

ІМІТАЦІЙНА СТАТИСТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ "ЗА СТАНОМ" СКЛАДНОГО ОБ'ЄКТУ ОЗБРОЄННЯ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ, ЩО ВІДНОВЛЮЄТЬСЯ

Розглядається імітаційна статистична модель процесу технічного обслуговування "за станом" складного об'єкта озброєння і військової техніки, що відновлюється. Моделюється загальний випадок, коли технічному обслуговуванню піддаються всі елементи, що потенційно обслуговуються. Обслуговування елементів імітується у випадкові моменти часу, які кратні періодичності контролю, по мірі того, як залишковий ресурс елемента знижується. Розроблена модель розглядається як оціночна, за допомогою якої можна дослідити властивості обслуговування конкретних об'єктів.

Ключові слова: імітаційна статистична модель, технічне обслуговування, складний об'єкт озброєння і військової техніки.

Вступ та постановка задачі. Під складними засобами озброєнь і військової техніки (ОіВТ), що відновлюється, розуміється вироби та системи військового призначення тривалої експлуатації, які потребують проведення технічного обслуговування і ремонту (ТОіР), а також можуть бути модернізованими та оновленими. Такі вироби і системи повинні мати потрібний технічний ресурс для якісного виконання своїх функціональних властивостей та бойового завдання. Для вчасного ТОіР необхідно мати відповідну науково-методичну базу [1,2].

У наведеній статті пропонується імітаційна статистична модель (ІСМ) процесу ТОіР "за станом" об'єкту ОіВТ.

Основні результати. Суть ІМС можна пояснити за допомогою графа станів і переходів, що описує процес, який моделюється (рис. 1).

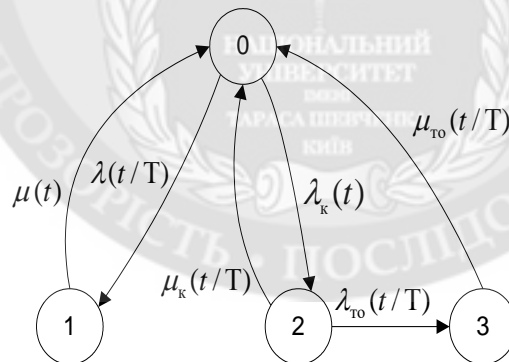


Рис. 1. Спрощений граф станів і переходів процесу ТО «за станом»

На графі:

- 0 – об'єкт працездатний і застосовується за призначенням;
- 1 – об'єкт відмовив, виконується його відновлення (поточний ремонт);
- 2 – виконується контроль технічного стану;

3 – виконується технічне обслуговування об'єкту.

Головна складність, що не дозволяє реалізувати цю математичну модель аналітично, полягає в тому, що невідомими є інтенсивності переходів між станами, які залежать як від часу, так і від векторного параметра T , що характеризує поточний технічний стан об'єкту. Розглянемо алгоритм ІСМ реалізацій моделі процесу ТОіР "за станом" на прикладі простого об'єкту ОіВТ. Для моделі початковою інформацією є наступна:

1. Параметри об'єкту, що включають:

1.1. Показники безвідмовності складовий (елементів):

$T_{срi}$ - середня наробка до відмов i -го елемента ($i = \overline{1, n}$, n – кількість всіх елементів об'єкта);

V_i - коефіцієнт варіації розподілу наробки до відмов.

1.2. Показники ремонтпридатності елементів:

$T_{ві}$ - середній час відновлення;

$\tau_{тоi}$ - середня тривалість ТОіР.

1.3. Показники вартості:

C_i - вартість елемента;

$C_{тpi}$ - вартість операції поточного ремонту (заміни) елемента;

$C_{тоi}$ - вартість операції ТО елемента.

2. Параметри користувача:

$C_{п}^0$ - питома вартість витрат (витрати в одиницю часу), яку має система, що використовує цей об'єкт, якщо об'єкт знаходиться в стані відмови;

$T_з$ - задана тривалість експлуатації об'єкту;

$E_{то}$ - підмножина потенційно обслуговуваних елементів. У процесі моделювання імітуватиметься ТОіР тільки для елементів, включених в цю множину. У множину $E_{то}$ доцільно включати найменш надійні елементи і конструктивно пристосовані до їх обслуговування (заміни) в умовах експлуатації.

3. Параметри, що керуються:

$u_i^{то}$ - рівень ТОіР, що показує як відносна доля використаного ресурсу елемента, свідчить, що потрібно проводити ТОіР [2,3];

T_k - періодичність контролю об'єкту.

