відразу з моменту фіксації відмови об'єкту чи з моменту початку часу ТО відповідно до встановленої періодичності його проведення. Що ж стосується реальної ситуації використання інженерної техніки в АТО та ООС, то треба зазначити, що у випадку, коли відмова припадає на період функціонування МІО вона враз зупиняє час використання техніки за призначенням і з цього моменту починається відлік часу, що характеризує непрацездатний стан МІО. Це означає, що миттєве використання щодобового резерву часу неможливе. Використання резервного часу для проведення технічного обслуговування МІО стає припустимим лише з моменту завершення визначеного розпорядком денним робочого часу. Тільки з цього моменту час простою техніки можна розглядати за умовами розглянутої теорії як резервний час. Аналізуючи ситуацію, яка складається в такому випадку, приходимо до висновку, що проміжок часу від відмови до закінчення робочого дня або від відмови до закінчення ремонту (якщо відновлення об'єкту почнеться і завершиться до кінця робочого часу) буде збільшувати загальний

час непрацездатного стану МІО і негативно впливати на значення комплексного коефіцієнту надійності даного зразка інженерного озброєння.

**Мета статті.** У зв'язку з цим як з теоретичної точки зору, так і з чисто практичних міркувань можна вважати за доцільне спробувати вдосконалити методику застосування теорії почасового резервування [5,6,7] в напрямку підвищення точності розрахунку часткових і комплексних показників надійності МІО шляхом врахування конкретного часу затримання моменту вступу в дію щодобового резерву часу на проведення поточного ремонту. В разі вирішення цього завдання стане можливим оцінити рівень підвищення надійності техніки не тільки за рахунок використання теорії почасової надмірності в цілому, але й безпосередньо враховувати як саме затримка надання часового резерву (час доставки зразка озброєння до ремонтного підрозділу або час простою у черзі на ремонт) впливає на зниження значення комплексного коефіцієнту надійності зразків інженерного озброєння в конкретних умовах обстановки, що характеризуються різними режимами планового використання за призначенням та технічного обслуговування, і забезпечити завдяки цьому більш повну оцінку реального стану його надійності.

### Виклад основного матеріалу дослідження

З метою розв'язання сформульованого завдання розглянемо дві математичні моделі періодичного технічного обслуговування зразка інженерного озброєння, що можна умовно віднести до систем неперервного використання. Обидві моделі являють собою систему обслуговування з щодобово поповнюваним резервом часу, в яких об'єкт обслуговування поданий одним структурним елементом, напрацювання якого на відмову – випадкова величина  $t_n$ , закон розподілення якої може бути поданий експоненціальною залежністю  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ , де  $\lambda$  – інтенсивність відмов техніки. В системі передбачено проведення двох видів відновлювальних робіт: періодичного технічного обслуговування (ТО), яке проводиться з періодичністю  $T_{TO}$ , і аварійно-профілактичних (поточних) ремонтів. Тривалість проведення ТО –  $t_{TO}$  є випадковою величиною з функцією розподілення  $\Phi(t) = 1 - \exp(-\theta t)$  та значенням МОЧ  $\bar{t}_{TO}$ , де  $\theta$  – інтенсивність проведення ТО. У випадку відмови техніки в системі передбачено виконання поточного ремонту, тривалість якого  $t_B$  – випадкова величина з функцією розподілу  $F_B(t) = 1 - \exp(-\mu t)$  і кінцевим значенням МОЧ  $\bar{t}_B$  та  $\mu$  – інтенсивності відновлювання техніки. В системі передбачені резерви часу:  $\tau_{Д1}$  на проведення ТО і  $\tau_{Д}$  – на проведення поточного ремонту техніки. Величини  $\tau_{Д1}$  і  $\tau_{Д}$  є випадковими з функціями розподілу

$D_1(t) = 1 - \exp(-\gamma_1 t)$ ;  $D(t) = 1 - \exp(-\gamma t)$  і кінцевими значеннями МОЧ  $\bar{t}_{D1}$  і  $\bar{t}_D$  відповідно, де  $\gamma_1$  і  $\gamma$  – інтенсивності надання резервів часу  $\tau_{D1}$  і  $\tau_D$  відповідно.

Перша з моделей, що розглядаються, – ідеалізована і функціонує у суворій відповідності до класичного варіанту теорії почасового резервування. Це означає, що у випадку, коли до визначеного моменту  $t_{TO}$  техніка не відмовила, то відразу саме з цього моменту розпочинаються роботи, що входять до складу планового ТО. З цього ж моменту починається також відлік резервного часу, що передбачений на проведення ТО. При умові, що час проведення ТО не перевищує  $\tau_{D1}$ , тобто  $t_{TO} \leq \tau_{D1}$ , його відносять до корисного часу функціонування системи, в протилежному випадку – до непрацездатного стану. Крім того при виникненні відмови техніки миттєво починається проведення її ремонту і також починає спливати резервний час, що передбачений на його проведення. При виконанні умови  $t_B \leq \tau_D$  час відновлення техніки відносять до її працездатного стану, в іншому випадку – до непрацездатного.

