

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

*У статті розглядається імітаційна статистична модель (ІСМ) процесу технічного обслуговування за станом (ТОС) об'єктів радіоелектронної техніки (РЕТ). За допомогою ІСМ встановлюється зв'язок показників надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ) об'єкта з параметрами стратегії ТОС. Як ПН визначається середнє напрацювання на відмову об'єкта, як показник ВЕ - середня питома вартість експлуатації. Для моделювання відмов окремих елементів об'єкта використовується імовірно-фізична модель DN-розподілу. Введено формалізований опис стратегії ТОС. Коротко розглянуто алгоритм ІСМ, в якому реалізована модель ТОС. Програмне забезпечення ІСМ розроблено з використанням системи програмування Delphi.*

*Проведено дослідження деяких властивостей стратегії ТОС на простому прикладі об'єкта РЕТ.*

*Ключові слова: об'єкт радіоелектронної техніки, показники надійності, технічний стан об'єкта, імітаційне статистичне моделювання, технічне обслуговування за станом.*

**Вступ та постановка задачі.** Згідно зі стандартом [1] технічне обслуговування (ТО) - це "комплекс операцій або операція з підтримки справності або працездатності об'єкта при використанні за призначенням, ремонті, зберіганні та транспортуванні". У даній статті розглядається тільки ТО при використанні об'єкта за призначенням. Під об'єктом радіоелектронної техніки (РЕТ) розуміється будь-який технічний пристрій, що складається переважно з елементів, які є виробами електронної техніки (мікросхеми, конденсатори, резистори, напівпровідникові прилади і т.і.). У складі об'єкта РЕТ можуть бути також і інші, не електронні елементи, наприклад, механічні, електромеханічні, гідравлічні та ін. Типовим прикладом об'єкта РЕТ є радіолокаційна станція.

На етапі розробки і створення об'єкта РЕТ, особливо на завершальних стадіях розробки, необхідно прийняти рішення про те, чи буде потрібно яесьь ТО в майбутньому при його експлуатації чи ні, і якщо буде потрібно, то визначити попередньо його обсяг і зміст. Це потрібно для того, щоб розробник мав можливість передбачити в конструкції об'єкта необхідні технічні засоби, що забезпечують технологічність виконання операцій ТО.

На етапі розробки і створення об'єкта РЕТ, особливо на завершальних стадіях розробки, необхідно прийняти рішення про те, чи буде потрібно яесьь ТО в майбутньому при його

експлуатації чи ні, і якщо буде потрібно, то визначити попередньо його обсяг і зміст. Це потрібно для того, щоб розробник мав можливість передбачити в конструкції об'єкта необхідні технічні засоби, що забезпечують технологічність виконання операцій ТО.

З усього сказаного випливає, що необхідна математична модель, за допомогою якої можна було б пов'язати прогнозовані показники надійності (ПН) і вартості експлуатації (ВЕ) об'єкта з параметрами системи ТО, прийнятими для даного об'єкта.

Існує два принципово різні підходи до організації проведення ТО - це так звані «ТО за ресурсом» і «ТО за станом» (ТОС). При ТОС обсяг і зміст робіт ТО залежать від поточного технічного стану (ТС) об'єкта, при ТО по ресурсу обсяг і зміст робіт ТО фіксовані і визначаються тільки поточним напрацюванням об'єкта (ТО по ресурсу часто називають також регламентованим ТО). Потенційно більш ефективним є ТОС, так як в цьому випадку при визначенні обсягу і змісту ТО використовується інформація про фактичний поточний ТС об'єкта, а за будь-яку інформацію, як відомо, необхідно «платити». Платою за інформацію про ТС об'єкта в даному випадку є додаткові витрати на технічні засоби, призначені для отримання цієї інформації. З огляду на це зрозуміло, що остаточний вибір підходу до організації проведення ТО можна зробити тільки за результатами моделювання.

У даній статті розглядаються деякі питання обґрунтування моделі ТОС і алгоритм імітаційної статистичної моделі (ІСМ), в якій ця модель реалізована. Детальний опис ІСМ є в [2]. Нижче також наводяться отримані за допомогою ІСМ результати досліджень моделі ТОС на простому прикладі об'єкта РЕТ, що демонструють можливості розробленої моделі.

Спочатку визначимо найбільш важливі вихідні поняття, які ми будемо використовувати при подальшому викладі.