До вхідної інформації моделі також відносяться параметри моделювання. Вихідною інформацією моделі є оцінки показників [4]:

T_0 - середня наробка на відмову об'єкту;

K_r - коефіцієнт готовності;

$K_{ти}$ - коефіцієнт технічного використання;

$c_{уд}$ - питома вартість експлуатації.

Алгоритм ІСМ наведений на рис. 2.

Оператор 1 здійснює введення початкових даних. Оператор 2 встановлює початкові значення усіх змінних, в яких накопичуватиметься необхідна статистика. Встановлюється початкове значення змінної N_i – кількість виконаних ітерацій моделювання. Одна ітерація

модельовання відповідає одноразовій імітації процесу експлуатації об'єкту (процесу відмов-відновлень) впродовж заданого часу T_3 .

Оператор 3 генерує випадкові моменти часу перших відмов усіх елементів об'єкту t_i ($i = \overline{1, n}$, де n – кількість елементів об'єкта) та зберігає їх в спеціальному масиві, який прийнято називати "календарем подій" [5]. У цей же масив дописується значення моменту часу першого контролю $t_k = T_k$. Сформований таким чином календар подій є множиною $\{t_1, t_2, \dots, t_n, t_k\}$, елементами якого є поточні значення моментів часу усіх запланованих модельних подій.

Для генерування випадкових моментів часу відмов елементів використовується датчик випадкових чисел, DN-, що підкоряються розподілу [6]. Параметрами DN-розподілу є: T_{cpi} - математичне очікування (параметр масштабу), и V_i - коефіцієнт варіації (параметр форми).