При побудові другої моделі враховуються реальні можливості щодо використання системою резерву часу, який формується з врахуванням затвердженого плану застосування техніки за призначенням, діючого у військовій частині розпорядку дня та реальних можливостей ремонтного підрозділу щодо негайного початку відновлювальних робіт. Порядок використання часового резерву при проведенні планових ТО для другої моделі прийнятий такий, як і для першої. Тобто наявний резерв часу вступає в дію відразу з моменту планового початку робіт ТО відповідно до встановленої періодичності його проведення. Обґрунтування правомірності такої регламентації почасового резервування обумовлюється відповідністю реальних умов функціонування інженерної техніки вихідним теоретичним передумовам. Законність використання часу простою МІО при відсутності планових роботах як резервного часу для проведення ТО не викликає ніяких заперечень. Дійсно, якщо навіть час проведення чергових робіт ТО припадає на період використання МІО за призначенням, то зрозуміло, що можна без будь-яких ускладнень (без зупинення цих робіт) дочекатися наступного періоду простою техніки (завершення терміну використання техніки за призначенням на поточний день) і після цього приступати до виконання необхідних робіт ТО. Запропонована незначна затримка в початку виконання робіт ТО практично не вплине на ефективність його проведення і не позначиться на рівні надійності МІО (навіть при значному відхиленні (на 20%) в бік збільшення або зменшення від оптимального значення часу періодичності обслуговування коефіцієнт технічного використання  $K_{ТВ}$  зменшується порівняно із своїм максимальним значенням не більше як на декілька відсотків)[6].

Тобто зсув у часі використання резерву часу (початку виконання робіт ТО) не порушує загальних принципів застосування розглянутих теоретичних положень і дозволяє скористатися викладеними вище результатами щодо можливості підвищення надійності МІО шляхом використання часу простою МІО для їх технічного обслуговування.

Що ж стосується виконання робіт поточного ремонту техніки то теж передбачається можливість використання резерву часу  $\tau_D$ . Але для другого варіанту моделі системи ТО в цьому випадку відмова враз зупиняє час використання техніки за призначенням і починається відлік часу, що характеризує непрацездатний стан МІО. При цьому миттєве використання щодобового резерву часу неможливе. Час непрацездатного стану МІО буде тривати аж до моменту завершення визначеного розпорядком дня робочого часу і відсутності черги на виконання ремонтних робіт. Тільки з цього моменту час простою техніки можна розглядати за умовами функціонування другої моделі як резервний час. Якщо відновлення працездатності техніки відбудеться протягом резервного часу  $\tau_D$ , то цей часовий інтервал, на протязі якого відбувалося відновлювання зразка озброєння, будемо відносити до часу знаходження МІО у працездатному стані. При невиконанні умови  $t_B \leq \tau_D$ , тобто при перевищенні часу ремонту техніки наявного резерву часу, продовжується відлік непрацездатного стану техніки. Аналізуючи ситуацію, яка складається в такому випадку, приходимо до висновку, що проміжок часу від відмови до закінчення робочого дня або від відмови до закінчення ремонту (якщо відновлення об'єкту завершиться до кінця робочого часу) буде збільшувати загальний час непрацездатного стану МІО і негативно впливати на значення комплексного коефіцієнту надійності даного зразка інженерного озброєння.

Для математичного підтвердження вище викладеного представимо процес функціонування розглянутих моделей системи ТО шляхом застосування математичного апарату напівмарківських процесів (НМП) і з їх допомогою розрахуємо значення показників надійності МІО в процесі їх експлуатації у відповідності з умовами функціонування цих моделей. Порівняння результатів проведених розрахунків зможе дати кількісну оцінку доцільності використання запропонованої (другої) моделі функціонування системи ТО інженерної техніки як більш адекватної реальним умовам функціонування відносно першої моделі – ідеалізованого варіанту системи ТО з почасовою надмірністю. Математичний апарат НМП дозволяє здійснити визначення показників надійності через визначення часу перебування процесу функціонування системи у фіксованій підмножині станів. У відповідності до методики застосування НМП [7] процес функціонування системи ТО інженерної техніки може бути описаний НМП  $X(t)$ , графі станів і переходів якого щодо першої

та другої розглянутих моделей наведені на рис.1 та рис.2 відповідно.

