
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 355.423:623.486

Юрій БАРАНОВ,
*Національна академія Сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів*

Андрій БАРАНОВ,
*Національна академія Сухопутних військ
імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів*

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ

Стаття підготована на актуальну тему, що пов'язана з підтриманням технічного стану військової техніки на належному рівні. У статті запропоновано удосконалену математичну модель процесу функціонування та визначення періодичності технічного обслуговування військової техніки в умовах ведення бойових дій. Відмінність даної удосконаленої математичної моделі від існуючих полягає в тому, що вона дозволить за необхідності корегувати періодичність проведення технічного обслуговування та оптимізувати процес відновлення військової техніки в умовах ведення бойових дій.

© Баранов Ю., Баранов А.

Ключові слова: *військова техніка, технічний стан, технічне обслуговування, відновлення.*

Вступ. Удосконалення математичної моделі процесу функціонування та визначення періодичності технічного обслуговування військової техніки в умовах ведення бойових дій проводилось застосуванням випадкових регенеруючих процесів, основні положення використання якого викладено нижче. Особливістю такої моделі є врахування можливості збігу строків проведення ТО і максимального використання ВТ за призначенням в умовах ведення бойових дій. У подальшому це дає змогу удосконалити методику визначення та корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій за рахунок урахування резервів часу, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ в бойових діях

Постановка проблеми у загальному вигляді. Об'єкт, що обслуговується із резервом часу, наробіток до відмови якого випадкова величина t_n , розподілена по довільному закону $F(t)$ із математичним очікуванням \bar{t}_n . У такому об'єкті передбачено проведення двох видів відновлювальних робіт: періодичного ТО із планово-попереджувальними заходами та аварійно-профілактичних (ПР), які проводяться через час $\zeta = \min(t_n, T)$, де T – періодичність проведення ТО (невипадкова змінна величина). Тривалість ТО – випадкова величина t_{mo} із довільною функцією розподілу $\Phi(t)$ і кінцевим математичним очікуванням \bar{t}_{mo} .

Якщо ТО проводиться за допустимий час t_{d1} (t_{d1} – невідповідна змінна величина), то тривалість проведення ТО відноситься до корисного часу функціонування об'єкта, у протилежному випадку – до простоювання. У момент виникнення відмови миттєво починається проведення ремонту, тривалість якого – випадкова величина t_B із функцією розподілу $F_B(t) = P\{t_2 < t\}$ і кінцевим математичним очікуванням \bar{t}_B . Якщо тривалість відновлення об'єкта менша за допустимий час, що не співпадає з часом використання за призначенням в умовах ведення бойових дій

t_d (t_d – не випадкова перемінна величина), то відмова (зрив функціонування) об'єкта як така не рахується, і цей час можна віднести до корисного часу роботи об'єкта, у протилежному випадку ($\bar{t}_B > t_d$) – до простоювання.

Після закінчення будь-якого виду відновлювальних робіт початкові властивості об'єкта повністю відновлюються, моменти проведення наступного ТО переплановуються, і весь процес обслуговування повторюється. При цьому заходи ТО і відновлення проводяться за рахунок визначення резервів часу, що пов'язані з нерівномірністю інтенсивності використання ВТ в умовах ведення бойових дій. У цих випадках резерв часу для зразка ВТ забезпечується шляхом передачі на деякий допустимий час (час відновлення працездатності після відмови або час проведення ТО) його функцій іншим об'єктам системи. У цьому випадку джерелами резервів часу можуть служити інші види надмірності, наприклад, функціональна, навантажувальна, структурна.

Для сформульованих вище умов функціонування об'єкта треба знайти аналітичні співвідношення для обраних показників якості (коєфіцієнтів технічного використання $K_{ТВ}$ і готовності K_G) й визначити оптимальні значення та терміни проведення періодичності обслуговування для подальшого їх корегування, виходячи з умов ведення бойових дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких розглядається дана проблема та на які опираються автори. У своїх наукових пошуках не можна не звернути увагу на наукові праці П. Опенька, О. Волоха, Н. Шапталенка, О. Воробйова та ін., які достатньо глибоко розкривають більшість питань даної проблематики.