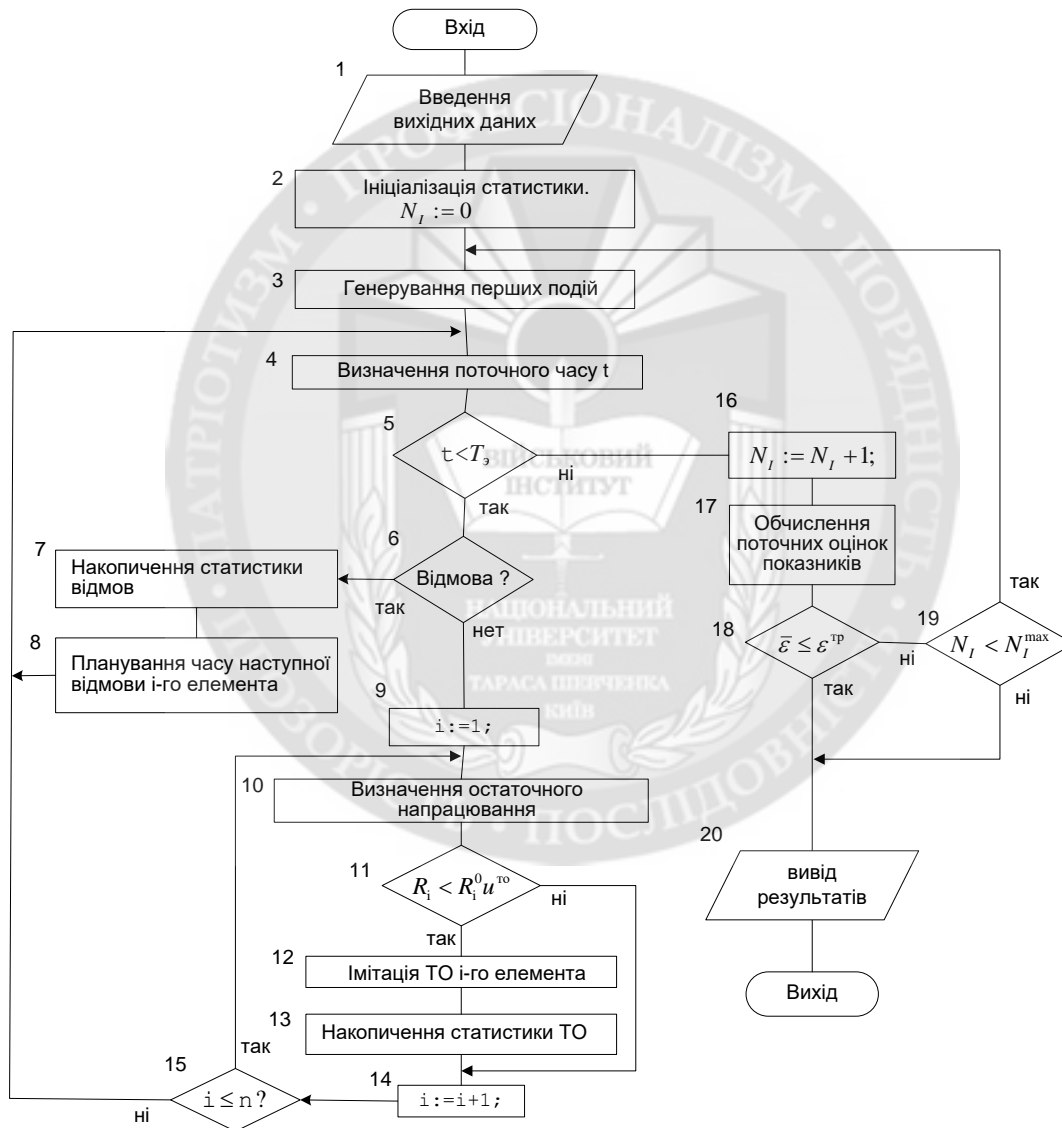


Рис. 2. Алгоритм імітаційної статистичної моделі

Оператор 4 визначає поточний модельний час t шляхом пошуку найменшого значення в календарі подій : $t = \min \{t_1, t_2, \dots, t_n, t_k\}$.

Оператор 5 перевіряє умову завершення поточної ітерації моделювання. Якщо $t < T_3$, то поточна ітерація ще не завершилася, і далі виконуються оператори 6-15.

Оператор 6 перевіряє, чи є поточна подія відмовою. Якщо так, то виконуються оператори 7 і 8, які обробляють цю подію. Обробка події "відмова" полягає в накопиченні статистики відмов і планування часу наступної відмови i -го елемента.

Планування часу наступної відмови проводиться наступним оператором:

$$t_i := t + GEN_DN(T_{cpi}, v_i), \quad (1)$$

де t_i - новий запланований час відмов i -го елемента;

$GEN_DN(T_{cpi}, v_i)$ - функція, що повертає реалізацію випадкової величини, підпорядкованою DN- розподілу з параметрами T_{cpi} та v_i . Функція реалізована відповідно до алгоритмів, описаних в [4].

Попереднє значення t_i зберігається в пам'яті в змінній t_{0i} тобто в масиві T.

Якщо поточна подія є подією "контроль", оператор 6 передує управління операторам 9-15, які імітують контроль ТОіР об'єкта в момент часу t . Операторами 9, 14 і 15 створюється цикл, в якому проводиться перебір елементів об'єкта (i - номер елемента). Оператор 10 визначає еквівалентний кінцевий ресурс i -го елемента:

$$R_i := t_i - t, \quad (2)$$

де t_i - запланований випадковий час відмов i -го елемента;

t - поточний модельний час.

Оператор 11 перевіряє умови необхідності проведення ТО і Р (заміни) i -го елемента:

$$R_i < R_i^0 u^{to}, \quad (3)$$

де R_i^0 - початковий ресурс i -го елемента, що дорівнює T_{cpi} ;

u^{to} - рівень ТОіР, який визначається як відносна величина кінцевого ресурсу елемента, при досягненні якого, повинно проводити ТОіР (див. [1]).

Якщо умова (3) виконується, оператор 12 імітує ТОіР i -го елемента (виконуються дії, аналогічні оператору 8), а оператор 13 накопичує статистику ТОіР.

Оператори 14-15 забезпечують перехід до моделювання ТОіР наступного елемента. Після завершення перебору всіх елементів оператор 15 повертає керування оператору 4.

Якщо при виконанні оператора 5 виявляється, що $t \geq T_3$, це означає, що поточна ітерація моделювання завершилася. Управління передається операторам 16-20. Оператор 16 підраховує кількість виконаних ітерацій N_I . Оператор 17 обчислює поточні оцінки результуючих показників ($T_0, K_r, K_{тн}, c_{уд}$). Оператори 18, 19 забезпечують завершення процесу моделювання. Оператор 18 перевіряє умову досягнення необхідної точності результатів моделювання (відносна помилка оцінки середньої кількості відмов об'єкта $\bar{\varepsilon}$ досягла потрібного значення $\bar{\varepsilon}^{tp}$). Оператор 19 завершує процес моделювання у разі, якщо задана точність результатів моделювання не досягла заданої вимоги, але при цьому досягнуто задане обмеження на максимальну кількість виконаних ітерацій N_I^{max} .

Обчислення підсумкових показників проводиться наступним чином.

Середня наробка на відмову:

$$T_0 = \frac{T_3 \cdot N_I}{n_{\text{отк}\Sigma}}, \quad (4)$$

де $n_{\text{отк}\Sigma}$ - накопичувана сумарна кількість відмов.

