

УДК 681.3(07)

І.В. Толок,
кандидат педагогічних наук

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ ВІДНОВЛЮВАНИХ ОБ'ЄКТІВ АВТО- ТА БРОНЕТЕХНІКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОЇ СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ

У статті наведені результати вдосконалення процесу технічного обслуговування складного відновлюваного об'єкта авто- та бронетехніки за допомогою імітаційної статистичної моделі. Дослідження проведене на прикладі тестового об'єкта, що має ієрархічну конструктивну структуру. Як результати досліджень отримані залежності для найбільш важливих показників якості процесу технічного обслуговування.

Ключові слова: технічне обслуговування, авто- та бронетехніка, імітаційна модель, показники якості.

В статье приведенные результаты усовершенствования процесса технического обслуживания сложного восстанавливаемого объекта авто- и бронетехники с помощью имитационной статистической модели. Исследование приведено на примере тестового объекта, который имеет иерархическую конструктивную структуру. Как результаты исследований получены зависимости для наиболее важных показателей качества процесса технического обслуживания.

Ключевые слова: техническое обслуживание, авто- и бронетехника, имитационная модель, показатели качества.

In the papere the results of an improvement of the process of technical maintenance of difficult refurbishable object of auto- and armoured technique by means of simulation statistical model are stated. Research is carried out on the example of test object that has got an hierarchical structural structure. As results of researches several dependences for the most of essential indexes of the quality of process of technical service are got

Keywords: technical service, auto- and armoured technique, simulation model, indexes of quality.

Вступ та постановка завдання

Ефективне використання складної військової техніки тривалої експлуатації потребує організації оптимальної системи її технічного обслуговування і ремонту (ТОіР). При цьому виникає протиріччя між обсягом ТОіР та його собівартістю. Для розв'язання цього протиріччя необхідно проводити математичне моделювання процесів ТОіР. Особливо гостро ця проблема стоїть для об'єктів авто- та бронетехніки (далі – об'єктів). Сьогодні експлуатується велика кількість і номенклатура таких об'єктів, більшість з яких виготовлені у 90-ті, 80-ті і навіть 70-ті роки минулого століття. Деякі з них експлуатувались, а значна частка

стояла на збереженні і особливо потребує ретельного обслуговування, ремонту та модернізації. Тобто існує науково-технічна проблема, яку слід терміново розв'язати.

Ця стаття спрямована на розроблення імітаційної статистичної моделі складного відновлюваного об'єкта авто- та бронетехніки, за допомогою якої можна визначати (прогнозувати) показники якості (ПЯ), що характеризують цей процес, при заданих властивостях надійності об'єкта й різних значень параметрів системи технічного обслуговування (СТО).

Визначення основних результатів. У якості ПЯ процесу технічного обслуговування (ТО) будемо використовувати такі показники:

- T_0 – середній наробіток на відмову;
- K_r – коефіцієнт готовності;
- $K_{тв}$ – коефіцієнт технічного використання;
- $c_{уд}$ – питома вартість експлуатації об'єкта;
- K_e – коефіцієнт ефективності ТО [1; 2].

Показники T_0 і K_r є показниками надійності, однак вони містять у собі досить важливу інформацію про якість процесу ТО. Усі зазначені ПЯ оцінюються за допомогою імітаційної статистичної моделі на заданому періоді експлуатації об'єкта $T_{мод}$. Вочевидь, що значення показників значною мірою залежать від параметрів надійності об'єкта і від параметрів СТО.

Узагальненими параметрами надійності об'єкта є його конструктивна та надійнісна структура та показники надійності складових вузлів і елементів. Конструктивна структура об'єкта задається деревом складеності конструктивних елементів [2]. Дуже наочно це показано на прикладі складних виробів радіоелектронного озброєння, оскільки вони складаються з радіоелементів, електроприладів, гідроприладів тощо, у тому числі, авто- та гусеничної техніки [4]. Коренем дерева є об'єкт у цілому, а вершини дерева – це конструктивні елементи різних рівнів складності. Як ПЯ для кожного конструктивного елемента нижнього рівня задаються: вид закону розподілу наробітку до відмови, середній наробіток до відмови та коефіцієнт варіації. Для всіх інших елементів старших рівнів ПЯ розраховуються програмно з урахуванням надійнісної структури кожного з елементів [3; 4]. Більш детально параметри надійності об'єкта не розглядаються, тому що задача полягає в дослідженні впливу параметрів СТО.

