

УДК 355.423:623.486

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

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ І КОРЕГУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ 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 методику визначення і корегування оптимальної періодичності обслуговування військової техніки в умовах ведення бойових дій. Мета удосконаленої методики – визначення оптимальної періодичності проведення обслуговування військової техніки та за необхідності корегування його термінів проведення в умовах ведення бойових дій.

Ключові слова: військова техніка, технічний стан, технічне обслуговування, ведення бойових дій.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Удосконалення методики проводилось на основі математичної моделі, де застосовано випадковий регенеруючий процес. Особливістю такої моделі є врахування можливості співпадання термінів проведення ТО і максимального використання ВТ за призначенням в умовах ведення бойових дій. Це дало змогу удосконалити методику визначення

© Баранов Ю.

та корегування оптимальної періодичності обслуговування ВТ в умовах ведення бойових дій за рахунок урахування резервів часу, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ у бойових діях

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких розглядається дана проблема та на які опирається автор. 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 методики метою, якою є визначення оптимальної періодичності проведення обслуговування ВТ та за необхідності корегування його термінів проведення в умовах ведення бойових дій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вихідними даними для розрахунку удосконалення методики є такі:

функція розподілу наробітку t_n об'єкта до відмови $F(t)$ (чи $\bar{F}(t) = 1 - F(t)$) із математичним очікуванням \bar{t}_n ;

щільність розподілу $f(t) = F'(t)$ випадкової величини t_n ;

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

функція розподілу тривалості відновлення t_g працездатності $F_g(t)$ (чи $\bar{F}_g(t) = 1 - F_g(t)$) із математичним очікуванням \bar{t}_g ;

функція розподілу тривалості проведення ТО $\Phi(t)$ (чи $\bar{\Phi}(t) = 1 - \Phi(t)$) із математичним очікуванням \bar{t}_{TO} ;

допустимий час відновлення працездатності t_d , що не збігається з часом використання об'єкта за призначенням у бойових діях;

допустимий час проведення ТО t_{d1} , що не збігається з часом використання об'єкта за призначенням у бойових діях;

ймовірнісна кількість використання ВТ за марками n_i од. в визначений момент часу T год. по $n_v = f(T)$ чи $K_{ТВ}(T)$;

допустиме значення коефіцієнта технічної готовності $K_{ТГ}$ за визначений період бойових дій.

Прийняті такі обмеження та припущення удосконалення методики: після закінчення ТО і відновлення працездатності об'єкт повністю відновлюється;

середня тривалість відновлення працездатності об'єкта більша середньої тривалості проведення ТО ($\bar{t}_e > \bar{t}_{TO}$) чи $M \min(t_B, t_D) > M \min(t_{TO}, t_{D1})$;

до складу об'єктів ВТ входять нові зразки та ті, що пройшли КР; коефіцієнт технічної готовності $K_{ТГ}$ за визначений період бойових дій ВТ має задовольнити умову $1 \geq K_{ТГ} \geq 0,75$;

корегування періодичності проведення ТО в умовах бойових дій за рахунок визначених резервів часу, що пов'язані з нерівномірністю інтенсивності використання ВТ в умовах ведення бойових дій.

Формули для розрахунку оптимальних значень періодичності й екстремальних значень показників ефективності функціонування об'єкта. Оптимальне значення періодичності проведення ТО, при якому досягається максимальне значення коефіцієнта технічного використання, визначається як корінь рівняння:

$$\frac{\bar{t}_{TO} - M \min(t_{TO}, t_{D1})}{[\bar{t}_B - M \min(t_B, t_D)] - [\bar{t}_{TO} - M \min(t_{TO}, t_{D1})]} = -F(T) + \lambda(T) \left\{ \int_0^T \bar{F}(t) dt + \frac{\bar{t}_e M \min(t_{TO}, t_{D1}) - \bar{t}_{TO} M \min(t_e, t_D)}{[\bar{t}_e - M \min(t_e, t_D)] - [\bar{t}_{TO} - M \min(t_{TO}, t_{D1})]} \right\}, \quad (1)$$

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

$$M \min(t_e, t_D) = \int_0^{t_D} \bar{F}_e(t) dt, \quad M \min(t_{TO}, t_{D1}) = \int_0^{t_{D1}} \bar{\Phi}(t) dt.$$