**Поняття визначального параметра.** Інформацію про фактичний ТС об'єкта можна отримати тільки шляхом вимірювання будь-яких функціональних або технічних параметрів апаратури об'єкта. В [3] введено поняття визначального параметра (ВП), під яким розуміється фізичний або функціональний параметр, значення якого визначає працездатність даного елемента (елемент стає непрацездатним при виході визначального параметра за межі області його допустимих значень). Далекі не для всіх елементів існують ВП, ще менша частина їх доступна для вимірювання. Однак очевидно, що для елементів, для яких передбачається ТОС, існування вимірюваних ВП є обов'язковою умовою.

Позначимо  $x_i(t)$  виміряне значення ВП  $i$ -го елемента в момент часу  $t$ , а  $D_i$  – область його допустимих значень. Доти поки  $x_i(t) \in D_i$ ,  $i$ -й елемент вважається працездатним ( $i = \overline{1, N}$ , де  $N$  – кількість елементів об'єкта). Поведінка ВП в межах області  $D_i$  є випадковою, закономірності цієї поведінки можуть бути самими різними, приклади типових варіантів поведінки ВП наводяться, наприклад в [4].

Нормоване значення ВП, позначимо його  $u_i(t)$ , визначатимемо наступним чином:

$$u_i(t) = \left| \frac{x_i(t) - x_{i0}}{x_{i\text{доп}} - x_{i0}} \right|, \quad (1)$$

де  $x_{i0}$  – номінальне (необхідне) значення ВП;  $x_{i\text{доп}}$  – гранично допустиме значення ВП  $i$ -го елемента.

Вираз (1) справедливий у випадку так званого одностороннього параметра, коли номінальне значення параметра знаходиться на кордоні області допустимих значень (такий випадок найбільш типовий на практиці). У цьому випадку область допустимих значень для ВП  $x_i(t)$  дорівнює  $D_i = [x_{i0}, x_{i\text{доп}}]$ , а для нормованого ВП  $u_i(t)$  ця область дорівнює  $D_i = [0, 1]$ .

Фундаментальним питанням для моделювання процесів ТОС є питання про визначення (побудову моделі) залежності між ПН і ВП. Така залежність встановлюється за допомогою імовірнісно-фізичної моделі відмов (ІФ-моделі), в якій імовірнісні характеристики відмов елемента зв'язуються з параметрами фізичних процесів деградації, які протікають в ньому [5]. На рис. 1 показані графіки, що пояснюють суть ІФ-моделі. В якості ймовірнісної

характеристики відмов на малюнку використана функція щільності ймовірності відмов  $f_i(t)$ . Величина ВП  $u_i(t)$  змінюється в часі випадковим чином, відмова елемента відбувається в момент часу, коли значення ВП виходить за допустимі межі (коли  $u_i(t) > 1$ ). Згідно [3] до ІФ-моделей відмов відносять альфа-розподіл, дифузійне монотонне. Згідно [3] до ІФ-моделей відмов відносять альфа-розподіл, дифузійний монотонний (DM) та дифузійний немонотонний (DN) розподіли. Найбільш універсальною з цих моделей є DN-розподіл, так як цим розподілом добре описуються закономірності відмов, як електронних елементів, так і механічних вузлів [3]. Тому для моделювання процесів ТОС нами далі використовується DN-розподіл.

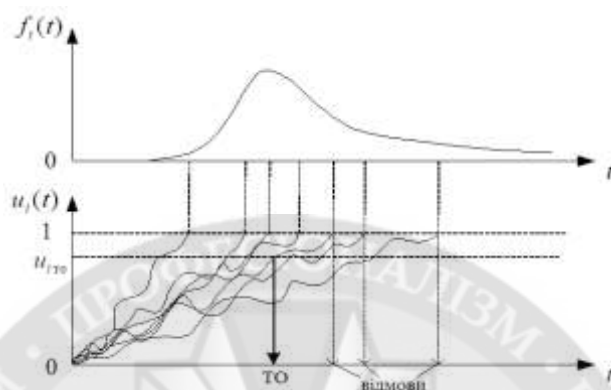


Рис. 1. До пояснення сутності ІФ-моделі відмов

Введемо поняття рівня ТО як таке значення ВП, при досягненні якого необхідно виконати ТО (провести оновлення елемента). У разі одностороннього параметра, для якого задано гранично допустиме значення  $x_{i\text{доп}}$ , рівень ТО  $x_{i\text{то}} < x_{i\text{доп}}$ . Нормоване значення рівня ТО, позначимо його  $u_{i\text{то}}$ , у разі одностороннього параметра буде визначатися таким виразом:

$$u_{i\text{то}} = \frac{|x_{i\text{то}} - x_{i0}|}{|x_{i\text{доп}} - x_{i0}|}. \quad (2)$$

Для нормованого рівня ТО  $u_{i\text{то}}$  завжди виконується умова  $u_{i\text{то}} < 1$ .