Як параметри СТО приймемо обсяг ТО, що задається множиною елементів $E_{то}$, що обслуговуються, періодичність проведення ТО $T_{то}$ та кількість видів ТО $N_{то}$. Формально СТО будемо представляти такою множиною:

$$СТО = \{E_{тоj}, T_{тоj}, \tau_{дж}, C_{дж}; j = \overline{1, N_{то}}\}, \quad (1)$$

де $E_{тоj}$ – множина елементів об'єкта, які обслуговуються (обновляються) при ТО j -го виду;

$T_{тоj}$ – періодичність ТО j -го виду;

$\tau_{дж}$ – витрати часу на діагностування об'єкта при ТО j -го виду;

$C_{дж}$ – вартість діагностування при ТО j -го виду;

$N_{то}$ – кількість видів ТО.

Кожний із наведених вище ПЯ процесу ТО є функцією від параметрів надійності об'єкта і параметрів СТО. Тому далі визначимо розрахункові співвідношення, які описують ці функції.

Основні розрахункові співвідношення для ПЯ процесу ТО. Середній наробіток на відмову T_0 визначається таким чином:

$$T_0(H_{\text{над}}, CTO) = T_{\text{мод}} / \bar{n}_{\text{отк}}(H_{\text{над}}, CTO), \quad (2)$$

де $H_{\text{над}}$ – узагальнений параметр, який представляє дані про надійність об'єкта, що закладена в базі даних моделі;

CTO – узагальнений параметр, який визначає параметри СТО (1);

$\bar{n}_{\text{отк}}(H_{\text{над}}, CTO)$ – середня кількість відмов об'єкта, що виникають на інтервалі експлуатації $T_{\text{мод}}$.

Коефіцієнт готовності K_r відповідно до визначення [5] обчислюється за формулою:

$$K_r(H_{\text{над}}, CTO) = 1 - \bar{t}_{\text{в}\Sigma}(H_{\text{над}}, CTO) / (T_{\text{мод}} - \bar{t}_{\text{то}\Sigma}(CTO)), \quad (3)$$

де $\bar{t}_{\text{в}\Sigma}(H_{\text{над}}, CTO)$ – середня сумарна тривалість відновлення об'єкта (сумарний час перебування об'єкта в непрацездатному стані) протягом періоду експлуатації $T_{\text{мод}}$;

$\bar{t}_{\text{то}\Sigma}(CTO)$ – середня сумарна тривалість перебування об'єкта у стані ТО.

Коефіцієнт технічного використання $K_{\text{ТВ}}$ відповідно до визначення у [5] обчислюється за формулою:

$$K_{\text{ТВ}}(H, CTO) = 1 - (\bar{t}_{\text{в}\Sigma}(H, CTO) + \bar{t}_{\text{то}\Sigma}(CTO)) / T_{\text{мод}}. \quad (4)$$

Питома вартість експлуатації $c_{\text{уд}}$ визначається як сума:

$$c_{\text{уд}}(H_{\text{над}}, CTO) = c_{\text{удв}}(H_{\text{над}}, CTO) + c_{\text{удто}}(CTO), \quad (5)$$

де $c_{\text{удв}}(H_{\text{над}}, CTO)$ – питомі витрати вартості на відновлення поточних відмов об'єкта;

$c_{\text{удто}}(CTO)$ – питомі витрати вартості на виконання робіт ТО.

Якщо у (5) не визначати накладні витрати, то коефіцієнт ефективності ТО буде мати вираз:

$$K_e(H_{\text{над}}, CTO) = (T_0(H_{\text{над}}, CTO) - T_0(H_{\text{над}}, \emptyset)) / (T_0(H_{\text{над}}, \emptyset) \cdot c_{\text{удто}}(CTO)), \quad (6)$$

де $T_0(H_{\text{над}}, \emptyset)$ – середній наробіток на відмову об'єкта у випадку, якщо ТО не проводиться.

Показник K_e має сенс відносного збільшення показника безвідмовності об'єкта (середнього наробітку на відмову T_0), одержуваного за рахунок проведення ТО, що приходить на одиницю питомої вартості витрат на ТО.

Розглянемо тепер більш детально окремі складові, що входять у вирази (2)–(6).

Величини $\bar{n}_{\text{отк}}(H_{\text{над}}, CTO)$ і $\bar{t}_{\text{в}\Sigma}(H_{\text{над}}, CTO)$ утворюються як прямий результат статистичного моделювання й додаткових пояснень не вимагають.

Величина $\bar{t}_{\text{то}\Sigma}(CTO)$ обчислюється таким чином:

$$\bar{t}_{\text{то}\Sigma}(CTO) \cong T_{\text{мод}} \sum_{j=1}^{N_{\text{то}}} \frac{\tau_{\text{то}j}}{T_{\text{то}j}}, \quad (7)$$

де $\tau_{\text{ТО } j}$ – тривалість ТО j -го виду.