Коефіцієнт готовності:

$$K_r = \frac{T_3 N_I}{T_3 N_I + t_{\text{в}\Sigma}}, \quad (5)$$

де $t_{\text{в}\Sigma}$ - накопичує сумарний час відновлення.

Коефіцієнт технічного використання:

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_3 N_I - t_{\text{в}\Sigma} - t_{\text{то}\Sigma}}{T_3 N_I}, \quad (6)$$

де $t_{\text{то}\Sigma}$ - накопичувальний сумарний час ТОіР.

Питома вартість експлуатації:

$$c_{\text{уд}} = \frac{C_{\text{в}\Sigma} + C_{\text{то}\Sigma}}{T_3 N_I}, \quad (7)$$

де $C_{\text{в}\Sigma}$ и $C_{\text{то}\Sigma}$ - накопичені сумарні витрати вартості на поточний ремонт (відновлення) і ТОіР, які обчислюються за формулами:

$$C_{\text{в}\Sigma} = \sum_{j=1}^{N_I} \sum_{i=1}^n C_{0i} n_{\text{отк}ij}, \quad (8)$$

де C_{0i} - вартість i -го елемента, враховуючи вартість ремонту (заміни);

$n_{\text{отк}ij}$ - кількість відмов i -го елемента в j -ій ітерації моделювання.

$$C_{\text{то}\Sigma} = \sum_{j=1}^{N_I} \sum_{i=1}^n C_{\text{то}i} n_{\text{то}ij}, \quad (9)$$

де $C_{\text{то}i}$ - вартість робіт ТОіР i -го елемента, враховуючи, можливо, і вартість елемента;

$n_{\text{то}ij}$ - кількість ТОіР i -го елемента в j -ій ітерації моделювання.

Основними показниками, що впливають на точність оцінок показників (4)-(7), є кількість відмов об'єкта. Тому доцільно в якості критерію зупинки процесу моделювання приміняти відносну помилку оцінки кількості відмов об'єкта протягом заданого періоду експлуатації. Оцінки математичного очікування та дисперсії кількості відмов об'єкта можна розрахувати наступним чином:

$$M[n_{\text{отк}}] = \bar{n}_{\text{отк}} = \frac{1}{N_I} \sum_{j=1}^{N_I} n_{\text{отк}j},$$

$$D[n_{\text{отк}}] = \frac{1}{N_I} \sum_{j=1}^{N_I} n_{\text{отк}j}^2 - (\bar{n}_{\text{отк}})^2, \quad (10)$$

де $n_{\text{отк}j}$ - кількість відмов об'єкта в j -ій ітерації моделювання ($j = \overline{2, N_I}$);

$\bar{n}_{\text{отк}}$ - середня кількість відмов об'єкта на протязі однієї ітерації моделювання.

При достатньо великому обсязі статистики можна вважати, що випадкова величина $\bar{n}_{\text{отк}}$ підпорядкована нормальному закону розподілу. З урахуванням цього відносну помилку оцінки $\bar{n}_{\text{отк}}$ можна визначити як величину

$$\varepsilon = z_{\alpha} \sqrt{D[n_{\text{отк}}]} / \bar{n}_{\text{отк}}, \quad (11)$$

де z_{α} - квантиль нормованого нормального розподілу для вірогідності $1 - \alpha$ (для $\alpha = 0,05$ $z_{\alpha} = 1,96$) [6].

Згідно (11) величина ε - це половинний 95-відсотковий довірчий інтервал для відносної помилки оцінки середнього кількості відмов $\bar{n}_{\text{отк}}$:

$$\text{Вер} \left\{ 1 - \varepsilon < \frac{\bar{n}_{\text{отк}}}{\tilde{n}_{\text{отк}}} < 1 + \varepsilon \right\} = 0,95, \quad (12)$$

де $\tilde{n}_{\text{отк}}$ - невідоме істинне значення середньої кількості відмов.

Розглянутий алгоритм реалізовано програмно в системі програмування Delphi [7].

Висновки. Розроблена модель та її реалізація у вигляді ICM є узагальненою ідеалізованою моделлю процесу ТОіР "за станом" складного відновлювального об'єкта ОіВТ. Моделюється загальний випадок, коли ТОіР піддається всі потенційно елементи, що обслуговуються, призначені користувачем. Обслуговування елементів імітується у випадкові моменти часу, які кратні періодичності контролю T_k , по мірі того, як залишковий ресурс елемента знижується до рівня $TO_{\text{н}}^{\text{то}}$. Ідеалізація моделі полягає в тому, що у всіх обслуговуваних елементів передбачається існування визначального параметра.