Якщо рівняння (1) має єдиний корінь T^* , то

$$\max_{T_{TB}} K_{TB}(T_{TB}) = K_{TB}(T_{TB}^*) = \frac{1 + \lambda(T_{TB}^*) [M \min(t_e, t_D) - M \min(t_{TO}, t_{D1})]}{1 + \lambda(T_{TB}^*) (\bar{t}_e - \bar{t}_{TO})}. \quad (2)$$

Якщо рівняння не має коренів, то

$$T^* = \infty \text{ і } \max_{T_{TB}} K_{TB}(T_{TB}) = K_{TB}(\infty) = K_G = \frac{\bar{t}_n + M \min(t_B, t_D)}{\bar{t}_H + \bar{t}_B}. \quad (3)$$

Це означає, що абсолютний максимум комплексного показника надійності досягається, коли на об'єкті не проводиться ТО, при цьому коефіцієнт технічного використання вироджується у коефіцієнт готовності K_G .

Якщо рівняння (1) має декілька коренів $T_1^*, T_2^*, \dots, T_n^*$, то значення оптимальної періодичності буде чисельно дорівнювати одному із цих коренів чи $T^* = \infty$ залежно від того, в якій точці досягається абсолютний максимум функції $K_{TB}(T^*)$. Це легко виявити порівнянням величин $K_{TB}(T_i^*)$, $i = 1, 2, \dots, n$ і $K_{TB}(\infty)$.

Послідовність прийняття рішення відповідно до удосконалення методики:

а) стратегія ТО, що розглядається, може бути використана тільки для об'єктів із миттєвою індикацією відмов;

б) за допомогою приведеного рівняння (1) визначаємо оптимальні значення періодичності проведення ТО без урахування термінів можливості і зручності їх проведення через використання ВТ у бойових діях;

в) для визначення можливості збігу в часі оптимальної періодичності ТО для визначеної кількості зразків ВТ однієї марки n_i (од.) і ймовірністю їх використання за призначенням у цей момент часу, доцільно побудувати графік залежності $n_i = f(T)$ чи $K_{TB}(T)$ від ймовірнісної кількості використання ВТ за марками n_i (од.) по $n_i = f(T)$ та часу використання ВТ T (год), в умовах ведення бойових дій з урахуванням обмеження значення коефіцієнта готовності K_G для ВТ, що використовується;

г) якщо інтенсивність відмов $\lambda(T)$ об'єкта, який досліджується, є необмежено зростаючою монотонною функцією, то рівняння, що визначає оптимальне значення періодичності ТО, має єдиний корінь;

д) якщо наробіток об'єкта до відмови розподілений за експоненційним законом (в цьому випадку $\lambda(T) = \lambda = const$), то для такого об'єкта проведення ТО недоцільно (при цьому $T^* = \infty$);

е) якщо терміни оптимального значення періодичності ТО збігаються з термінами використання максимальної кількості ВТ, то терміни проведення ТО корегуються;

ж) корегування термінів періодичності проведення ТО проводиться за рахунок резервів часу, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ в умовах ведення бойових дій;

з) значення періодичності проведення ТО має бути максимально наближене до визначеного свого оптимального значення і проводиться в терміні мінімальної інтенсивності використання ВТ [1; 2].

Числовий приклад рішення задачі та перевірка достовірності удосконалення методики

Для розрахунку приймемо такі значення вихідних даних:

наробіток об'єкта до відмови розподілений за законом Релея

$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_n^2}\right)$ з параметром σ_n і математичним очікуванням

$\bar{t}_n = 1,248, \sigma_n = 10^3 \text{ год}$;

щільність розподілу $f(t) = F'(t) = \frac{t}{\sigma_n^2} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_n^2}\right)$;

інтенсивність відмов об'єкта $\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{T}{\sigma_n^2} = \frac{1,248T}{2\sigma_n^2}$;

тривалість відновлення працездатності t_2 і проведення ТО t_{TO} розподілені за експоненційним законом із параметрами відповідно