**Параметри системи ТО об'єкта.** За аналогією з [1] під системою ТО будемо розуміти сукупність технічних засобів, документації і виконавців, необхідних для виконання всіх робіт з ТО об'єкта РЕТ даного типу. Для моделювання процесу ТО нам необхідно визначити кількісні характеристики (параметри), якими видається в моделі система ТО. У разі стратегії ТОС з фіксованою періодичністю контролю параметрами системи ТО є:

$$P_{\text{тос}} = \{E_{\text{то}}, U_{\text{то}}, T_{\text{к}}\}, \quad (3)$$

де  $P_{\text{тос}}$  – позначення узагальненого параметра системи ТОС з постійною періодичністю контролю;  $E_{\text{то}}$  – безліч потенційно обслуговуваних елементів;  $U_{\text{то}} = \{u_{i\text{то}}; i = 1, \overline{|E_{\text{то}}|}\}$  – вектор рівнів ТО  $u_{i\text{то}}$ ;  $T_{\text{к}}$  – періодичність контролю ТС об'єкта.<sup>1</sup>

Множина  $E_{\text{то}}$  є підмножиною множини всіх елементів об'єкта  $E_0$ , які враховуються при розрахунках ПН ( $E_{\text{то}} \subset E_0$ ). Відповідно до (3) контроль ТС об'єкта проводиться

<sup>1</sup> До параметрів системи ТО було б віднести також і параметри тимчасових і вартісних витрат на ТО. Неявно вони враховуються в моделі як характеристики об'єкта РЕТ.

періодично в моменти часу  $t_k = k \cdot T_k$ , де  $k = 1, 2, \dots$ . При контролі ТС обслуговування (оновлення) кожен раз піддаються тільки ті з елементів  $e_i \in E_{то}$ , для яких виконується умова  $u_i(t_k) \geq u_{i_{то}}$ . Якщо  $u_i(t_k) > 1$ , тобто значення ВП перевищило допустиме значення, проводиться поточний ремонт об'єкта.

З урахуванням введених понять можна уточнити поставлене вище завдання як завдання визначення залежності ПН і ВЕ об'єкта РЕТ від параметрів  $P_{тоc}$ . Ця задача вирішується за допомогою ICM, короткі відомості про алгоритм якої наводиться нижче.

**Алгоритм моделювання ТОС.** Алгоритм моделювання ТОС інтегрований в загальний алгоритм моделювання процесу ТО і ремонту об'єкта, реалізованого в ICM. На рис. 2 зображена укрупнена структурна схема алгоритму ICM. Робота цього алгоритму заснована на застосуванні принципу календаря подій [6]. Календар подій (КП) представляє собою масив даних, в якому зберігаються значення запланованих моментів часу всіх подій моделі. У моделі явно імітуються два типи подій: «відмова» і «контроль». КП можна розглядати як множина наступного вигляду:

$$КП \equiv \{ \{t_i; i = 1, \dots, |E_o|\}, t_k \},$$

де  $t_i$  - заплановані моменти часу відмов усіх елементів об'єкта;  $t_k$  - запланований час контролю ТС об'єкта.

Робота алгоритму коротко полягає в наступному.

Оператор 1 вводить всю необхідну вихідну інформацію (з БД моделі). Оператором 2 ініціалізуються всі змінні і масиви, в яких буде накопичуватися статистика, необхідна для обчислення оцінок ПН і ВЕ. Оператором 3 генеруються моменти часу перших подій моделі.

Значення часу перших подій «відмова» генеруються за допомогою датчика випадкових чисел, підпорядкованих DN-розподілу. Цей датчик реалізований як процедура-функція  $DN(\mu_i, \nu_i)$ , де  $\mu_i$  - середнє напрацювання до відмови  $i$ -го елемента;  $\nu_i$  - коефіцієнт варіації ( $i = 1, \dots, |E_o|$ ). Момент часу першої події "контроль" визначається простим привласненням значення  $T_k$ . Оператор 4 визначає значення поточного модельного часу  $t$  шляхом пошуку в КП найменшого значення (при цьому одночасно визначається і тип поточної події). Оператором 5 проводиться перевірка виходу поточного часу  $t$  за межі заданого значення тривалості експлуатації об'єкта  $T_e$ . Якщо ні, то виконується оператор 6, який перевіряє тип поточної події.