Метою статті є удосконалення моделі для опису процесу функціонування та визначення періодичності технічного обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій слід передбачити можливість проведення планових чи за станом видів ТО та ремонту ВТ у строки, що не співпадають зі строками її використання за призначенням у бойових діях.

Виклад основного матеріалу дослідження. У роботі [1] для отримання цільових функцій було розглянуто випадковий процес $x(t)$, що

описує функціонування об'єкта, який у будь-який момент часу може знаходитись в одному зі станів, представлених на рис. 1.

Важливо відмітити, що для такої схеми обслуговування в моменти закінчення відновлювальних робіт (моменти часу $t_k, (k = 0, 1, 2, \dots)$ переходу в стан e_0) подальший плин процесу $x(t)$ не залежить від минулого, оскільки в ці моменти об'єкт повністю відновлений і проходить планування наступного ТО. Ці моменти t_k є моментами регенерації процесу $x(t)$, а послідовність інтервалів часу $\tilde{d}_k = t_k - t_{k-1}, (k = 1, 2, \dots)$ між точками регенерації утворюють рекурентний процес відновлення [2].

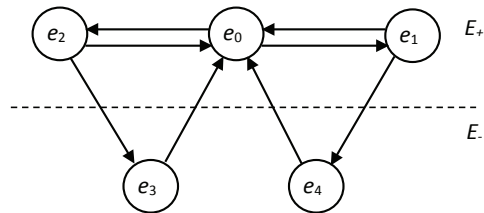


Рис. 1. Графік станів і переходів випадкового процесу $x(t)$, що описує процес функціонування об'єкта із періодичним ТО:

e_0 – стан, в якому об'єкт працездатний; e_1, e_2 – стани, в яких на об'єкті проводяться відповідно відновлення працездатності за допустимий час t_0 і ТО за допустимий час t_{01} , що не співпадає з часом використання об'єкта за призначенням в бойових діях; e_3, e_4 – стани, в яких проводяться відповідно ПР і ТО після витрати резерву часу t_0, t_{01} , що співпадають з часом експлуатації в бойових діях; E_+, E_- – області працездатних і непрацездатних станів об'єкта відповідно.

При цьому величини \tilde{d}_k є послідовністю додатних, однаково розподілених, взаємонезалежних випадкових величин. Оскільки процес $x(t)$ має точки регенерації, то випадкові величини $o_k^{(i)}$, які показують, скільки часу об'єкт провів у стані e_i за k -й період між моментами регенерації, також взаємонезалежні та однаково розподілені.

Під час тривалої експлуатації частка часу K_i , яку об'єкт проводить у стані e_i , дорівнює відношенню середнього часу регенерації $Mo^{(i)}$, проведеного у стані e_i за період між моментами регенерації до середньої тривалості $M\bar{o}$ цього періоду.

Тоді для об'єкта, що розглядається, функціонування якого описано випадковим процесом $x(t)$ (див. рис. 2), коефіцієнт технічного використання може бути представлений як

$$K_{mv} = \frac{\sum_{i \in E_+} Mo^{(i)}}{M\bar{o}}, \quad (1)$$

де $E_+ = \{e_0, e_1, e_2\}$ – підмножина працездатних станів об'єкта [1].

Середній час $Mo^{(0)}$ перебування об'єкта у стані e_0 визначається як математичне очікування мінімальної із двох випадкових величин: наробітку до відмови t_n і часу до початку планового ТО (періодичності T), тобто:

$$Mo^{(0)} = M \min(t_n, T) = \int_0^T \bar{F}(t) dt, \quad (2)$$

де $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$.

Середній час $Mo^{(1)}$ перебування об'єкта у стані e_1 дорівнює добутку ймовірності виконання умови $t_n < T$ (тобто ймовірності того, що об'єкт відмовить до моменту початку планового ТО) та математичного очікування мінімальної із двох величин: випадкової – тривалості відновлення працездатності t_a і не випадкової перемінної – допустимого часу t_δ , тобто:

$$Mo^{(1)} = P\{t_n < T\} M \min(t_a, t_\delta) = F(T) \int_0^{t_\delta} \bar{F}_a(t) dt, \quad (3)$$

де $\bar{F}_a(t) = 1 - F_a(t)$.

