

УДК 623.4.018

І. Л. Страшний, О. А. Наконечний, С. П. Мазін, О. В. Пархомчук

НАДІЙНІСТЬ ОЗБРОЄННЯ ПРИ ВИКОНАННІ ЗАХОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ

Запропонований метод розрахунку коефіцієнта готовності зразка озброєння у процесі виконання заходів технічного обслуговування за станом. Коефіцієнт готовності представлений як функція періоду проведення контролю граничного стану зразка озброєння, тривалості виконання відновних робіт, кількості поточних обслуговувань у період контролю граничного стану, достовірності контролю функціонування зразка під час поточного обслуговування та інтенсивності відмов у режимі очікування.

Постановка проблеми. Підтримання зразків озброєння в постійній бойовій готовності є необхідною умовою ефективного їх застосування за призначенням. Однак якщо у зразка озброєння закінчився термін служби або вичерпаний ресурс, підтримання його боеготового стану в рамках існуючої планово-попереджувальної (регламентованої) системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) істотно ускладнюється, а в деяких випадках є взагалі неможливим. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми може бути переведення зразка озброєння на технічну експлуатацію за станом (ТЕС) [1].

Основною метою ТЕС є максимальне використання запасів працездатності і надійності кожного конкретного зразка озброєння, у якого вичерпані зазначені показники, його частин і комплектуючих виробів за умов забезпечення заданого рівня ефективності застосування за призначенням і надійності, з мінімальними витратами часу, трудових і матеріальних ресурсів. Основним змістом ТЕС є періодичне проведення контролю граничного стану (КГС) зразка озброєння або його частин, виконання відновних робіт (ВР) з підтримання його працездатного стану до наступного КГС та прогнозування залишкового ресурсу. Обсяг ВР визначається за результатами КГС і може перевищувати обсяг технічного обслуговування і поточного ремонту, передбачений експлуатаційною документацією.

Важливими завданнями забезпечення необхідної ефективності ТЕС є визначення періодичності проведення КГС і оцінювання рівня надійності озброєння, що забезпечує КГС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У спеціальній літературі [1 – 4], головним чином, розглядаються методи оцінювання надійності озброєння у процесі реалізації заходів регламентованої системи ТО і Р. У роботах [1, 3] обґрунтовано зміст і принципи організації ТЕС, проте не приділено достатньої уваги методології оцінювання рівня надійності озброєння, що забезпечується.

Метою статті є розроблення методу оцінювання надійності зразка озброєння у процесі реалізації заходів ТЕС.

Виклад основного матеріалу. Надійність озброєння визначатимемо коефіцієнтом готовності, а оцінюватимемо у період між двома сусідніми КГС за результатами проведених ВР, оскільки вважатимемо, що показники надійності озброєння відновлюються практично повністю.

У функції характеристик заходів ТЕС формула коефіцієнта готовності має вигляд:

$$K_T = f(T_{\text{КГС}}, \tau_{\text{КГС+ВР}}, \lambda_{\text{оч}}, T_{\text{фк}}, \gamma, \tau_{\text{рем}}),$$

де $T_{\text{КГС}}$, $T_{\text{фк}}$ – відповідно періоди проведення КГС і поточного технічного обслуговування, причому $T_{\text{фк}} \ll T_{\text{КГС}}$ і кратний $T_{\text{КГС}}$; $\tau_{\text{КГС+ВР}}$ – сумарні витрати часу на проведення КГС і ВР у одному періоді КГС; $\lambda_{\text{оч}}$ – інтенсивність відмов зразка озброєння в режимі очікування, у такому стані зразок не використовується за призначенням, але знаходиться в готовності до бойового застосування; γ – вірогідність помилки контролю під час поточного обслуговування; $\tau_{\text{рем}}$ –

середній час ремонту зразка у разі виявлення відмови в режимі очікування у процесі чергового поточного обслуговування або під час проведення КГС, причому в останньому випадку з вірогідністю, яка дорівнює одиниці.

Часовий графік виконання заходів ТЕС у одному з періодів КГС представлений на рис. 1.