Якщо поточна подія «відмова», виконується оператор 7, яким здійснюється обробка цієї події. Обробка ця включає наступні дії:

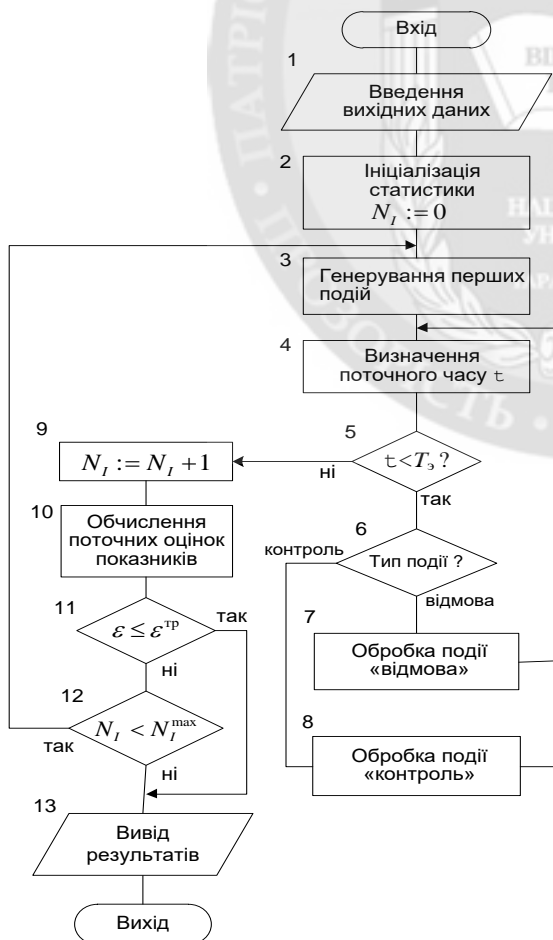


Рис. 2. Укрупнена структурна схема алгоритму ICM

– визначається час між відмовами  $\tau_o := t - t0^2$ , де  $t0$  - час попередньої відмови;

– накопичується статистика відмов:

$$t_{o\Sigma} := t_{o\Sigma} + \tau_o; \quad n_{o\Sigma} := n_{o\Sigma} + 1; \quad C_{o\Sigma} := C_{o\Sigma} + C_{0i} + C_{зaмi}, \quad (4)$$

де  $t_{o\Sigma}$ ,  $n_{o\Sigma}$  и  $C_{o\Sigma}$  – накопичені сумарні значення відповідно часу між відмовами, числа відмов і вартості відновлення відмов;  $C_{0i}$  и  $C_{зaмi}$  – вартість  $i$ -го елемента і вартість операції його заміни;

– планується час наступної відмови  $i$ -го елемента  $t_i := t + DN(\mu_i, \nu_i)$ , отримане значення  $t_i$  зберігається в КП;

– запам'ятовується час поточної відмови:  $t0 := t$ , і час оновлення  $i$ -го елемента:  $t0_i := t$ .

Якщо поточну подію «контроль», оператор 6 передає управління оператору 8, в якому діє таким чином:

– імітується вимір ВП шляхом виконання для всіх  $i = 1, \overline{|E_{то}|}$  оператор:

$$u_i(t) := (t - t0_i) / (t_i - t0_i), \quad (5)$$

де  $t_i$  - запланований час відмови  $i$ -го елемента (взяте з КП);

– перевіряється умова необхідності проведення ТО  $i$ -го елемента  $u_i(t) \geq u_{iто}$ ; для усіх елементів, для яких ця умова виконується, імітується їх заміна виконанням оператора  $t_i := t + DN(\mu_i, \nu_i)$ ; запам'ятовується<sup>3</sup> час його поновлення:  $t0_i := t$ ;

– накопичується статистика витрат вартості на проведення ТО:

$$C_{то\Sigma} := C_{то\Sigma} + C_{тоi} + p_{зaмi}(C_{0i} + C_{зaмi}), \quad (6)$$

де  $C_{то\Sigma}$  - накопичена сумарна вартість витрат на ТО;  $C_{тоi}$  - витрати на ТО  $i$ -го елемента;  $p_{зaмi}$  - ймовірність того, що при ТО потрібна заміна елемента;

– планується час наступного контролю:  $t_k := t + T_k$ .

Після виконання операторів 7, 8 управління повертається оператору 4 для визначення часу настання наступної модельної події і відповідного йому нового значення модельного часу  $t$ .