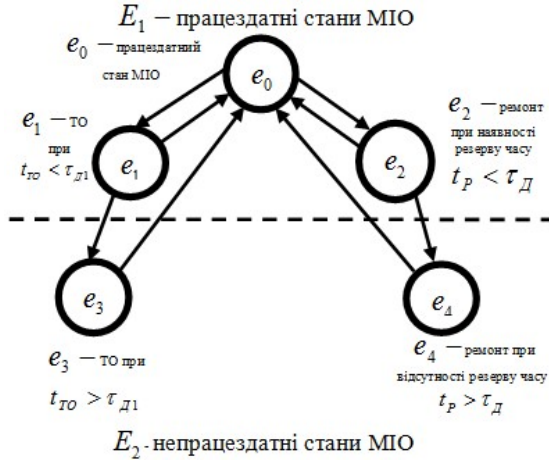


Рис. 1. Граф стану і переходів щодо першої моделі

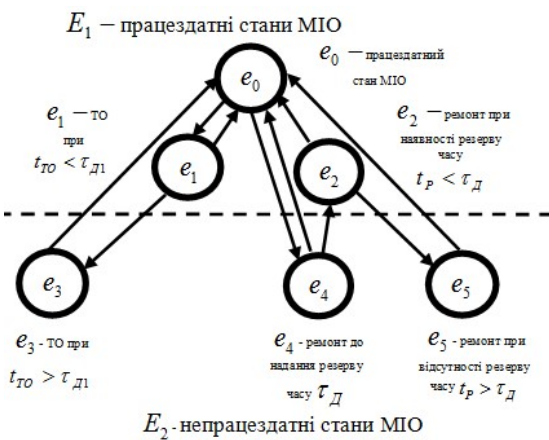


Рис. 2. Граф стану і переходів щодо другої моделі

Як слідує з рис.1, система ТО у відповідності з першою моделлю функціонування в довільний момент часу може знаходитися в одному з наступних станів:  $e_0$  – стан, в якому об'єкт обслуговування працездатний;  $e_1$  – стан, під час перебування в якому на об'єкті проводиться ТО за передбачений резервний час  $\tau_{D1}$ ;  $e_2$  – стан, в якому відбувається відновлення працездатності об'єкту обслуговування за передбачений час резерву  $\tau_D$ ;  $e_3$  та  $e_4$  – стани, в яких на об'єкті проводяться відповідно ТО і поточний ремонт після закінчення резервів часу  $\tau_{D1}$  і  $\tau_D$ ;  $E_+$ ,  $E_-$  – області працездатних і непрацездатних станів об'єкту системи ТО відповідно.

Рівень надійності функціонування МІО будемо оцінювати з використанням комплексного показника надійності, в якості якого доцільно [5] вибрати коефіцієнт технічного використання  $K_{ТВ}$ . Коефіцієнт технічного використання  $K_{ТВ}$  обчислюється як відношення математичного очікування сумарного часу  $T_{E+}$  перебування об'єкту обслуговування в працездатному стані за деякий період експлуатації до математичного очікування сумарного часу перебування об'єкту в працездатному стані і

простоїв, обумовлених ТО і ремонтом за той же період часу ( $T_{E+} + T_{E-}$ ).

$$K_{ТВ}(\tau_D) = \frac{M[T_{E+}]}{M[T_{E+} + T_{E-}]}, \quad (1)$$

де:  $M[x]$  – математичне очікування випадкової величини  $x$ .

Формула (1) з урахуванням графу станів і переходів (рис.1) приймає вигляд:

$$K_{ТВ}(\tau_D) = \frac{\sum_{i=0}^2 \pi_i a_i}{\sum_{i=0}^4 \pi_i a_i}, \quad (2)$$

де:  $\pi_i$  – стаціонарні імовірності вкладеного ланцюгу Маркова, які визначаються з системи рівнянь

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

з урахуванням умови нормування  $\sum_{i \in E} \pi_i = 1$ .

Стаціонарні імовірності вкладеного ланцюгу Маркова  $\pi_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3, 4$ ), які входять до формули (2), визначимо із наведеної нижче системи рівнянь, отриманої у відповідності до виразу (3) і з урахуванням графу станів і переходів першої моделі системи ТО і ремонту МІО із двох, що розглядаються (рис. 1).

$$\begin{aligned} \pi_0 &= \pi_1 P_{10} + \pi_2 P_{20} + \pi_3 P_{30} + \pi_4 P_{40}; \\ \pi_1 &= \pi_0 P_{01}; \\ \pi_2 &= \pi_0 P_{02}; \\ \pi_3 &= \pi_1 P_{13}; \\ \pi_4 &= \pi_2 P_{24}. \end{aligned} \quad (4)$$

Враховуючи вихідні умови функціонування системи ТО і поточного ремонту відповідно до першої моделі, можна записати наступні розрахункові формули для стаціонарних ймовірностей  $P_{ji}$  і середніх інтервалів часу перебування  $a_i$  в станах  $i$ .

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda T_{ТО})]; \quad a_1 = \frac{1}{\theta + \gamma_1}; \quad a_2 = \frac{1}{\mu + \gamma}; \\ a_3 &= \frac{1}{\theta}; \quad a_4 = \frac{1}{\mu}; \quad P_{01} = \exp(-\lambda T_{ТО}); \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_{02} = 1 - \exp(-\lambda T_{ТО}); \quad P_{13} = \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \theta}; \quad P_{24} = \frac{\gamma}{\gamma + \mu}.$$

Розв'язуючи систему рівнянь (4) і підставляючи знайдені значення  $\pi_i$  в (2), після нескладних математичних перетворень отримаємо проміжний вираз для  $K_{ТВ}(\tau_D)$ :

$$K_{ТВ}(\tau_D) = \frac{a_0 + a_1 P_{01} + a_2 P_{02}}{a_0 + a_1 P_{01} + a_2 P_{02} + a_3 P_{01} P_{13} + a_4 P_{02} P_{24}}. \quad (6)$$

