

DOI 10.36074/logos-08.07.2022.054

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ “ПО СТАНУ”

Банзак Геннадій В'ячеславович

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри Метрології та інформаційно-вимірювальної техніки
Державний університет інформаційних технологій та зв'язку

Банзак Оксана Вікторівна

д-р.техн.наук, професор,
Завідувач кафедри Стандартизації та оцінки відповідності
Державний університет інформаційних технологій та зв'язку

УКРАЇНА

Процес технічного обслуговування (ТО) "за станом" (ТОС) є складовою (підпроцесом) більш загального процесу - процесу технічної експлуатації об'єкта. З урахуванням того, що ми розглядаємо об'єкти в стані застосування за призначенням, формально процес ТОС описуватимемо графом станів та переходів, показаним на рис. 1.

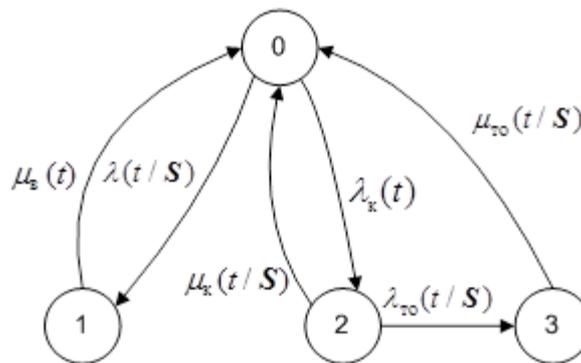


Рис. 1. Граф стану та переходів процесу ТОС

Відповідно до цього формального опису процес ТОС об'єкта може приймати один із наступних станів:

- 0 – об'єкт працездатний та застосовується за призначенням;
- 1 – об'єкт відмовив та провадиться його відновлення (поточний ремонт);
- 2 – здійснюється контроль технічного стану об'єкта;
- 3 - проводиться ТО об'єкта.

Переходи між станами відбуваються у довільні моменти часу, керовані відповідними інтенсивностями переходів. На рис. 1 використані такі позначення:

$S(t) = \{t_{oi}(t); i = \overline{1, |E|}\}$ - векторний параметр, що характеризує поточне ТЗ

об'єкта. Елементом вектора S є параметр стану i -го елемента, де $s_i(t) = t_{oi}(t)$

момент часу $t_{oi}(t)$ останнього оновлення елемента (E - безліч елементів об'єкта). Очевидно, що після кожної відмови (відновлення) або ТО відбувається зміна стану S , що призводить до покращення властивостей безвідмовності об'єкта;

$\lambda(t/S)$ - інтенсивність відмов об'єкта;

$\mu_b(t)$ - інтенсивність відновлення об'єкта;

$\lambda_k(t)$ - інтенсивність контролю об'єкта;

$\mu_k(t/S)$ - інтенсивність подій контролю, що завершуються рішенням про те, що ТО не потрібно;

$\lambda_{то}(t/S)$ - інтенсивність подій контролю, що завершуються рішенням про необхідність проведення ТО (інтенсивність подій ТО);

$\mu_{то}(t/S)$ - інтенсивність переходів зі стану ТО в працездатний стан об'єкта.

Розглянемо кожну інтенсивність переходів докладніше.

Якщо елементи об'єкта з'єднані в значенні надійності послідовно і відмови є незалежними, інтенсивність відмов $\lambda(t/S)$ можна визначити як суму [1, 2]:

$$\lambda(t/S) = \sum_i \lambda_i(t/t_{0i}), \quad (1)$$

де $\lambda_i(t/t_{0i})$ - інтенсивність відмов i -го елемента за умови, що останнє оновлення його відбулося в момент часу t_{0i} ($i = \overline{1, |E|}$).

Інтенсивність через функцію розподілу напрацювання повністю елемента $F_i(t/t_{0i})$ може бути виражена наступним чином [3]:

$$\lambda_i(t/t_{0i}) = \frac{F_i'(t/t_{0i})}{1 - F_i(t/t_{0i})}. \quad (2)$$

Як функція розподілу $F_i(t/t_{0i})$ може бути заданий один з розподілів, що належать до ВФ-моделям відмов [3]. Якщо під оновленням розуміти заміну елемента новим, функцію $F_i(t/t_{0i})$ можна отримати простим зрушенням по осі часу, тобто $F_i(t/t_{0i}) = F_i(t - t_{0i})$.