Середній час $Mo^{(2)}$ перебування об'єкта у стані e_2 дорівнює добутку ймовірності того, що об'єкт не відмовить до моменту початку планового ТО та математичного очікування мінімальної із двох величин: випадкової – тривалості проведення ТО t_{TO} і невідповідної пере-мінної – допустимого часу $t_{Д1}$, тобто:

$$Mo^{(2)} = P\{t_n > T\} M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) = \bar{F}(T) \int_0^{t_{\delta 1}} \bar{\Phi}(t) dt, \quad (4),$$

де $\bar{\Phi}(t) = 1 - \Phi(t)$.

Інтервал часу $\tilde{\xi}$ між сусідніми моментами оновлення об'єкта (між точками регенерації процесу $x(t)$) буде складатись із двох інтервалів: інтервалу часу від моменту закінчення попереднього оновлення до моменту початку відновлювальних робіт та інтервалу відновлення ζ – деяка випадкова величина.

За формулою повного математичного очікування отримаємо:

$$M\tilde{\xi} = M \min(t_n, T) + M\zeta, \quad (5)$$

де $M \min(t_n, T) = \int_0^T \bar{F}(t) dt$; $M\zeta = \bar{t}_{mo} P\{t_n > T\} + \bar{t}_e P\{t_n \leq T\} = \bar{t}_{mo} \bar{F}(T) + \bar{t}_e F(T)$.

Підставляючи формули (2)–(5) в (1), отримаємо вираз для коефіцієнта технічного використання K_{me} у вигляді цільової функції від одного аргументу T – періодичності проведення ТО [1]:

$$K_{me}(T) = \frac{\int_0^T \bar{F}(t) dt + M \min(t_e, t_{\delta}) F(T) + M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) \bar{F}(T)}{\int_0^T \bar{F}(t) dt + \bar{t}_{mo} \bar{F}(T) + \bar{t}_e F(T)}, \quad (6)$$

де

$$M \min(t_e, t_{\delta}) = \int_0^{t_{\delta}} \bar{F}_e(t) dt, \quad M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) = \int_0^{t_{\delta 1}} \bar{\Phi}(t) dt. \quad (7)$$

Чисельник формули (6) визначає середній час перебування об'єкта у працездатному стані на періоді регенерації, а знаменник – середнє значення періоду між моментами регенерації.

У цілому якість процесу управління технічним станом ВТ має задовольнити умов $1 \geq K_{TT} \geq 0,75$ (8).

Таким чином, задача визначення оптимального значення періодичності проведення ТО, яке забезпечує екстремальне (максимальне чи мінімальне) значення показників якості функціонування об'єкта – коефіцієнта технічного використання K_{mv} та готовності K_I , зводиться до дослідження на екстремум отриманої цільової функції (6) і відповідність обмеженню (8). Слід відмітити, що якщо $T^* = \infty$, то проводити ТО недоцільно і ми отримуємо формулу для коефіцієнта готовності об'єкта.

Якщо оптимальне значення періодичності проведення ТО співпадає з екстремальним значенням показників імовірності використання максимальної кількості зразків ВТ в умовах ведення бойових дій і не задовольняє (8) то необхідне корегування періодичності проведення ТО для визначеної кількості зразків ВТ. Якщо ТО і відновлення не потрібне то K_T максимальний.

Рішення даної оптимізаційної задачі містить такі стандартні процедури:

1. Визначення похідних обраних показників і прирівнювання їх до нуля.
2. Рішення отриманих рівнянь (необхідні умови існування екстремумів).
3. Перевірка виконання достатніх умов.

Дослідимо на екстремум цільову функцію (6) – коефіцієнт технічного використання. Для цього продиференціюємо вираз (6) по T і прирівняємо похідну до нуля. У результаті отримуємо рівняння для визначення оптимальної періодичності проведення ТО, яке є необхідною умовою існування екстремуму функції $K_{mv}(T)$ [2]:

$$\frac{\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} = -F(T) + \lambda(T) \left\{ \int_0^T \bar{F}(t) dt + \frac{\bar{t}_e M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) - \bar{t}_{mo} M \min(t_e, t_\delta)}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} \right\}, \quad (9)$$

де $\lambda(T) = F'(T) / \bar{F}(T) = f(T) / \bar{F}(T)$ – інтенсивність відмов об'єкта.