Якщо нове значення  $t$  перевищить задане значення тривалості експлуатації  $T_3$ , поточна ітерація процесу моделювання переривається, оператор 5 передає управління оператору 9, який підраховує кількість виконаних ітерацій  $N_I$ . Оператор 10 розраховує значення поточних оцінок ПН і ВЕ за формулами:

$$T_o := t_{o\Sigma} / n_{o\Sigma}; \quad ce := (C_{o\Sigma} + C_{то\Sigma}) / (N_I \cdot T_3). \quad (7)$$

Оператори 11, 12 перевіряють умову завершення процесу моделювання (досягнута необхідна точність результатів  $\varepsilon^{TP}$  або виконано задане число ітерацій  $N_I^{max}$ ). Якщо потрібно продовжити процес моделювання, управління передається оператору 3 для виконання наступної ітерації. В іншому випадку виконується оператор 13, після чого процес моделювання завершується. Очевидно, що отримані оцінки ПН і ВЕ  $T_o$  и  $ce$  залежать від параметрів ТОС  $P_{тоc}$ .

Даний алгоритм реалізований засобами програмування Delphi [7]. Більш докладний опис алгоритму є в [2].

**Приклад моделювання процесу ТОС.** Для прикладу візьмемо звичайний об'єкт РЕТ, що складається з 10 однакових елементів, з'єднаних послідовно за значенням надійності. Напрацювання до відмови елементів підпорядковане  $DN$ -розподілу з параметрами

<sup>2</sup> Тут і далі символ «:=» позначає операцію присвоювання.

<sup>3</sup> В оперативній пам'яті.

$\mu = 10000$  ч,  $\nu = 1$  и  $\nu = 0,5$ . Для різних типів елементів радіоелектронної апаратури коефіцієнт варіації  $\nu$  може лежати в межах від 0,5 до 1,5 [3], тому важливо дослідити, яка величина коефіцієнту варіації впливає на процеси ТОС. Вартісні характеристики елементів об'єкта також задамо однакові:  $C_{oi} = 1$  у.о.;  $C_{замі} = 1$  у.е.;  $C_{тоі} = 1$  у.о.;  $p_{замі} = 0$ .

Тривалість експлуатації об'єкта задамо такою, що дорівнює  $T_e = 20$  років, максимальне число ітерацій моделювання  $N_l = 1000$ .

Мета даного прикладу полягає у тому, щоб з однієї сторони, продемонструвати працездатність розробленої моделі, та з іншої сторони, дослідити характер залежності показників  $T_o$  та  $c_e$  від окремих параметрів системи ТОС, що є складовими узагальненого параметра  $P_{тос}$ .

Для початку виконаємо моделювання для випадку, коли ніяке ТО не проводиться, це дозволить оцінити вплив ТО на ПН та ВЕ. Результати розрахунків без ТО зведені в таблиці.

Таблиця

Оцінка ПН та ВЕ без проведення ТО

Показники	Значення оцінок показників	
	$\nu = 1$	$\nu = 0,5$
$T_o, \Gamma$	996	1021
$c_e, \text{у.о./}\Gamma$	0,01705	0,01664

Подальші розрахунки виконаємо для трьох значень кількості елементів, що обслуговуються  $N_{то} = |E_{то}|$ : 1, 2 та 3, двох значень коефіцієнта варіацій  $\nu$ : 1 та 0,5, параметри  $T_k$  та  $u_{iто}$  будемо варіювати в деякому діапазоні.

На рис. 3 та 4 наведені графіки залежності показників  $T_o$  і  $c_e$  від періодичності контролю  $T_k$  при фіксованих значеннях рівня ТО  $u_{iто} = 0,5$  ( $\forall i$ ).

За графіками на рис. 3 добре видно наступні фізично зрозумілі закономірності - показник безвідмовності зростає при збільшенні кількості елементів, що обслуговуються  $N_{то}$  і зменшується (при інших фіксованих умовах) при збільшенні періодичності контролю  $T_k$ . За цими графіками також видно, що виграш безвідмовності  $T_o$  за рахунок проведення ТО зростає при зменшенні величини коефіцієнта варіації  $\nu$ .