Інтенсивність відновлення $\mu_b(t)$ для простоти вважатимемо константою, $\mu_b(t) = \mu_b = const$. Це припущення ніяк не вплине на суть моделі, що розробляється. Час відновлення у разі підпорядковується експоненційному розподілу з параметром μ_b , величина якого дорівнює , $\mu_b = 1/T_b$, де T_b - середній час відновлення об'єкта.

Наближене значення T_b можна знайти за формулою [2]:

$$T_b = \frac{\sum_i T_{bi} / T_{спi}}{\sum_i 1 / T_{спi}}, \quad (3)$$

де T_{bi} - середній час відновлення i -го елемента;

$T_{спi}$ - середнє напрацювання до відмови i -го елемента, що дорівнює (4).

З урахуванням того, що контроль технічного стану об'єкта проводиться періодично в детерміновані моменти часу T_k з періодичністю, інтенсивність контролю можна визначити так:

$$T_{\text{сп}i} = \int_0^{\infty} [1 - F_i(t)] dt, \quad (4)$$

де $\delta(\cdot)$ – дельта-функція.

Періодичність контролю T_k , як побачимо пізніше, то, можливо змінної.

Передбачається, що з контролю об'єкта послідовно перевіряється технічний стан всіх контрольованих (потенційно обслуговуваних) елементів. При контролі i -го елемента проводиться вимірювання визначального параметра $u_i(t)$ приймається рішення про необхідність його заміни або регулювання за критерієм $u_i(t) \geq u^{\text{то}}$. Інтенсивність ТО $\lambda_{\text{то}}(t/S)$ з огляду на це можна визначити як твір:

$$\lambda_{\text{то}}(t/S) = \lambda_k(t) P_{\text{то}}(t/S), \quad (5)$$

де $P_{\text{то}}(t/S)$ - ймовірність того, що в момент часу t потрібно виконання ТО хоча б для одного з елементів.

Ймовірність $P_{\text{то}}(t/S)$ дорівнює

$$P_{\text{то}}(t/S) = 1 - \prod_i [1 - P_{\text{то}i}(t/t_{0i})], \quad (6)$$

де $P_{\text{то}i}(t/t_{0i})$ - ймовірність того, що в момент часу t буде потрібно ТО i -го елемента за умови, що його останнє оновлення відбулося в момент часу t_{0i} :

$$P_{\text{то}i}(t/t_{0i}) = \text{Вер} \{ u_i(t - t_{0i}) \geq u^{\text{то}} \}. \quad (7)$$

Якщо в результаті контролю приймається рішення про те, що ТО не потрібно, відбувається перехід зі стану 2 в стан 0 (див. рис. 1). Інтенсивність таких переходів дорівнює

$$P_{\text{то}}(t/S) = 1 - \prod_i [1 - P_{\text{то}i}(t/t_{0i})]. \quad (8)$$

Вирази (5) і (8) записані з урахуванням припущення у тому, що тривалість контролю дорівнює 0. Таке припущення представляється цілком прийнятним, оскільки у реальних системах тривалість контролю, зазвичай, значно менше проти тривалістю ТО і часом відновлення $T_{\text{в}}$.

Час перебування у стані ТО визначається наступним виразом:

$$\tau_{\text{то}}(t/S) = \tau_{\text{то}}^0 + \sum_i P_{\text{то}i}(t/t_{0i}) \cdot \tau_{\text{то}i}, \quad (9)$$

де $\tau_{\text{то}}^0$ - адміністративний час, що має сенс часу переведення об'єкта з режиму застосування режим проведення ТО;

$\tau_{\text{то}i}$ - середня тривалість операції ТО i -го елемента.