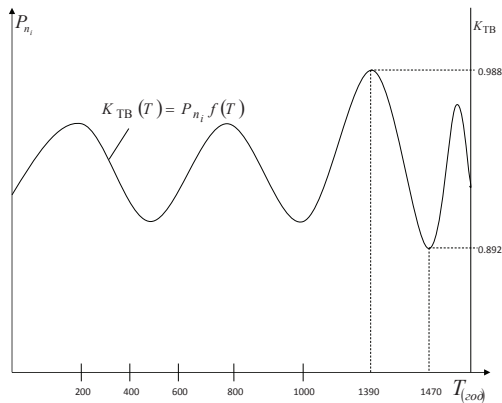
$\alpha = \frac{1}{t_g} = \frac{1}{5} \text{ год}^{-1}$ та $\gamma = \frac{1}{t_{TO}} = \frac{1}{3} \text{ год}^{-1}$;

допустимий час відновлення працездатності t_d і проведення ТО $t_d = t_{d1} = 2,5 \text{ год}$;

ймовірнісна інтенсивність P_{n_i} застосування ВТ за марками n_i , а для зручності подальшого вирішення завдання будується граф залежності $K_{TB}(T)$ чи $n_v = f(T)$ від ймовірнісної інтенсивності P_{n_i} застосування ВТ за марками n_i та часу використання ВТ T (год) в умовах ведення бойових дій (див. рисунок).

У подальшому на цій же вісі будемо відмічати знайдені оптимальні значення періодичності T_{TB}^* (год), ВТ для порівняння зі значенням інтенсивності її використання в цей момент часу.

Оскільки для прийнятих вихідних даних інтенсивність відмов $\lambda(\infty) = \infty$, то достатні умови існування абсолютного екстремуму функції виконуються, а рівняння (1) має єдиний корінь. Вирішуючи це рівняння, знаходимо оптимальні значення періодичності $T_{TB}^* = 1\,390$ год.



Граф залежності $K_{TB}(T)$ чи $n_v = f(T)$ від ймовірнісної інтенсивності P_{n_i} застосування ВТ за марками n_i та часу використання ВТ T (год) в умовах ведення бойових дій

Визначаємо далі максимальне значення коефіцієнта технічного використання за формулою:

$$K_{TB}(T_{TB}^*) = \frac{1 + (1,248 \frac{T_{TB}^*}{\bar{t}_n^2}) [\frac{1}{\mu} (1 - \exp(-\mu t_D)) - \frac{1}{\gamma} (1 - \exp(-\gamma t_{D1}))]}{1 + (1,248 \frac{T_{TB}^*}{\bar{t}_n^2}) (\bar{t}_s - \bar{t}_{TO})}$$

Підставляючи в ці формули значення вихідних даних, отримаємо $K_{TB}(T_{TB}^*) = 0,988$.

Порівнюємо в часі терміни проведення визначеної оптимальної періодичності ТО та інтенсивності використання ВТ (див. рисунок).

Якщо терміни оптимального значення періодичності ТО не збігаються з термінами використання максимальної кількості ВТ, то ТО проводиться у визначені терміни за рахунок взаємозаміни машин цієї марки. В іншому випадку, коли ці терміни збігаються або кількість машин визначеної марки обмежена, то терміни проведення ТО корегуються.

Корегування термінів періодичності проведення ТО проводиться за рахунок резервів часу, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ в умовах ведення бойових дій (див. рисунок), виходячи з умови, що значення періодичності проведення ТО має бути максимально наближене до визначеного свого оптимального значення і проводиться у терміни мінімальної інтенсивності використання ВТ. Резерв часу для зразків визначеної марки ВТ забезпечується шляхом передачі на деякий допустимий час (час відновлення працездатності після відмови або час проведення ТО) його функцій іншим зразкам ВТ цієї марки. У цьому випадку джерелами резервів часу можуть служити інші види надмірності, наприклад, функціональна, навантажувальна, структурна.

Відповідно до прикладу це значення дорівнює $T_k^* = 1470 \text{ год}$. Підставляючи в ці формули значення вихідних даних, отримаємо $K_{TB}(T_k^*) = 0,892$.