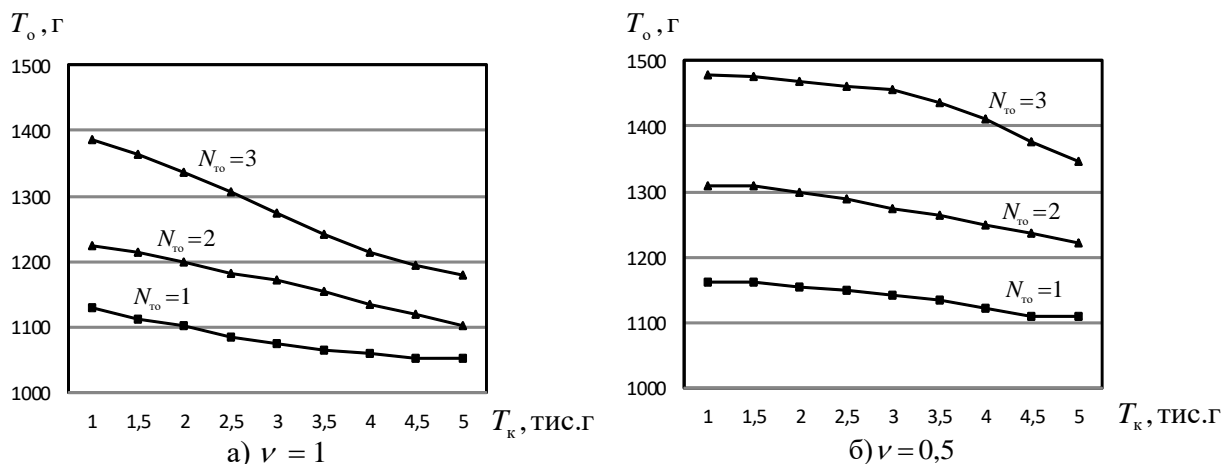


Рис. 3. Графіки залежності показника  $T_o$  від періодичності контролю  $T_k$  ( $\forall i: u_{iто} = 0,5$ )

На рис. 4 наведені аналогічні графіки для показника  $c_e$ . Характер цих графіків суттєво залежить від співвідношення в вихідних даних значень параметрів безвідмовності і вартості  $C_{0i}$ ,  $C_{замі}$ ,  $C_{тоі}$  та ін.

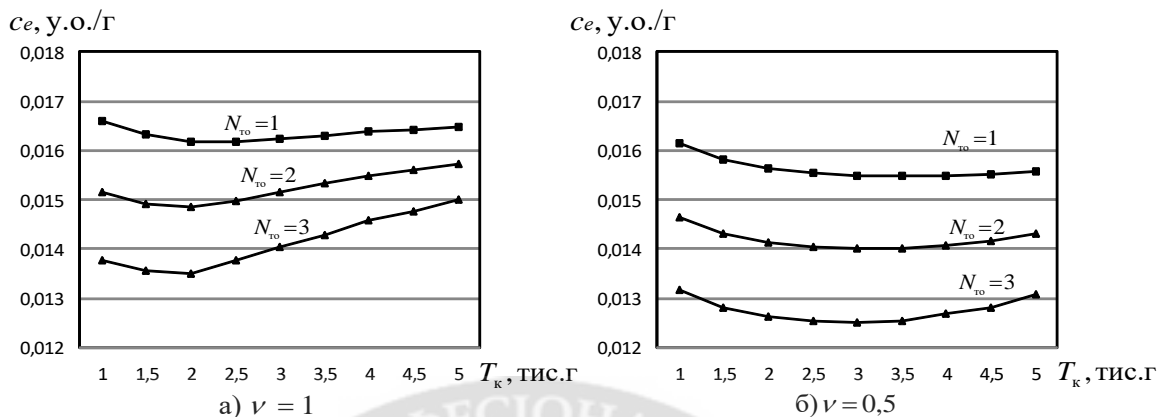


Рис. 4. Графіки залежності показника  $c_e$  від періодичності контролю  $T_k$  ( $\forall i: u_{i_{то}} = 0,5$ )

За отриманими, в розглянутому прикладі, даними видно загальну закономірність скорочення витрат вартості на експлуатацію об'єкта  $c_e$  при збільшенні обсягу ТО  $N_{то}$ . Видно також, що існує оптимальне значення періодичності контролю  $T_k$ , при якому досягається мінімум показника  $c_e$ .

На рис. 5 і 6 наведені графіки залежності показників  $T_o$  і  $c_e$  від рівня ТО  $u_{i_{то}}$  (при фіксованому значенні періодичності контролю  $T_k = 3000$  ч). Варіювання рівня ТО  $u_{i_{то}}$  проводилося тільки для одного елемента (для всіх інших елементів його значення фіксувалося на рівні  $u_{i_{то}} = 0,5$ ). На всіх графіках видно загальну закономірність існування екстремуму поблизу значення  $u_{i_{то}} = 0,5$ , при зміщенні в ту чи іншу сторону в залежності від співвідношень у вихідних даних, це можна пояснити лінійністю моделі процесу деградації ВП, що лежить в основі ІФ-моделі DN-розподілу [5].