Слід відмітити, що в частковому випадку, за відсутності резервів часу ($t_\delta = t_{\delta 1} = 0$) вирази $M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})$ і $M \min(t_e, t_\delta)$ стають рівними нулю і формула (9) набуває вигляду [2]:

$$\frac{\bar{t}_{mo}}{\bar{t}_e - \bar{t}_{mo}} = -F(T) + \lambda(T) \int_0^T \bar{F}(t) dt. \quad (10)$$

Для вирішення питання про існування оптимальної періодичності проведення ТО об'єкта, що розглядається, проведемо дослідження існування кінцевих коренів рівняння (9).

Припустимо, що $\bar{t}_{mo} < \bar{t}_e$, і позначимо через $V(T)$ праву частину рівняння (9). Очевидно, що при $T = 0$, $V(0) = 0$ і справедлива нерівність:

$$\frac{\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} \geq V(0).$$

Отже, при $T = 0$ похідна функції (6) додатна. Нехай тепер $T \rightarrow \infty$. Якщо при цьому

$$\frac{\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} < \lim_{T \rightarrow \infty} V(T),$$

то рівняння (9) буде мати хоча б один корінь, а цільова функція (6) – абсолютний максимум при $T \in [0, \infty)$.

Припускаючи, що $\lim_{T \rightarrow \infty} \lambda(T) = \lambda(\infty)$ існує, із виразу (9) отримаємо:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} V(T) = -1 + \lambda(\infty) \left\{ \bar{t}_n + \frac{\bar{t}_e M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) - \bar{t}_{mo} M \min(t_e, t_\delta)}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} \right\}, \quad (11)$$

де $\bar{t}_n = \int_0^\infty \bar{F}(t) dt$ – середній наробіток об'єкта до відмови.

Тоді нерівність (10) набуде вигляду:

$$\frac{\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} < -1 + \lambda(\infty) \left\{ \bar{t}_e + \frac{\bar{t}_e M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) - \bar{t}_{mo} M \min(t_e, t_\delta)}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta)] - [\bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})]} \right\}. \quad (12)$$

Нерівність (12) є достатньою умовою існування абсолютного максимуму функції (6) при $T \in [0, \infty)$. Із формули (12) видно, що при $\lambda(\infty) = \infty$ нерівність виконується за будь-яких значень інших параметрів. Якщо $\lambda(\infty) < \infty$, то необхідно провести розрахунок за формулою (12) для заданих вихідних даних і при виконанні умови зробити висновки про доцільність проведення ТО через кінцевий час [2].

Таким чином, знайдені необхідна (9) і достатня (12) умови існування оптимальної періодичності проведення ТО для об'єкта, що розглядається. Очевидно, що існування кінцевого рішення рівняння (9) визначається виконанням умови: $\bar{t}_e - M \min(t_e, t_\delta) > \bar{t}_{mo} - M \min(t_{mo}, t_{\delta 1})$ (13).

Отже, доцільність проведення ТО визначається не тільки співвідношенням значень \bar{t}_e і \bar{t}_{mo} , але і величиною резервів часу t_δ та $t_{\delta 1}$, а також ефективністю його використання. Це означає, що навіть при $\bar{t}_e < \bar{t}_{mo}$ проведення ТО може бути доцільним і ефективним, якщо виконується умова:

$$M \min(t_e, t_\delta) = \int_0^{t_e} \bar{F}_e(t) dt > M \min(t_{mo}, t_{\delta 1}) = \int_0^{t_{\delta 1}} \bar{\Phi}(t) dt.$$

Отримані вище розрахункові співвідношення наведені у загальному вигляді при довільних функціях розподілу вихідних випадкових величин. Для полегшення розрахунків нижче приведені формули для визначення інтенсивності відмов об'єкта $\lambda(T) = \frac{F'(T)}{\bar{F}(T)} = \frac{f(T)}{\bar{F}(T)}$ і величини

ни $M \min(t_n, T) = \int_0^T [1 - F(t)] dt$, при деяких конкретних (теоретичних) законах розподілу наробітку об'єкта t_n до відмови [2]:

1) експоненційний (параметр $\lambda = 1/\bar{t}_n$):

$$\lambda(T) = \frac{\lambda \exp(-\lambda T)}{\exp(-\lambda T)} = \lambda = const, \quad (14)$$

$$M \min(t_n, T) = \frac{1}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda T)] \quad (15)$$

2) нормальний (параметри \bar{t}_n та σ_n):

$$\lambda(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_n} \exp\left[-\frac{(T - \bar{t}_n)^2}{2\sigma_n^2}\right] \times \left[0,5 - \Phi\left[\frac{T - \bar{t}_n}{\sigma_n}\right]\right]^{-1}, \quad (16)$$

$$M \min(t_n, T) = \bar{t}_n \left[0,5 + \Phi\left[\frac{T - \bar{t}_n}{\sigma_n}\right]\right] + \frac{\sigma_n}{\sqrt{2\pi}} \left[\exp\left[-\frac{t_n^2}{2\sigma_n^2}\right] - \exp\left[-\frac{(T - \bar{t}_n)^2}{2\sigma_n^2}\right]\right] + T \left[0,5 - \Phi\left[\frac{T - \bar{t}_n}{\sigma_n}\right]\right], \quad (17)$$

де $\Phi(z)$ – табульована функція Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-\frac{u^2}{2}) du$;

3) Релея (параметр $\sigma_n = \frac{\bar{t}_n}{\sqrt{\pi/2}}$):

$$\lambda(T) = \frac{(T\sigma_n^{-2}) \exp(-T^2(2\sigma_n^2)^{-2})}{\exp(-T^2(2\sigma_n^2)^{-2})} = \frac{T}{\sigma_n^2}; \quad (18)$$

$$M \min(t_n, T) = \sqrt{2\pi}\sigma_n \Phi(T/\sigma_n); \quad (19)$$

4) Ерланга 2-го порядку (параметри $\lambda = 2/\bar{t}_n$):

$$\lambda(T) = \frac{\lambda^2 T}{1 + \lambda T}; \quad (20)$$

$$M \min(t_n, T) = \frac{2}{\lambda} [1 - \exp(-\lambda T)] - T \exp(-\lambda T); \quad (21)$$

5) Ерланга k -го порядку (параметри $\lambda = k \cdot \bar{t}_n^{-1}$ та k):

$$\lambda(T) = \frac{\lambda^k T^{k-1} \exp(-\lambda T)}{(k-1)! \exp(-\lambda T) \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda T)^i (i!)^{-1}} = \frac{\lambda^k T^{k-1}}{(k-1)! \sum_{i=0}^{k-1} (\lambda T)^i (i!)^{-1}}, \quad (22)$$

$$M \min(t_n, T) = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^{k-1} [1 - \exp(-\lambda T)] \sum_{j=0}^i \frac{(\lambda T)^j}{j!}. \quad (23)$$

Цими формулами можна скористатись і під час розрахунку виразів $M \min(t_{\theta}, t_{\delta}) = \int_0^{t_{\theta}} \bar{F}_{\theta}(t) dt$ та $M \min(t_{m\theta}, t_{\delta 1}) = \int_0^{t_{\delta 1}} \bar{\Phi}(t) dt$, якщо у формулах (14)–(23) замість функції розподілу $F(T)$ використовувати $F_{\theta}(T)$ чи $\Phi(T)$ зі своїми параметрами, а замість T писати t_{θ} чи $t_{\delta 1}$. Після визначення оптимального значення T^* періодичності проведення ТО необхідно розрахувати екстремальні значення обраних показників ефективності функціонування об'єкта. Нехай T^* – точка, в якій досягається абсолютний максимум цільової функції (6) і враховуючи, що при $T^* \neq \infty$ справедливе рівняння (12), отримаємо формулу для визначення цих екстремумів:

а) для коефіцієнта технічного використання:

$$\begin{aligned} \max_{T_{ms}} K_{ms}(T_{ms}) &= K_{ms}(T_{ms}^*) = K_{\Gamma} = \\ &= \begin{cases} \frac{1 + \lambda(T_{ms}^*) [M \min(t_{\theta}, t_{\delta}) - M \min(t_{m\theta}, t_{\delta 1})]}{1 + \lambda(T_{ms}^*) (\bar{t}_{\theta} - \bar{t}_{m\theta})}, & T_{ms}^* < \infty; \\ \frac{\bar{t}_H + M \min(t_{\theta}, t_{\delta})}{\bar{t}_H + \bar{t}_{\theta}}, & T_{ms}^* = \infty. \end{cases} \end{aligned} \quad (24)$$