Висновки та перспективи подальших наукових розвідок у даному напрямку. Удосконалена методика дозволяє визначити умо-

ви для забезпечення працездатного стану визначеної кількості зразків ВТ, що характеризується допустимими значеннями показників надійності і технічної готовності ВТ в умовах ведення бойових дій. Отримано удосконалену методику визначення і корегування періодичності обслуговування військової техніки в умовах ведення бойових дій на відміну від існуючих методик, що не враховували можливостей збігу оптимальних строків проведення ТО з необхідністю використання максимальної кількості ВТ у бойових діях, запропонована методика враховує цю можливість та обґрунтовує можливість корегування строків проведення ТО за допомогою розрахункових співвідношень визначення резервів часу, отриманих в моделі оптимальності технічного обслуговування, що виникають через нерівномірність інтенсивності використання ВТ у бойових діях. Це визначає суть наукової новизни запропонованої методики. Удосконалена методика дозволяє визначити умови для забезпечення працездатного стану визначеної кількості зразків ВТ, що характеризується допустимими значеннями показників надійності і технічної готовності ВТ в умовах ведення бойових дій.

Список використаної літератури

1. Баранов Ю. М., Кривцун В. І., Жиров Г. Б., Солодеева Л. В. Складові науково-методичного апарату управління технічним станом військової техніки та обґрунтування показників якості управління технічним станом військової техніки. *Збірник наукових праць ВІ КНУ*. 2017. № 55. С. 52–61.

2. Баранов Ю. М. Аналіз існуючих наукових підходів щодо управління технічним станом об'єктів та шляхи їх удосконалення. *Збірник наукових праць НАДПСУ. Серія: військові та технічні науки*. 2017. № 1 (71) С. 323–332.

*Рецензент: кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник Каленик М. М.*

Баранов Ю. М. Усовершенствованная методика определения и корректировки оптимальной периодичности обслуживания военной техники в условиях ведения боевых действий

Статья подготовлена на актуальную тему, связанную с поддержанием технического состояния военной техники на должном уровне. В статье предложено усовершенствованную методику определения и корректировки оптимальной периодичности обслуживания военной техники в условиях ведения боевых действий. Цель усовершенствованной методики – определение оптимальной периодичности проведения обслуживания военной техники и при необходимости корректировки его сроков проведения в условиях ведения боевых действий.

Ключевые слова: *военная техника, техническое состояние, техническое обслуживание, ведение боевых действий.*

Baranov Y. M. **Improved methods for determining and correcting the optimal periodicity of servicing military equipment in the context of combat operations**

The article is prepared for an urgent topic, which is related to the maintenance of the technical state of military equipment at an appropriate level. In the article, the advanced method of determination and correction of optimal periodicity of military equipment maintenance in conditions of combat operations is offered. The purpose of the improved method is to determine the optimal periodicity of servicing military equipment and, if necessary, to adjust its terms of conduct in the context of conduct of hostilities.

Improvement of the technique was carried out on the basis of a mathematical model where a random regenerating process was applied. The peculiarity of such a model is to take into account the possibility of coinciding with the terms of maintenance and maximum use of military equipment for appointment in the context of the conduct of hostilities. This made it possible to improve the methodology for determining and correcting the optimal periodicity of servicing military equipment in conditions of combat operations, taking into account the time reserves that arise due to the uneven intensity of the use of military equipment in combat operations.

The purpose of the article is to improve the method of purpose, which is to determine the optimal periodicity of servicing military equipment and, if necessary, to adjust its terms of conduct in the conduct of hostilities.

The improved methodology allows to determine the conditions for ensuring the working state of a certain number of samples of military equipment, which is characterized by permissible values of indicators of reliability and technical readiness of military equipment in conditions of combat operations. The advanced method of determining and correcting the periodicity of servicing military equipment in the conditions of conducting combat operations was obtained, in contrast to the existing methods, which did not take into account the possibilities of matching the optimal terms of conducting technical maintenance with the necessity of using the maximum amount of military equipment in combat operations, the proposed method takes into account this possibility and substantiates the possibility of adjusting the terms of maintenance by means of the calculated relationships of determining the time reserves obtained in the model of optimality of maintenance that arise due to the uneven intensity of the use of military equipment in combat operations. This defines the essence of the scientific novelty of the proposed methodology. The improved methodology allows to determine the conditions for ensuring the working state of a certain number of samples of military equipment, which is characterized by permissible values of indicators of reliability and technical readiness of military equipment in conditions of combat operations.

Keywords: *military equipment, technical condition, maintenance, conduct of combat operations.*