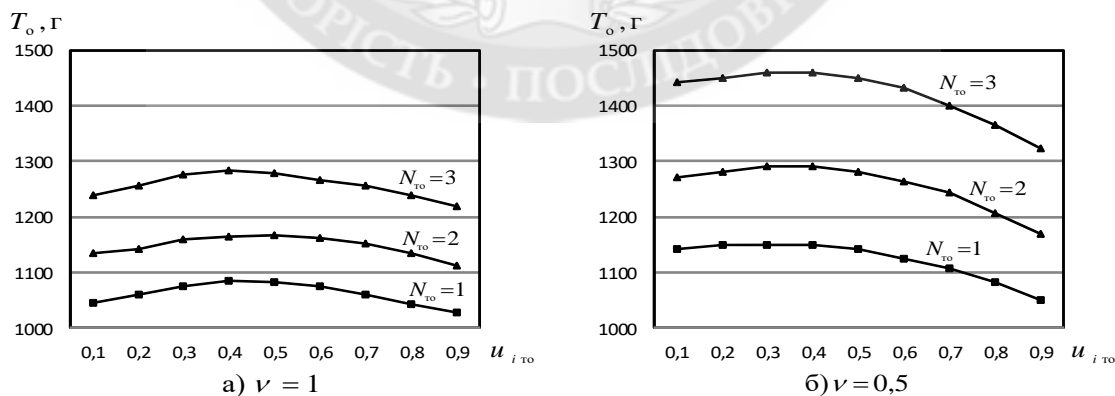


Рис. 5. Графіки залежності показника  $T_o$  від рівня ТО  $u_{i_{то}}$  ( $T_k = 3000$  г)

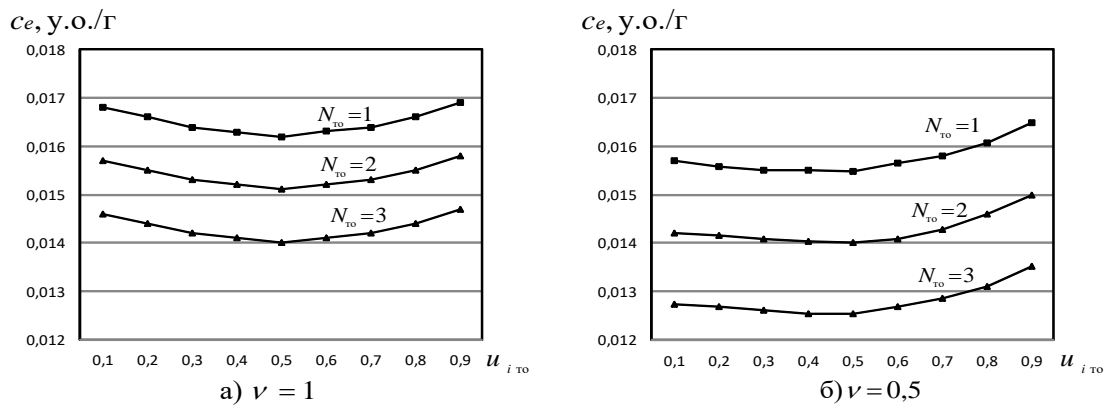


Рис. 6. Графіки залежності показника  $c_e$  від рівня ТО  $u_{i_{\text{ТО}}}$  ( $T_k = 3000$  г)

При менших значеннях величини  $\nu$  (при  $\nu = 0,5$ ) проявляється закономірність (яку добре видно на рис. 5 б) зростання показника  $T_0$  при малих значеннях  $u_{i_{\text{ТО}}}$  (при  $u_{i_{\text{ТО}}} = 0,1$ ) у порівнянні з відповідними значеннями  $T_0$  при великих значеннях  $u_{i_{\text{ТО}}}$  (при  $u_{i_{\text{ТО}}} = 0,9$ ). Пояснити це можна тим, що при малих значеннях  $u_{i_{\text{ТО}}}$  відбувається оновлення (превентивна заміна) значно більшої кількості елементів з невикористаним ресурсом. При великих значеннях  $u_{i_{\text{ТО}}}$  частка таких елементів значно менша, в результаті чого у частини елементів, що залишилися, невикористаний ресурс в середньому менший, що, звісно, приводить до зменшення величини показника  $T_0$ .