Розроблену ICM процесу слід розглядати як оціночну модель, за допомогою якої можна дослідити властивості обслуговування конкретних об'єктів ОіВТ. Ця ICM може модифікуватися для випадків різноманітних частин стратегій: ТО за ресурсом, ТО з адаптивним періодом контролю тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Толлок І.В. Удосконалення процесу технічного обслуговування складних відновлюваних об'єктів авто – та бронетехніки за допомогою імітаційної статистичної моделі / І.В. Толлок // Сучасна спеціальна техніка. – Київ, 2016. – 4(47). – С.90-95.
2. Толлок І.В. Определение системы технического обслуживания и ремонта автомобильной техники на предприятиях Министерства обороны Украины и ее критерии эффективности / И.В. Толлок // Система управління, навігації та зв'язку. – К.: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2008. – Вип.4(18). – С. 95 – 97.
3. Толлок І.В. Інформаційна підготовка проведення ремонту автомобільної техніки / І.В. Толлок // Системи озброєння і військова техніка». Харків, 2008. – Вип.3(15). – С.173 – 175.
4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 400 с.
6. Четыркин Е.М., Калихман И.Л. Вероятность и статистика. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 319 с.
7. Дарахвелидзе П.Г., Марков Е.П. Программирование в Delphi 7. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.

REFERENCES:

1. Tolok I.V. (2016). Udoskonalennja procesu tehničnogo obslugo­vuvannja skladnyh vidnovljувanyh об'єktiv avto – ta bronetehniky za dopomogoju imitacijnoi' statystyčnoi' modeli. *Suchasna special'na tehnika*, Kyi'v. 4(47). 90-95.
2. Tolok I.V. (2008). Opredelenie sistemy tehničeskogo obsluzhivanija i remonta avtomobil'noj tehniki na predprijatjah Ministerstva oborony Ukrainy i ee kriterii jeffektivnosti. *Sistema upravlinnja, navigacii ta зв'язку*. Kyi'v.: Central'nij naukovo-doslidnij institut navigacii i upravlinnja. 4(18). 95-97.
3. Tolok I.V. (2008). Informacijna pidgotovka provedennja remontu avtomobil'noi' tehniky. *Systemy ozbrojennja i vijs'kova tehnika*. Harkiv. 3(15). 173-175.
4. DSTU 2860-94. Nadijnist' tehniky. Terminy ta vyznachennja.
5. Buslenko N.P. (1978). Modelirovanie slozhnyh sistem. Moskva: *Nauka*. 400.
6. Chetyrkin E.M., Kalihman I.L. (1982). Verojatnost' i statistika. Moskva. *Finansy i statistika*. 319.
7. Darahvelidze P.G., Markov E.P. Programmirovanie v Delphi 7. (2004). *SPb.: BHV-Peterburg*. 784.

Рецензент: д.т.н., проф. Ленков С.В., начальник науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка

к.пед.н. Толлок І.В.

ИМИТАЦИОННАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ "ЗА СОСТОЯНИЕМ" СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ, КОТОРАЯ ВОЗОБНОВЛЯЕТСЯ

Рассматривается имитационная статистическая модель процесса технического обслуживания "по состоянию" сложного объекта вооружения и военной техники, которая восстанавливается. Моделируется общий случай, когда техническому обслуживанию подвергаются все элементы, которые потенциально обслуживаются. Обслуживание элементов имитируется в случайные моменты времени, кратные периодичности контроля, по мере того, как остаточный ресурс элемента снижается. Разработанная модель рассматривается как оценочная, с помощью которой можно исследовать свойства обслуживания конкретных объектов.

Ключевые слова: имитационная статистическая модель, техническое обслуживание, объект вооружения и военной техники.

Ph.D. Tolok I.V.

SIMULATION STATISTICAL MODEL OF PROCESS OF TECHNICAL SERVICE "AFTER THE STATE" OF DIFFICULT OBJECT OF ARMAMENT AND MILITARY TECHNIQUE THAT RECOMMENCES

Considered simulation statistical model of the maintenance process "as" a complex object of weapons and military equipment, restored. Model is the General case, when maintenance is applied to all elements Tenzin served. Service elements is simulated at random times that are multiples of the frequency control, as the residual life of the element is reduced.. the Developed model is considered as a value, which can be used to explore the properties of service-specific objects.

Keywords: simulation statistical model, technical service, object of armament and military technique.