Підставляючи в (6) значення для  $a_i$  і  $P_{ji}$ , після низки перетворень і спрощень отримаємо остаточне розрахункове співвідношення для коефіцієнту технічного використання

$$K_{ТВ}(\tau_D) = \frac{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu + \gamma} + e^{-\lambda T_{ТО}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\theta + \gamma_1} - \frac{1}{\mu + \gamma} \right]}{\frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\mu + \gamma} + A + e^{-\lambda T_{ТО}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\theta + \gamma_1} - \frac{1}{\mu + \gamma} + B - A \right]} \quad ..(7)$$

$$\text{де: } A = \frac{\gamma}{\mu(\gamma + \mu)}; B = \frac{\gamma_1}{\theta(\gamma_1 + \theta)}. \quad (8)$$

Для другої моделі функціонування системи ТО і відновлювання МІО (рис. 2), зазначимо, що в цьому випадку об'єкт обслуговування (МІО) може знаходитися у наступних станах:  $e_0$  – стан, в якому об'єкт працездатний;  $e_1$  і  $e_2$  – стани, в яких на об'єкті проводиться планове ТО або виконуються відновлювальні роботи на протязі наперед заданих резервів часу  $\tau_{Д1}$  і  $\tau_{Д}$  відповідно;  $e_3$  і  $e_5$  – стани, на яких відповідно проводяться ТО і роботи по відновленню працездатності після закінчення резервів часу  $\tau_{Д1}$  і  $\tau_{Д}$ ;  $e_4$  – стан, під час якого об'єкт непрацездатний, на ньому можуть проводитися або не проводитися ремонтні роботи, але використання часового резерву  $\tau_{Д}$  ще не можливо, тому що ще не сплив щодобовий час використання техніки за призначенням. Тобто відповідно до графу станів і переходів другої моделі системи (рис. 2) коефіцієнт технічного використання може бути поданий наступним чином

$$K_{ТВ}(\tau_{Д}) = \frac{\sum_{i=0}^2 \pi_i a_i}{\sum_{i=0}^5 \pi_i a_i} \quad (9)$$

Розмірковуючи аналогічно як і при розгляді першої моделі функціонування системи ТО і ремонту МІО, можна отримати систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \pi_0 &= \pi_1 P_{10} + \pi_2 P_{20} + \pi_3 P_{30} + \pi_4 P_{40} + \pi_5 P_{50} \\ \pi_1 &= \pi_0 P_{01} \\ \pi_2 &= \pi_4 P_{42} \\ \pi_3 &= \pi_1 P_{13} \\ \pi_4 &= \pi_0 P_{04} \\ \pi_5 &= \pi_2 P_{25} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Розв'язання цієї системи рівнянь відносно  $\pi_i$  дає можливість записати формулу (9) у вигляді

$$K_{ТВ}(\tau_{Д}) = \frac{a_0 + a_1 P_{01} + a_2 P_{04} P_{42}}{a_0 + a_1 P_{01} + a_2 P_{04} P_{42} + a_3 P_{01} P_{13} + a_4 P_{04} + a_5 P_{04} P_{25}} \quad (11)$$

Очевидно, що для другої моделі розрахункові формули стаціонарних ймовірностей  $P_{ji}$  і середніх інтервалів часу  $a_i$  перебування процесу в різних станах з врахуванням вихідних умов функціонування моделі можуть бути подані наступними виразами

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda T_{ТО})]; a_1 = \frac{1}{\theta + \gamma_1}; a_2 = \frac{1}{\mu + \gamma}; \\ a_3 &= \frac{1}{\theta}; a_4 = \frac{1}{\mu}; a_5 = \frac{1}{\mu}; \quad (12) \\ P_{01} &= \exp(-\lambda T_{ТО}); P_{04} = 1 - \exp(-\lambda T_{ТО}); \\ P_{13} &= \frac{\gamma_1}{\gamma_1 + \theta}; P_{25} = \frac{\gamma}{\gamma + \mu}; P_{42} = \frac{\mu}{\gamma + \mu}. \end{aligned}$$

Тому не складно довести, що після очевидних математичних перетворень розрахункові формули для коефіцієнту технічного використання МІО другої моделі функціонування системи будуть

мати наступний вигляд:

$$K_{ТВ}(\tau_{Д}) = \frac{\frac{1}{\lambda + \frac{1}{\gamma + \mu}} * C + e^{-\lambda T_{ТО}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\gamma_1 + \theta} - \frac{1}{\gamma + \mu} * C \right]}{\frac{1}{\lambda + \frac{1}{\gamma + \mu}} * C + A_1 + e^{-\lambda T_{ТО}} \left[ \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{\gamma_1 + \theta} - \frac{1}{\gamma + \mu} * C + B - A_1 \right]} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{де: } A_1 &= \frac{1}{\mu} + A * C; A = \frac{\gamma}{\mu(\gamma + \mu)}; B = \frac{\gamma_1}{\theta(\gamma_1 + \theta)}; \\ C &= \frac{\mu}{\gamma + \mu}. \end{aligned} \quad (14)$$