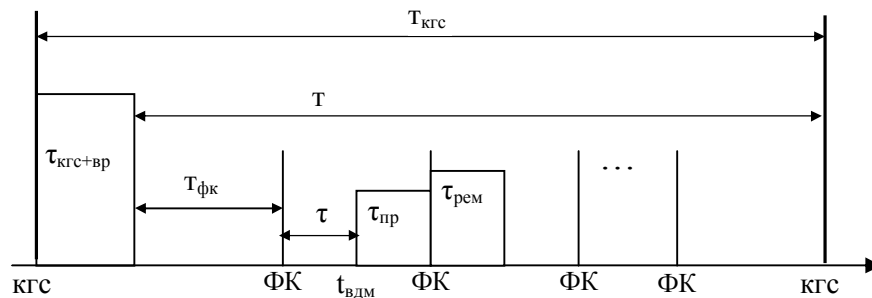


Рис. 1. Часовий графік виконання заходів ТЕС

Поточне обслуговування (ФК) проводиться з періодом $T_{\text{фк}} = T/n + 1$, де $T = T_{\text{кгс}} - \tau_{\text{кгс+вр}}$; n – кількість таких обслуговувань у одному періоді $T_{\text{кгс}}$. Відмова, що з'явилась у момент $t_{\text{вдм}}$, може бути виявлена у процесі чергового ФК. До його проведення протягом часу $\tau_{\text{пр}}$ вона матиме прихований характер. Після її виявлення проводяться ремонтні роботи з відновлення боєздатності озброєння. Середній час ремонту $\tau_{\text{рем}}$. Якщо відмова під час чергового ФК не буде виявлена, то вона не буде виявлена і у процесі подальших ФК, оскільки обсяг робіт з їх проведення залишається незмінним і визначається інструкцією з експлуатації. Усунена вона буде тільки після проведення чергового КГС.

Коефіцієнт готовності відповідно до загального визначення і умов експлуатації обчислюють за формулою:

$$K_{\text{г}} = \frac{T_{\text{спр}}}{T_{\text{кгс}}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{спр}}$ – середній час справного стану зразка у період $T_{\text{кгс}}$.

Для його визначення використовуватимемо такі припущення:

- розподіл часу між відмовами є експоненціальним з параметром $\lambda_{\text{оч}}$;
- відмова, що призводить до порушення боєготовності зразка, може з'явитися під час першого ФК або другого і т. д.; якщо її виявили під час чергового ФК і усунули, поява відмов протягом інших ФК маловірогідна, а якщо не виявили, їх поява значення не має, оскільки зразок вже є несправним;
- середній час прихованого існування відмови $\tau_{\text{пр}}$ за умови її виявлення протягом чергового ФК вважатимемо $T_{\text{фк}}/2$.

Порядок визначення $T_{\text{спр}}$ розглянемо на окремому прикладі, коли у періоді $T_{\text{кгс}}$ проводиться два ФК ($n = 2$), а потім складемо формулу для довільного n . Оцінюватимемо $T_{\text{спр}}$ з урахуванням двох можливих несумісних ситуацій.

1. Відмови у періоді T не буде, тоді $T_{\text{спр}} = T$. Вірогідність такої ситуації $P(T) = \exp(-\lambda_{\text{оч}} \cdot T)$.

2. Відмова у періоді T буде. Вірогідність такої ситуації $1 - P(T)$. Якщо відмова виникне у першому періоді ФК (див. рис. 1), у разі виявлення її під час чергового ФК час справного стану зразка дорівнюватиме $\tau + 2T_{\text{фк}} - \tau_{\text{рем}}$. Якщо відмова не буде виявлена черговим ФК – час справного стану дорівнюватиме τ . Середній час справного стану зразка у разі виникнення відмови у першому періоді в результаті дорівнюватиме

$$T_{\text{спр1}} = \left(\frac{5}{2} T_{\text{фк}} - \tau_{\text{рем}} \right) (1 - \gamma) + \frac{T_{\text{фк}}}{2} \cdot \gamma. \quad (2)$$

Вірогідність появи відмови у першому періоді і не появи її у інших періодах $T_{\text{фк}}$, за умови відмови у періоді T , дорівнює

$$P_1 = \frac{(1 - P(T_{\text{фк}})) \cdot P(2T_{\text{фк}})}{1 - P(T)}. \quad (3)$$

У разі появи відмови тільки у другому періоді $T_{\text{фк}}$ середній час справного стану зразка дорівнюватиме

$$T_{\text{спр2}} = \left(\frac{5}{2} T_{\text{фк}} - \tau_{\text{рем}} \right) (1 - \gamma) + \frac{3}{2} T_{\text{фк}} \cdot \gamma, \quad (4)$$

а вірогідність такої події за умови відмови зразка у періоді T визначатиметься виразом

$$P_2 = \frac{1}{1 - P(T)} \left[1 - \frac{P(2T_{\text{фк}})}{P(T_{\text{фк}})} \right] P(T_{\text{фк}}) = \frac{P(T_{\text{фк}}) - P(2T_{\text{фк}})}{1 - P(T)}. \quad (5)$$

У разі виникнення відмови тільки у третьому періоді час справного стану дорівнюватиме $T_{\text{спр3}} = \frac{5}{2} T_{\text{фк}}$. Вірогідність такої події визначатиметься аналогічно і дорівнюватиме

$$P_3 = \frac{1}{1 - P(T)} \left[1 - \frac{P(3T_{\text{фк}})}{P(2T_{\text{фк}})} \right] = \frac{1 - P(T_{\text{фк}})}{1 - P(T)}. \quad (6)$$