Слід відмітити, що якщо $T^* = \infty$, то проводити ТО недоцільно і ми отримаємо формулу для коефіцієнта готовності об'єкта K_{Γ} . За відсутності резерву часу ($t_{\theta} = t_{\delta 1} = 0$) вирази $M \min(t_{\theta}, t_{\delta})$ і $M \min(t_{m\theta}, t_{\delta 1})$ стають рівними нулю, а формула (24) набуде вигляду:

$$\max_{T_{ms}} K_{ms}(T_{ms}) = K_{ms}(T_{ms}^*) = \begin{cases} \frac{1}{1 + \lambda(T_{ms}^*) (\bar{t}_{\theta} - \bar{t}_{m\theta})}, & T_{ms}^* < \infty; \\ \frac{\bar{t}_H}{\bar{t}_H + \bar{t}_{\theta}}, & T_{ms}^* = \infty. \end{cases} \quad (25)$$

На останнє в моделі слід урахувати можливість, що оптимальні строки проведення ТО і відновлення визначеної кількості зразків ВТ цілком імовірно можуть співпадати з можливістю її максимального використання в умовах ведення бойових дій. Тому доцільно привести

на рис. 2 граф зміни кількості використання ВТ за марками n_i (од.) по днях ведення бойових дій $T_{(дiб)}$.

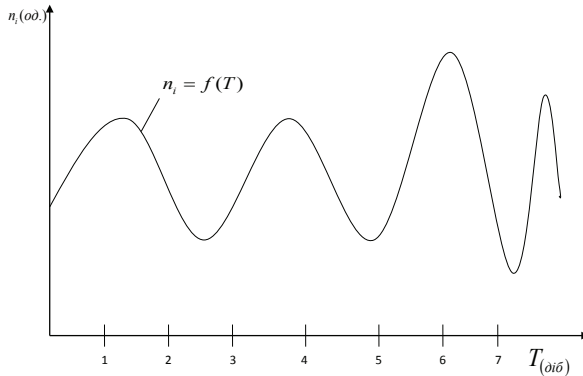


Рис. 2. Граф зміни кількості використання ВТ за марками n_i (од.) по днях ведення бойових дій $T_{(дiб)}$

У подальшому для порівняння строків проведення оптимального ТО та використання ВТ за призначенням час ведення бойових дій можна представити у вигляді показників імовірнісної кількості (інтенсивності) використання ВТ за призначенням у часі [3, 4]. Таким чином, удосконалена математична модель процесу функціонування та визначення періодичності технічного обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій. Відмінність цього наукового результату від існуючих, що визначає його новизну і сутність удосконалення полягає в тому, що на відміну від існуючої моделі, яка не враховувала можливостей співпадання строків проведення ТО і максимального використання ВТ за призначенням, модель, що пропонується, ураховує цю можливість за допомогою розрахункових співвідношень, що визначають залежності рівня готовності окремих зразків ВТ і рівня їх технічного використання від оптимальних строків проведення на них ТО та

відновлення працездатності у межах забезпечення визначеного рівня технічної готовності сукупності зразків ВТ, що дозволить за необхідності корегувати періодичність проведення ТО та оптимізувати процес відновлення ВТ в умовах ведення бойових дій. У подальшому за допомогою отриманих у моделі розрахункових співвідношень пропонується удосконалити методику визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок у даному напрямку. Отримана удосконалена математична модель процесу функціонування та визначення періодичності технічного обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій. Відмінність даної удосконаленої математичної моделі від існуючих, що визначає його новизну і сутність удосконалення полягає в тому, що на відміну від існуючої моделі, яка не враховувала можливостей співпадання строків проведення ТО і максимального використання ВТ за призначенням, модель, що пропонується, урахує цю можливість за допомогою розрахункових співвідношень, що визначають залежності рівня готовності окремих зразків ВТ і рівня їх технічного використання від оптимальних строків проведення на них ТО та відновлення працездатності у межах забезпечення визначеного рівня технічної готовності сукупності зразків ВТ, що дозволить за необхідності корегувати періодичність проведення ТО та оптимізувати процес відновлення ВТ в умовах ведення бойових дій.