Для дослідження впливу процесу організації роботи системи ТО і ремонту на зміну рівня надійності зразка інженерного озброєння при його обслуговуванні системою ТО і ремонту, що функціонує у відповідності до розглянутих двох різних моделей надання резерву часу, побудуємо графіки коефіцієнтів технічного використання МІО у відповідності до формул (11, 12) і (13, 14), що характеризують особливості використання резервів часу у цих моделях. Для побудови графіків коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_{Д})$  скористаємося системою MATLAB – сучасним засобом автоматизації математичних розрахунків, що побудована на розширеному уявленні і застосуванні матричних операцій [8]. Результати отриманих розрахунків наведені на рис. 3-6.

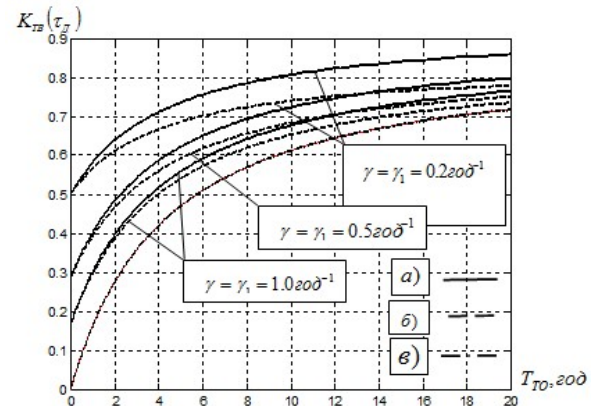


Рис. 3. Залежність  $K_{ТВ}(\tau_{Д})$  МІО при обслуговуванні системою ТО з почасовою надмірністю від  $T_{ТО}$

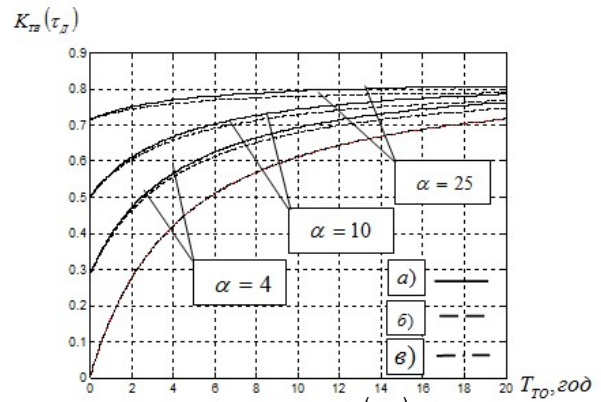


Рис. 4. Залежність  $K_{ТВ}(\tau_{Д})$  МІО при обслуговуванні системою ТО з часовою надмірністю

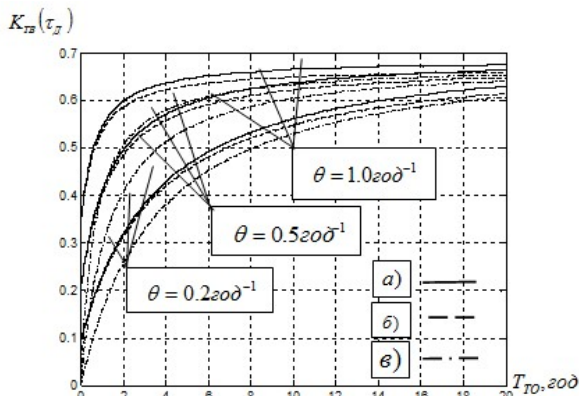


Рис. 5. Залежність  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО з врахуванням почасової надмірності від періодичності проведення технічного обслуговування  $T_{ТО}$

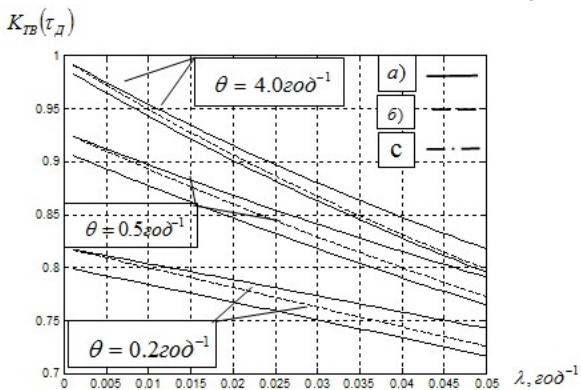


Рис. 6. Залежність екстремальних значень коефіцієнту технічного використання МІО з врахуванням часової надмірності від інтенсивності відмов апаратури

Графіки, зображені на рис. 3, ілюструють залежність коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО при обслуговуванні системою ТО з почасовою надмірністю від періодичності проведення планових попереджувальних профілактик  $T_{ТО}$  для випадку, коли напрацювання елемента між відмовами розподілене за експоненціальним законом  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ , а функції розподілення випадкових величин, що характеризують можливості системи щодо обслуговування техніки, мають наступний вигляд:

$$F_B(t) = 1 - \exp(-\mu t); \quad D(t) = 1 - \exp(-\gamma t);$$

$$D_1(t) = 1 - \exp(-\gamma_1 t); \quad \Phi(t) = 1 - \exp(-\theta t),$$

при значеннях:  $\lambda = 0.05 \text{ год}^{-1}$ ;  $\mu = 0.2 \text{ год}^{-1}$ ;  $\theta = 0.2 \text{ год}^{-1}$   $\gamma = \gamma_1 = 0.2; 0.5; 1.0 \text{ год}^{-1}$ .