Враховуючи, що $\sum_{i=1}^3 P_i = 1$ (повна група подій), вираз для $T_{\text{спр}}$ запишемо у вигляді

$$T_{\text{спр}} = T \cdot P(T) + (1 - P(T)) \cdot (T_{\text{спр1}} P_1 + T_{\text{спр2}} P_2 + T_{\text{спр3}} P_3). \quad (7)$$

Підставляючи (7) у (1) і переходячи до довільного n , отримаємо вираз для коефіцієнта готовності в процесі реалізації ТЕС в умовах вказаних обмежень, які не можна вважати строгими

$$K_{\Gamma} = \frac{1}{T + \tau_{\text{кгс+вр}}} \cdot \left[\begin{aligned} & TP(T) + (1 - P(T_{\text{фк}})) \cdot \\ & \left[\sum_{k=1}^{n-1} \left(\frac{(2n+1)T}{2(n+1)} - \tau_{\text{рем}} \right) \cdot \right. \\ & \left. \cdot (1 - \gamma) + \frac{(2k+1)\gamma T}{2(n+1)} \right] \cdot \\ & \cdot P(T_{\text{фк}})^{n-k} + \frac{(2n+1)T}{2(n+1)} \cdot \\ & \cdot P(T - T_{\text{фк}}) \end{aligned} \right] \quad (8)$$

На рис. 2 наведені графіки залежності коефіцієнта готовності від кількості поточних обслуговувань у періоді $T_{\text{кгс}}$ для двох значень вірогідності помилки контролю під час поточного обслуговування $\gamma = 0$ і $\gamma = 0,5$.

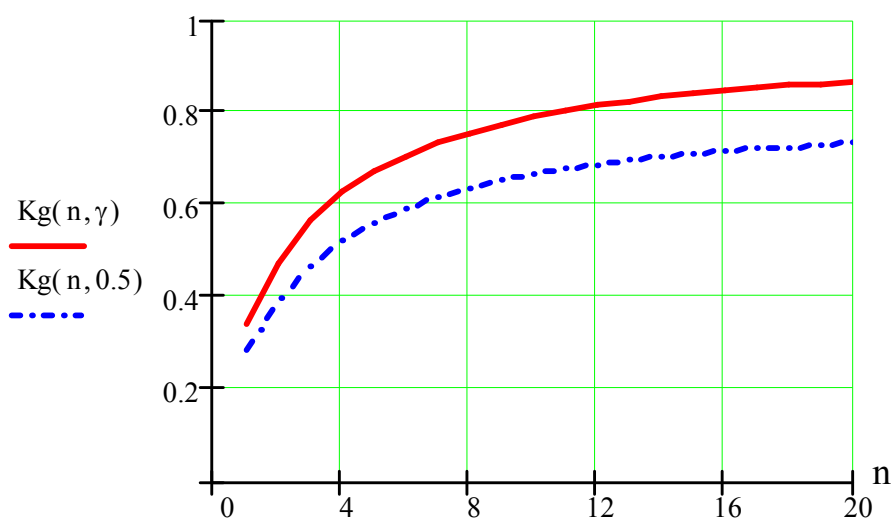


Рис. 2. Графіки залежності коефіцієнта готовності від кількості поточних обслуговувань у періоді КГС

Із зменшенням періоду проведення поточного обслуговування (збільшенням n) коефіцієнт готовності зростає, що пояснюється зменшенням часу прихованого існування відмов. З графіків також виходить, що за будь-якого ступеня автоматизації контролю у рішенні про його результати необхідно враховувати всю доступну додаткову інформацію. У разі недостатньо достовірного контролю необхідно проводити додаткові перевірки, які доцільно передбачити у процесі організації експлуатації озброєння за станом.

Висновки

Отриманий вираз (8) для коефіцієнта готовності озброєння у процесі реалізації заходів ТЕС може бути використаний для:

– визначення доцільних характеристик системи ТЕС $(T_{кгс}, \tau_{кгс+вр}, T_{фк}, \tau_{рем})$, що забезпечать необхідне значення коефіцієнта готовності у разі заданих значень характеристик надійності озброєння;

– оцінювання забезпечуваної надійності озброєння під час реалізації характеристик системи ТЕС, визначених нормативними документами.

Список використаних джерел

1. Техническая эксплуатация летательных аппаратов / под ред. Н. Н. Смирнова. – М. : Транспорт, 1990. – 424 с.
2. Демьянчук В. С. Надежность обслуживаемых радиоэлектронных систем / В. С. Демьянчук, С. М. Броди. – К. : Вища шк., 1976.
3. Барзелович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзелович. – М. : Высш. шк., 1982. – 231 с.
4. Моделирование процессов технического обслуживания сложных восстанавливаемых объектов радиоэлектронной аппаратуры / В. О. Браун, К. Ф. Боряк, О. В. Лантвойт, В. Н. Цыцарев // Вісник інженерної академії України. – 2008. – № 2 – С. 8–14.

Стаття надійшла до редакції 17.12.2009 р.