Величина $\tau_{\text{ТО } j}$ залежить від обсягу ТО й обчислюється за формулою:

$$\tau_{\text{ТО } j} = \sum_{i \in I_{\text{ТО } j}} [\tau_{\text{ТО } ij}(1 - p_{\text{зам } i}) + \tau_{\text{зам } i} p_{\text{зам } i}] + \tau_{\text{д } j}, \quad (8)$$

де $\tau_{\text{ТО } ij}$ – тривалість операції по обслуговуванню i -го елемента при ТО j -го виду;
 $p_{\text{зам } i}$ – імовірність того, що при ТО буде потрібна заміна i -го елемента;

$\tau_{\text{зам } i}$ – тривалість операції заміни i -го елемента;

$I_{\text{ТО } j}$ – множина номерів (індексів) елементів, які обслуговуються (оновляються) при ТО j -го виду.

Величина $c_{\text{уд в}}(H_{\text{над}}, \text{СТО})$ – питома вартість витрат на відновлення відмов, визначається за формулою:

$$c_{\text{уд в}}(H_{\text{над}}, \text{СТО}) = \sum_{i \in I_E} \bar{\omega}_i(H, \text{СТО}) \cdot (C_{0i} + C_{\text{зам } i}), \quad (9)$$

де $\bar{\omega}_i(H_{\text{над}}, \text{СТО})$ – середнє значення параметра потоку відмов i -го елемента (отримується в результаті статистичного моделювання);

C_{0i} – вартість i -го елемента;

$C_{\text{зам } i}$ – вартість робіт із заміни i -го елемента;

I_E – множина номерів усіх елементів об'єкта РЕТ (елементи, відмови яких моделюються).

Величина $c_{\text{уд то}}(\text{СТО})$ – питома вартість витрат на проведення ТО, визначається таким чином:

$$c_{\text{уд то}}(\text{СТО}) = \frac{1}{T_{\text{мод}}} \sum_{j=1}^{N_{\text{ТО}}} \left[T_{\text{ТО } j} \sum_{i \in I_{\text{ТО } j}} [(C_{0i} + C_{\text{зам } i}) p_{\text{зам } i} + C_{\text{ТО } ij}(1 - p_{\text{зам } i})] + C_{\text{д } j} \right], \quad (10)$$

де $I_{\text{ТО } j}$ – множина номерів елементів, які обслуговуються (оновляються) при ТО j -го виду;

$C_{\text{ТО } ij}$ – вартість робіт ТО i -го елемента. Інші позначення в (10) були визначені вище.

Результати моделювання. Як тестовий об'єкт для моделювання витрат вибрано автомобіль ГАЗ-66 [6; 7]. Усі вихідні дані, що використовуються в (7) – (10), беруться із БД моделі.

Тимчасові та вартісні показники для всіх елементів умовно задаємо однаковими. У БД моделі введені такі значення показників:

$$\tau_{\text{зам } i} = 1 \text{ год}; \quad \tau_{\text{ТО } ij} = 1 \text{ год}; \quad C_{0i} = 10 \text{ у.о.}; \quad C_{\text{зам } i} = 1 \text{ у.о.}; \quad C_{\text{ТО } ij} = 1 \text{ у.о.}$$

Дослідження полягає в багаторазовому моделюванні процесу ТО для вибраного тестового об'єкта з метою одержання значень ПЯ при різних значеннях параметрів СТО.

Моделювання робилося при таких значеннях параметрів моделювання: $T_{\text{мод}} = 20$ років – період експлуатації об'єкта;

$\Delta t = 6$ міс – величина інтервалів часу, в яких робиться нагромадження статистики про відмови;

$N_I = 1000$ – кількість ітерацій моделювання.

Параметри СТО задавалися наступними: $N_{TO} = 1$; $\tau_{dj} = 1$ год; $C_{dj} = 1$ у.о.

Періодичність ТО T_{TO} варіювалася в межах від 1 до 8 міс.

Результати моделювання наведені на рис. 1, 2, 3.