Розрахунки проводилися для випадків:

а) коли резерв часу надається безпосередньо в момент відмови об'єкту і відразу розпочинаються ремонтні роботи;

б) коли ремонтні роботи розпочинаються теж після відмови техніки, але резервний час починає використовуватися лише після закінчення щодобового часу використання техніки за призначенням.

в) при відсутності резерву часу на проведення технічного обслуговування.

На рис. 4 відображена залежність коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО при обслуговуванні системою ТО з часовою надмірністю від періодичності проведення технічного обслуговування  $T_{ТО}$  при різних значеннях  $\alpha = \gamma/\gamma_1$  – параметрів експоненціального розподілення випадкових величин  $\tau_D$  і  $\tau_{D1}$  і значеннях  $\lambda = 0.05 \text{ год}^{-1}$ ;  $\mu = \theta = 0.2 \text{ год}^{-1}$ ;  $\gamma = 2 \text{ год}^{-1}$ .

На рис. 5 показані залежності коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО з врахуванням почасової надмірності від періодичності проведення технічного обслуговування  $T_{ТО}$ , інтенсивності його проведення  $\theta = 1/\bar{t}_{ТО}$  при напрацюванні елемента між відмовами, розподіленому за експоненціальним законом  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ , і функціями розподілення випадкових величин, що характеризують можливості системи щодо обслуговування техніки, поданими у вигляді:

$$F_B(t) = 1 - \exp(-\mu t); \quad D(t) = 1 - \exp(-\gamma t);$$

$$D_1(t) = 1 - \exp(-\gamma_1 t); \quad \Phi(t) = 1 - \exp(-\theta t)$$

при  $\lambda = 0.05 \text{ год}^{-1}$ ;  $\mu = 0.2 \text{ год}^{-1}$ ;  $\gamma = \gamma_1 = 2 \text{ год}^{-1}$ ;  $\theta = 0.2; 1; 2; 4 \text{ год}^{-1}$ .

На рис. 6 наведені графіки залежності екстремальних значень коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}^*(\tau_D)$  МІО з врахуванням часової надмірності від інтенсивності відмов апаратури  $\lambda$  та інтенсивності проведення технічного обслуговування  $\theta$ , які отримані для таких самих вихідних значеннях параметрів, як і при побудові попередніх графіків.

Розрахунки, результати яких наведені на рис. 4-6, проводилися для випадків:

а) коли резерв часу надається безпосередньо в момент відмови об'єкту;

б) коли резерв часу надається тільки після завершення щодобового часу використання інженерної техніки за призначенням.

Аналіз отриманих графіків коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО дозволяє зробити наступні висновки:

1. Результати порівняння значень коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  інженерної техніки для різних моделей її технічного обслуговування свідчать про те, що системи ТО з почасовою надмірністю (перша і друга моделі) забезпечують суттєве збільшення комплексного показника надійності  $K_{ТВ}(\tau_D)$  порівняно з із звичайною планово-періодичною системою ТО (рис. 3).

2. Значення коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$  МІО при її технічному обслуговуванні за алгоритмом функціонування другої моделі ТО при однакових початкових даних випадкових величин, що входять до розрахункових формул, дещо менше значень цього коефіцієнту, отриманих для першої моделі ТО (рис. 3). Це пояснюється тим, що запропонована модель системи ТО з часовою

надмірністю (друга модель) враховує не ідеалізовані, а реальні можливості щодо використання щодобових простоїв техніки в якості резервного часу для профілактичного технічного обслуговування та поточного ремонту, тобто дозволяє дати більш об'єктивну оцінку реальної надійності МІО.

3. При збільшенні значень резерву часу (зменшенні значень  $\gamma$  і  $\gamma_1$ ) (рис. 4) і збільшенні інтенсивності проведення ТО і поточного ремонту МІО  $\theta$  і  $\mu$  відповідно (рис. 5) величина коефіцієнту технічного використання  $K_{ТВ}(\tau_D)$  зростає як для першої, так і для другої моделей організації робіт системи технічного обслуговування, при цьому, як це вже вище пояснювалося, для першої моделі у всіх випадках його значення залишаються завищеними у порівнянні з реальними.