Очевидно, що величина $\tau_{\text{то}}(t/S)$ є випадковою, тому що випадковими є ймовірності $P_{\text{то}i}(t/t_{0i})$, що залежать від випадкового параметра t_{0i} . Визначити закон розподілу величини поки неможливо, оскільки цього знадобляться додаткові дослідження. Поки що ми тільки приймемо припущення існування функції розподілу тривалості ТО $\tau_{\text{то}}(t/S)$, яку позначимо $F_{\text{то}}(t/S)$. Знання

функції $F_{\text{то}}(t/S)$ необхідне отримання інтенсивності $\mu_{\text{то}}(t/S)$. Якщо відома функція $F_{\text{то}}(t/S)$, то інтенсивність $\mu_{\text{то}}(t/S)$ виходить з виразу:

$$\mu_{\text{то}}(t/S) = \frac{F'_{\text{то}}(t/S)}{1 - F_{\text{то}}(t/S)} \quad (10)$$

Отже, ми розглянули можливості визначення інтенсивності переходів процесу, граф якого зображено на рис. 1. Зроблений аналіз показав, що визначення деяких з них пов'язане із суттєвими труднощами, для подолання яких будуть потрібні додаткові моделі та відповідні дослідження.

Якби вдалося отримати аналітичні висловлювання інтенсивності переходів аналізованого процесу, можна було б скласти систему диференціальних рівнянь для ймовірностей станів процесу (рівняння Колмогорова [2]). Така система рівнянь у нашому випадку має такий вигляд:

$$\begin{aligned} P'_0(t/S) &= P_0(t/S)[- \lambda(t/S) - \lambda_k(t)] + P_1(t/S)\mu_b + P_2(t/S)\mu_k(t) + P_3(t/S)\mu_{\text{то}}(t/S); \\ P'_1(t/S) &= P_0(t/S)\lambda(t/S) - P_1(t/S)\mu_b; \\ P'_2(t/S) &= P_0(t/S)\lambda_k(t) - P_2(t/S)\mu_k(t) - P_3(t/S)\lambda_{\text{то}}(t/S); \\ P'_3(t/S) &= -P_0(t/S)\mu_{\text{то}}(t/S) + P_2(t/S)\lambda_{\text{то}}(t/S); \\ \sum_{j=0}^3 P_j(t/S) &= 1 \end{aligned} \quad (11)$$

де $P_j(t/S)$ - імовірності відповідних станів процесу ($j = \overline{0,3}$).

Система диференціальних рівнянь (11) є математичною моделлю процесу ТЗС об'єкта. Вхідною інформацією моделі є:

- $\{F_i(t), T_{vi}\}$ – показники безвідмовності та ремонтпридатності елементів;
- $\{\tau_{\text{то}i}\}$ – показники обслуговуваності елементів;
- T_k – періодичність контролю ТС об'єкта;
- $\{u_i^{\text{то}}\}$ – рівні ТО елементів.

Враховуючи все це можна зробити висновок, що аналітичне рішення поставленого завдання не є можливим і для його вирішення необхідно шукати інші методи. Найбільш відповідним і, мабуть, єдиним методом, який дозволить вирішити це завдання, є метод імітаційного статистичного моделювання [3].

Основні положення розглянутої математичної моделі опубліковані у [2].

Зроблені тут аналіз та формалізація досліджуваного процесу дозволяють, по-перше, глибше зрозуміти логічний зміст процесу ТГС, і, по-друге, використовувати введені формалізми для розробки імітаційної статистичної моделі.

Список використаних джерел:

- [1] Ленков С.В., Цыцарев В.Н., Банзак Г.В. Моделирование и оптимизация процесса технического обслуживания по ресурсу сложных технических объектов // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 3-4. – С.94 – 100.
- [2] Банзак Г.В., Селюков А.В., Цыцарев В.Н. Методика определения оптимальных параметров стратегии технического обслуживания “по состоянию” с адаптивным изменением периодичности контроля объекта // Вісник державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. – К., 2011. – Том 9, № 4. – С.342 – 349.
- [3] Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, etc.; under edition S. V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «BMB», 2014. – 252 p.