Список використаної літератури

1. Модели технического обслуживания систем с избыточностью / [Б. П. Креденцер, С. В. Ленков, М. И. Резников] / под ред. Б.П. Креденцера. – К. : Фенікс, 2002. – 192 с.
2. Надёжность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (предс.) и др. – М. : Машиностроение, 1990. – Т. 8: Эксплуатация и ремонт / Под ред. В. И. Кузнецова и Е. Ю. Барзиловича. – 320 с.
3. Королюк В. С. Стохастичні моделі систем [навч. посіб.] / В. С. Королюк. – К. : Либідь, 1993. – 136 с.

4. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – 13-е изд. перераб. и доп. – М.: Наука, 1986. – 723 с.

*Рецензент – кандидат технических наук,
старший научный сотрудник Каленик М. М.*

Баранов Ю. М., Баранов А. М. Усовершенствование математической модели процесса функционирования и определения периодичности технического обслуживания военной техники в условиях ведения боевых действий

Статья подготовлена на актуальную тему, которая связана с поддержанием технического состояния военной техники на должном уровне. В статье предложена усовершенствованная математическая модель процесса функционирования и определения периодичности технического обслуживания военной техники в условиях ведения боевых действий. Отличие данной усовершенствованной математической модели от существующих заключается в том, что она позволит по необходимости корректировать периодичность проведения технического обслуживания и оптимизировать процесс возобновления военной техники в условиях ведения боевых действий.

Ключевые слова: *военная техника, техническое состояние, техническое обслуживание, восстановление.*

Baranov Y. M., Baranov A. M. An improvement of mathematical model of process of functioning and determination of periodicity of technical maintenance of military technique is in the conditions of conduct of battle actions

The aim of the article is an improvement of model for description of process of functioning and determination of periodicity of technical maintenance of military technique in the conditions of conduct of battle actions it follows to envisage possibility of realization of planned or on the state the types of technical service and repair of military technique in terms that does not coincide with the terms of her use on purpose in battle actions.

The improvement of mathematical model of process of functioning and determination of periodicity of technical maintenance of military technique in the conditions of conduct of battle actions was conducted by application of casual regenerating processes, the substantive provisions of the use of that are set forth below. The feature of such model is taking into account of possibility of coinciding of terms of servicing and maximal use of military technique on purpose in the conditions of conduct of battle actions. In future it gives an opportunity to perfect methodology of determination and correction of optimal periodicity of maintenance of military technique in the conditions of conduct of battle actions due to taking into account of float times that arise up through the unevenness of intensity of the use of military technique in battle actions.

Object that is served with float time, works to the refuse of that the casual size up-diffused on an arbitrary law with the expected value. In such object realization of two types of renovate works is envisaged: periodic technical service with planned-prevented measures and under abnormal condition-prophylactic (by permanent repair).

If technical service conducted for possible time, then duration of servicing belongs to available time of functioning of object, in opposite case - to the outages. In the moment of origin of refuse realization of repair, duration of that is a casual size with the function of distribution and eventual expected value, begins instantly. If duration of proceeding in an object less than than possible time that does not coincide in course of time the use on purpose in the conditions of conduct of battle actions, then refuse (blowing off functioning) of object as such ignores, and this time can be taken to available time of work of object, in opposite case - to the outages.

After completion any type of renovate works initial properties of object recommence fully, the moments of realization of next technical service replanned, and all process of service recurs. Thus the measures of technical service and renewals are conducted due to determination of float times, that the intensities of the use of military technique related to the unevenness are in the conditions of conduct of battle actions. In these cases float time for the standard of military technique is provided by a transmission on

some possible time (time of proceeding in a capacity after a refuse or time of servicing) of his functions to other objects of the system. In this case the sources of float times other types of surplus can serve as, for example, functional, loading, structural.

For the operating of object conditions set forth higher it is necessary to find analytical correlations for the select indexes of quality (coefficients of the technical use and readiness) and define optimal values and terms of realization of periodicity of service for further them correction, coming from the terms of conduct of battle actions.

Keywords: *military equipment, technical condition, maintenance, restoration.*