4. Збільшення інтенсивності проведення технічного обслуговування  $\theta$  призводить до зростання коефіцієнту технічного використання МІО  $K_{ТВ}(\tau_D)$  як функції інтенсивності відмов техніки  $\lambda$ . При цьому залежність  $K_{ТВ}(\tau_D)$  від  $\lambda$  описується лінійною функцією. При  $\lambda \rightarrow 0$  значення коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D) \rightarrow 1$ . Відповідно при  $\lambda \rightarrow \infty$  величина коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D) \rightarrow 0$ . Тобто підтверджується відомий з практики факт, що ефективність проведення ТО з точки зору його позитивного впливу на коефіцієнт технічного використання тим більший, чим менше його тривалість і простої техніки, пов'язані з його проведенням. Крім того, абсолютний приріст значення коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$  при збільшенні інтенсивності проведення ТО (рис. 6) зменшується при збільшенні інтенсивності відмов техніки  $\lambda$ . Це пояснюється тим, що несуттєве зростання коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$  від підвищення інтенсивності  $\theta$  проведення ТО при збільшенні інтенсивності відмов техніки  $\lambda$  в абсолютному вимірі – зменшується.

5. Необхідно звернути увагу на той факт, що при збільшенні значень  $\lambda$  різниця між значеннями коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$ , розрахованими для першої і другої моделей функціонування системи ТО МІО, суттєво збільшується. Цей факт пояснюється тим, що, як вже зазначалося вище, різниця в значеннях коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$ , розрахованих для першої і другої моделей функціонування системи ТО, пояснюється необґрунтовано завищеними значеннями резервів часу  $\tau_D$  і  $\tau_{D1}$  при функціонуванні системи ТО у відповідності до першої моделі. Зрозуміло, що при збільшенні інтенсивності відмов об'єкту обслуговування  $\lambda$

(зменшенні часу напрацювання об'єкту на відмову  $\bar{t}_n$ ) відносна вага цієї необґрунтованої частини часового резерву зростає при обчисленні коефіцієнту  $K_{ТВ}(\tau_D)$  у відповідності до першої моделі функціонування системи ТО. Тобто можна стверджувати, що якщо при розрахунку коефіцієнту технічного використання МІО, обслуговування яких відбувається з використанням їх простоїв для проведення ТО, використовується перша модель функціонування системи ТО, то помилка в точності розрахунку  $K_{ТВ}(\tau_D)$  буде тим більша, чим вища інтенсивність відмов об'єкту обслуговування  $\lambda$ .

Таким чином підводячи підсумки викладеному, можна стверджувати, що результати проведеного аналізу впливу різних моделей організації робіт і окремих параметрів системи ТО з почасовою надмірністю на експлуатаційну надійність інженерної техніки підтверджує доцільність проведення організації роботи системи ТО техніки частин і підрозділів інженерних військ, що приймають участь у проведенні ООС на сході нашої країни, відповідно до запропонованої (другої) моделі організації робіт ТО з використанням щодобових простоїв техніки, обумовлених затвердженими планами використання МІО за призначенням та розпорядком денним військової частини.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Підводячи підсумки викладеному, можна стверджувати, що результати проведеного аналізу впливу різних моделей організації робіт і окремих параметрів системи ТО з почасовою надмірністю на експлуатаційну надійність інженерної техніки підтверджує доцільність проведення організації роботи системи ТО техніки частин і підрозділів інженерних військ, що приймають участь у проведенні ООС на сході нашої країни, відповідно до запропонованої (другої) моделі організації робіт ТО з використанням щодобових простоїв техніки, обумовлених затвердженими планами використання МІО за призначенням та розпорядком денним військової частини.

В подальшому планується на основі проведеного дослідження додатково оцінити можливості структурного резервування, а також різних стратегій і параметрів організації і проведення ТО щодо позитивного впливу на комплексний показник надійності МІО – коефіцієнт їх технічного використання. Це, на думку авторів, може забезпечити підтримання необхідного рівня надійності МІО підрозділів інженерних військ Збройних Сил України при проведенні операції об'єднаних сил.

### Література

1. Солонніков В.Г., Колос О.Л. Підвищення коефіцієнта технічного використання машин інженерного озброєння в особливих умовах експлуатації шляхом розробки математичних моделей технічного обслуговування і відновлення об'єктів з врахуванням почасової та структурної надмірності. Монографія, - Львів: Видавництво "Растр-7", 2017.-168с. 2. Солонніков В.Г. Особливості та проблеми технічного забезпечення частин і підрозділів

інженерних військ Збройних Сил України у ході виконання завдань у складі міжнародних миротворчих сил. / Колос О.Л. - К. : НАОУ, Труды академії, №4(84), 2008, С. 152-161. 3. 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 /

[Мальченко С.В., Колос О.Л., Солонніков В.Г., Полякова О.В.] - К. : НАОУ, Труды университета, № 1(91), 2009, С. 121-132. 4. Аналіз відповідності існуючої системи технічного обслуговування озброєння і військової техніки умовам експлуатації техніки інженерних підрозділів Збройних Сил України в ході виконання завдань у складі міжнародних миротворчих сил / Солонніков В.Г., Колос О.Л., Полякова О.В. - К. : НАОУ, Труды академії, №3(90), 2009, С. 157 - 165. 5. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с

временной избыточностью [под ред. А. М. Половко. М. ] / Сов. радио, 1974. – 296 с. 6. Креденсер Б. П. Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью. - К. : Наукова думка, 1978. - 240 с. 7. Креденсер Б.П. та ін. Модели технического обслуживания систем с избыточностью – К. : Фенікс, 2002. – 192 с. 8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 +Simulink в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Прес. 2003. 576с.