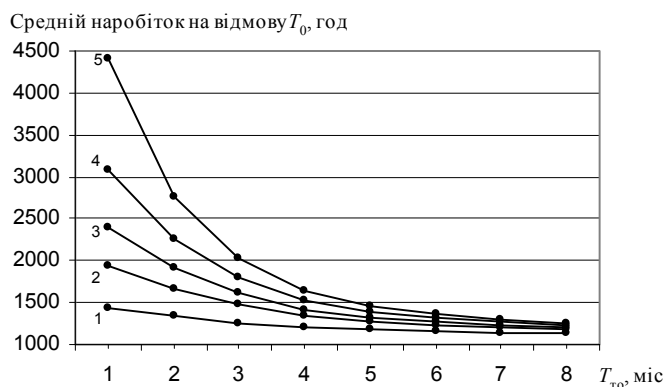


Рис. 1. Розподіл середнього наробітку на відмову T_{TO} год

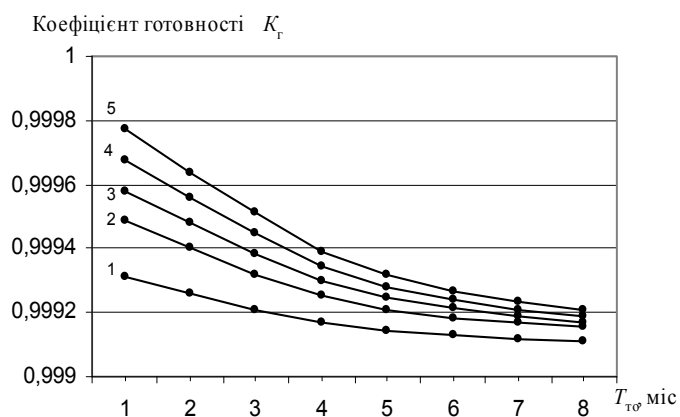


Рис. 2. Розподіл коефіцієнта готовності K_T

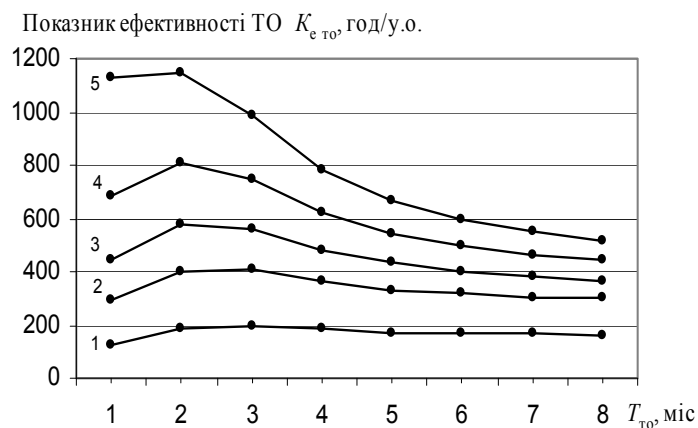


Рис. 3. Розподіл показників ефективності ТО $K_{с\ TO}$, год/у.о.

Наведені графіки ПЯ дають вичерпну інформацію про властивості досліджуваного процесу ТО та про вплив на процес параметрів СТО. Так, видно, що значення ПЯ T_0 і K_T завжди зменшуються при збільшенні періодичності ТО ($T_{то}$) і при зменшенні обсягу ТО ($E_{то}$). Ця закономірність очевидна з фізичних міркувань і не залежить від почасових і вартісних характеристик елементів об'єкта та параметрів СТО [4].

Величина коефіцієнта технічного використання $K_{тв}$ зростає при збільшенні періодичності $T_{то}$. Це свідчить про те, що сумарний час простою об'єкта в непрацездатному стані зумовлено переважно простоями на ТО – при збільшенні періодичності ТО $T_{то}$ частка часу простою, що припадає на ТО, убуває (за інших рівних умов) і пропорційно цьому зростає величина $K_{тв}$.

Висновок

1. Імітаційна статистична модель процесів ТОiР, що розроблена, досить адекватна реальності й може бути корисним інструментом для аналізу процесів ТО складних відновлюваних об'єктів авіа- та бронетехніки.

2. При аналізі процесів ТО складного об'єкта недостатньо обмежуватися деякими окремими “надійнісними” або “вартісними” показниками. Необхідно досліджувати сукупність ПЯ, які спільно характеризують найбільш важливі властивості процесу ТО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Толоч І.В. Определение системы технического обслуживания и ремонта автомобильной техники на предприятиях Министерства обороны Украины и ее критерии эффективности / И.В. Толоч // Система управління, навігації та зв'язку. – К. : Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. – Вип.4(8). – С. 95–97.

2. Браун В.О. Моделирование процессов технического обслуживания сложных восстанавливаемых объектов радиоэлектронной техники / В.О. Браун, К.Ф. Боряк, О.Б. Лантвойт, В.Н. Цыцарев // Вісник інженерної академії України. – К., 2008. – № 1. – С.47–52.

3. Толоч І.В. Построение информационной базы системы технического обслуживания и ремонта автомобильной техники / И.В. Толоч // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – Харків, 2008. – Вип.3(8). – С.146–148.

4. Боряк К.Ф. Постановка задачі оптимізації технічного обслуговування складних відновлюваних об'єктів радіоелектронної техніки / К.Ф. Боряк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2008. – № 12. – С. 5–10.

5. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.

6. Толоч І.В. Анализ диагностирования технического состояния автомобильной техники / И.В. Толоч // Журнал Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба “Системи обробки інформації”. – Харків, – 2008. – № 6(73). – С. 124–126.

7. Зінчик А.Г. Вибір автомобільних транспортних засобів для комплектування підрозділів Збройних Сил України із використанням математико-статистичних методів експертного оцінювання / А.Г. Зінчик // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2009. – № 20. – С. 45–50.

Отримано 09.11.2016

Рецензент Рибальський О.В., д.т.н.