**Висновки.** У статті запропонована імітаційна статистична модель процесу ТОС складного об'єкта РЕТ, за допомогою якої виходять прогностичні оцінки ПН і ВЕ на заданому інтервалі його експлуатації. Проведено дослідження моделі на простому прикладі об'єкта РЕТ, отримані результати досліджень, з одного боку, підтверджують працездатність і адекватність моделі, і, з іншого боку, демонструють характерні закономірності стратегії ТОС з фіксованою періодичністю контролю.

Розроблена модель може використовуватися безпосередньо як інструмент прогнозування ПН і ВЕ об'єкта РЕТ на етапі його розробки, так і в якості прототипу програмного забезпечення для модуля системи автоматизованого проектування, призначення для визначення оптимальних параметрів стратегії ТОС.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. с 01.01.1980.
2. Прогнозирование надежности сложных объектов радиоэлектронной техники и оптимизация параметров их технической эксплуатации с использованием имитационных статистических моделей. Монография / С.В. Ленков, К.Ф. Боряк, Г.В.Банзак, В.О. Браун [и др.] : под ред. С.В. Ленкова. – Одесса : Изд-во «ВМВ», 2014. – 256 с.
3. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 45 с.
4. Глазунов Л. П., Смирнов А. Н. Проектирование технических систем диагностирования. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 168 с.
5. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
6. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 400 с.
7. Дарахвелидзе П.Г., Марков Е.П. Программирование в Delphi 7. СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 784 с.



#### REFERENCES:

1. GOST 18322-78. Sistema tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta tehniki. Terminy i opredeleniya. Vved. s 01.01.1980. (in USSR).
2. Lenkov S., Boryak K., Banzak G., Braun V. (2014). Prognozirovanie nadezhnosti slozhnykh ob'ektov radioelektronnoy tehniki i optimizatsiya parametrov ih tehničeskoy ekspluatatsii s ispolzovaniem imitatsionnykh statisticheskikh modeley. [Izd-vo «VMV»], 256 p. (in Ukrainian).
3. GOST 27.005-97. Nadezhnost v tehnike. Modeli otkazov. Osnovnyie polozheniya. – Vved. 01.01.99. 45 p. (in Belarus).
4. Glazunov L., Smirnov A. (1982). Proektirovanie tehničeskikh sistem diagnostirovaniya. – L.: Energoatomizdat, 168 p. (in USSR).
5. Strel'nikov V., Feduhin A. (2002). Otsenka i prognozirovanie nadezhnosti elektronnykh elementov i sistem. – K.: Logos, 486 p. (in Ukrainian).
6. Buslenko N. (1978). Modelirovanie slozhnykh sistem. M.: Nauka, 400 p. (in USSR).
7. Darahvelidze P., Markov E. (2004). Programmirovaniye v Delphi 7. [SPb]: BHV-Peterburg, 784 p. (in Russia).

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

Проценко Я.Н.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

*В статье рассматривается имитационная статистическая модель (ИСМ) процесса технического обслуживания по состоянию (ТОС) объектов радиоэлектронной техники (РЭТ). С помощью ИСМ устанавливается связь показателей надежности (ПН) и стоимости эксплуатации (СЭ) объекта с параметрами стратегии ТОС. В качестве ПН определяется средняя наработка на отказ объекта, в качестве показателя СЭ – средняя удельная стоимость эксплуатации. Для моделирования отказов отдельных элементов объекта используется вероятностно-физическая модель DN-распределения. Введено формализованное описание стратегии ТОС. Кратко рассмотрен алгоритм ИСМ, в котором реализована модель ТОС. Программное обеспечение ИСМ разработано с использованием системы программирования Delphi.*

*Произведено исследование некоторых свойств стратегии ТОС на простом примере объекта РЭТ.*

*Ключевые слова: объект радиоэлектронной техники, показатели надежности, техническое состояние объекта, имитационное статистическое моделирование, техническое обслуживание по состоянию.*

Procenko Y.M.

### MODELING OF SERVICE AS OBJECTS OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

*The article discusses the simulation statistical model (SSM) of the condition-based maintenance (CBM) of the objects of radioelectronic equipment (ORT). By means of SSM the relation between reliability index (RI) and operating costs (OC) of the object and the parameters of CBM strategy. RI is determined as mean time between failures of the object and the average unit cost of operation is taken as index of OC. Probabilistic-physical model DN-distribution is used to simulate the failure of individual elements of an object. The formalized description of the CBM strategy is introduced. Briefly considered SSM algorithm, in which the CBM model is implemented. Software developed using SSM system programming Delphi.*

*The study of some properties of CBM strategies is made using a simple example of ORT object.*

*Keywords: object of radioelectronic equipment, reliability index, technical condition of object, simulation statistical modeling, condition-based maintenance.*