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕХНИКИ С ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ В ХОДЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ ВОЙСК ВС УКРАИНЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОПЕРАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ СИЛ

*Александр Иосифович Мацько ( кандидат военных наук, профессор )  
Владислав Григорьевич Солонников (доктор технических наук, профессор)  
Сергей Николаевич Костиюченко*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В статье средствами теории временного резервирования обоснована целесообразность использования плановых простоев инженерной техники для профилактического технического обслуживания и текущего ремонта с целью поддержания ее надежности на необходимом уровне. Для количественной оценки влияния процесса организации функционирования системы ТО в соответствии с предложенной моделью на изменение уровня надежности инженерной техники разработана методика расчета коэффициента технического использования МИВ, которая учитывает не идеализированные, а реальные возможности по применению ежесуточных простоев техники в качестве резервного времени для повышения коэффициента ее технического использования.*

*Ключевые слова:* система технического обслуживания, коэффициент технического использования, временное резервирование, полумарковские процессы, простои техники.

## APPLICATION OF THE TECHNICAL SUPPORT MODEL WITH VARIABLE REDUNDANCY TO INCREASE ITS RELIABILITY DURING TASKS BY THE UNITS OF ENGINEERING AIRCRAFT OF UKRAINE WHEN THE JOINT FORCE OPERATIONS ARE PERFORMED

*Oleksandr Matsko (Candidate of military sciences, Professor)  
Vladyslav Solonnikov (Doctor of technical sciences, Professor)  
Serhii Kostiuchenko*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*In the article by means of the theory of time reservation the reasonableness of use of planned downtime of engineering equipment for preventive maintenance and current repair in order to maintain its reliability at the required level is substantiated. To quantify the impact of the process of organizing the functioning of the maintenance system in accordance with the proposed model to change the level of reliability of engineering technology developed a method of calculating the coefficient of technical use of engineering machines, which takes into account not idealized, but the real possibilities for the use of daily downtime of the equipment as a reserve time its technical use.*

*Keywords:* maintenance system, coefficient of technical use, temporary reservation, semi-markov processes, downtime of technology

### References

1. Solonnikov V.Gh., Kolos O.L. Pidvyshhennja koeficijenta tekhnichnogo vykorystannja mashyn inzhenerenogo ozbrojennja v osoblyvykh umovakh ekspluataciji shljakhom rozrobky matematychnykh modelej tekhnichnogo obslughovuvannja i vidnovljuvannja ob'ektiv z vrakhuvannjam pochasovoji ta strukturnoji nadmimosti. Monografija, - Ljviv: Vydavnytvo "Rastr-7", 2017.-168s. 2. Solonnikov V.Gh. Osoblyvosti ta problemy tekhnichnogo zabezpechennja chastyn i pidrozdiliv inzhenernykh vijsjk Zbrojnykh Syl Ukrainy u khodi vykonannja zavdanj u skladi mizhnarodnykh myrotvorchykh syl. / Kolos O.L. - K. : NAOU, Trudy akademiji, №4(84), 2008, S. 152-161. 3. Vykorystannja metodu pochasovogo rezervuvannja dlja vdoskonalennja systemy tekhnichnogo obslughovuvannja tekhniky jak odyz iz sposobiv pidvyshhennja jiji nadijnosti v khodi vykonannja zavdanj pidrozdilamy inzhenernykh vijsjk ZS Ukrainy u skladi mizhnarodnykh myrotvorchykh kontyngentiv /

[Maljchenko S.V., Kolos O.L., Solonnikov V.Gh., Poljakova O.V.] - K. : NAOU, Trudy universytetu, № 1(91), 2009, S. 121-132. 4. Analiz vidpovidnosti isnujuchoji systemy tekhnichnogo obslughovuvannja ozbrojennja i vijsjkovoji tekhniky umovam ekspluataciji tekhniky inzhenernykh pidrozdiliv Zbrojnykh Syl Ukrainy v khodi vykonannja zavdanj u skladi mizhnarodnykh myrotvorchykh syl / Solonnikov V.Gh., Kolos O.L., Poljakova O.V. - K. : NAOU, Trudy akademiji, №3(90), 2009, S. 157 - 165. 5. Черкесов Г. Н. Надежность технических систем с временной избыточностью [под ред. А. М. Половко. М. ] / Сов. радио, 1974. – 296 с. 6. Креденсер Б. П. Прогнозирование надежности систем с временной избыточностью. - К. : Наукова думка, 1978. - 240 с. 7. Креденсер Б.П. та ін. Модели технического обслуживания систем с избыточностью – К. : Фенікс, 2002. – 192 с. 8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/6.1/6.5 Simulink в математике и моделировании. Полное руководство пользователя. М.: СОЛОН-Прес. 2003. 576с.