

ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОДНОТИПНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ

В.В. Кузавков, П.В. Хусаїнов

Військовий інститут телекомунікацій та інформації імені Героїв Крут,
вул. Московська, 45/1, Київ, 01011, Україна; e-mail: nevse@ukr.net

Розглянуто підходи, засновані на фізичних передумовах до прогнозування технічного стану (визначення ресурсу) радіоелектронних об'єктів, які потрапляють під визначення «однотипні програмно-апаратні засоби». Прогнозування технічного стану радіоелектронного обладнання (РЕО) – важлива складова частина теорії надійності, а показники «ресурс» і «термін служби» є одними з основних понять цієї теорії. Особливе місце має задача прогнозування ресурсу (визначення часу до досягнення критичного стану) РЕО на стадії експлуатації. Дана задача пов'язана з оцінкою поточного стану та його прогнозом на майбутнє, оцінкою ймовірностей настання відмов, ризику аварійних ситуацій. На основі прогнозу встановлюється термін чергового контролю стану РЕО або призначається гранично-допустимий термін експлуатації. Процес прогнозування принципово можливий в разі наявності діагностичного параметру (ДП), який відповідає умовам вимірюваності, інваріантності до впливу завад, інформативності, а також адекватної діагностичної моделі об'єкту контролю, (яка встановлює зв'язок між простором стану технічного пристрою і простором діагностичних ознак). В статті розглядається вирішення завдань технічної діагностики для сукупності технічних засобів прийому, передачі збереження та обробки інформації під управлінням програмної складової зазначеного технічного об'єкту. Застосування фізичних передумов функціонування РЕО для оцінки ресурсу технічних засобів радіоелектроніки стало можливим з появою та розвитком теорії дефектоутворення в напівпровідникових структурах, виникненням нових методів збору діагностичної інформації на основі стохастичних процесів зміни струму в напівпровідникових структурах в залежності від часу напрацювання. Запропоновано діагностичну модель, яка враховує швидкі та повільні процеси у об'єкту контролю, розглянуто теоретичні та практичні питання прогнозування ресурсу РЕО.

Ключові слова: прогнозування, діагностичний параметр, фізико-хімічні процеси, радіоелектронне обладнання, діагностична модель

Вступ

Прогнозування технічного стану – процес визначення технічного стану об'єкту на майбутній період часу, що заснований на застосуванні методів екстраполяції явищ на майбутній час за відомими результатами спостережень (за відповідними явищами в попередній період).

Параметрами, які використовуються для прогнозування, можуть бути:

- експлуатаційні параметри, що вимірюються штатними приладами (застосовується функціональна діагностика) без виведення обладнання з експлуатації;
- параметри технічного стану, що вимірюються зовнішнім устаткуванням (автономними автоматизованими системами діагностування) із зупинкою обладнання, частковим або повним розбиранням.

В процесі функціонування радіоелектронного обладнання (РЕО) в умовах прийнятої планово-попереджувальної стратегії технічного обслуговування і ремонту прогноз технічного стану з суто теоретичного питання (прогноз остаточного ресурсу устаткування) переходить до практичного аспекту: чи здатне функціонувати

устаткування до наступного терміну планових регламентних робіт. Інакше кажучи, період прогнозування технічного стану (ТС) цілком визначений. Необхідно мати відповідь на питання: чи збережеться працездатний стан об'єкту контролю до моменту наступного контролю функціонування (регламентних робіт) [1,2].

Існує два основних напрямки визначення ресурсу об'єкту: напрямок, заснований на імовірносних методах оцінки, та заснований на фізичних передумовах функціонування об'єкту контролю [3-5].

Застосування імовірнісних методів оцінки ресурсу вимагає виконання умови статистичної стійкості [5]. Оцінка ресурсу унікального обладнання, існуючого в одиничному виконанні або в умовах обмеженої кількості таких зразків, є завданням індивідуального прогнозування, коли передбачається поведінка окремо взятого виробу за певний період часу. В цьому випадку не виконуються умови статистичної стійкості, використання імовірнісних методів сумнівно.

Застосування фізичних передумов функціонування РЕО для оцінки ресурсу до недавнього часу не дозволяло врахувати різноманіття реальних умов експлуатації [3]. Ситуація змінилася з появою нових досягнень в області технічної діагностики. Розвиток теорії дефектоутворення в напівпровідникових структурах, виникнення нових безконтактних методів збору інформації, реєстрації значень діагностичного параметру на основі стохастичних процесів зміни струму в напівпровідникових структурах дозволяють не лише вирішувати дві основні задачі технічної діагностики – визначення технічного стану і локалізація несправності, а й впритул підійти до вирішення третьої задачі – прогнозування технічного стану об'єктів РЕО [6,7].

Результати, отримані в ході проведення прискорених випробувань типових радіоелектронних компонентів (РЕК) в рамках розвитку теорії дефектоутворення у напівпровідникових структурах, дозволили з високою вірогідністю підтвердити адекватність математичних моделей РЕК, ефективність і придатність діагностичного параметра на основі стохастичних процесів зміни струму для прогнозування технічного стану сучасних радіоелектронних компонентів та програмно-апаратних засобів на їх основі [8,9].

Мета роботи

В статті розглядаються особливості вирішення завдань технічної діагностики для об'єктів, які підпадають під визначення «однотипних програмно-апаратних засобів», а саме сукупність технічних засобів прийому, передачі, збереження та обробки даних під управлінням (керівництвом) програмної складової (сукупність технічних засобів РЕО, які є практичною реалізацією моделі OSI).

Метою роботи є доведення узагальненої схеми діагностичної моделі одного з видів радіоелектронного устаткування (озброєння) – однотипних програмно-апаратних засобів та підходів до визначення їх ресурсу (прогнозування), заснованих на фізичних передумовах функціонування таких об'єктів; представлення варіантів практичного визначення ресурсу технічних засобів РЕО в залежності від обсягу наявної інформації.

Основна частина

Відомо, що однією з задач, які вирішуються технічною діагностикою на рівні з визначенням технічного стану та пошуком несправностей, є прогнозування технічного стану об'єкту контролю. Отримані дані застосовуються при експлуатації з метою попередження аварійних станів або при виході з ладу для скорочення часу відновлення. Враховуючи особливості запропонованого об'єкту контролю (кількісну розмірність, територіальне рознесення, різноманіття технічних засобів), прийняття рішення на

відновлення працездатного стану в реальному часі неможливо без застосування автоматизованих систем та заздалегідь підготовленого плану відновлювальних робіт. Тому в автоматизованій системі діагностування застосовуються елементи системи підтримки прийняття рішень. Структурна схема, що представлена на рис. 1, пояснює процес діагностування визначеного класу устаткування (зазначеного об'єкту контролю).

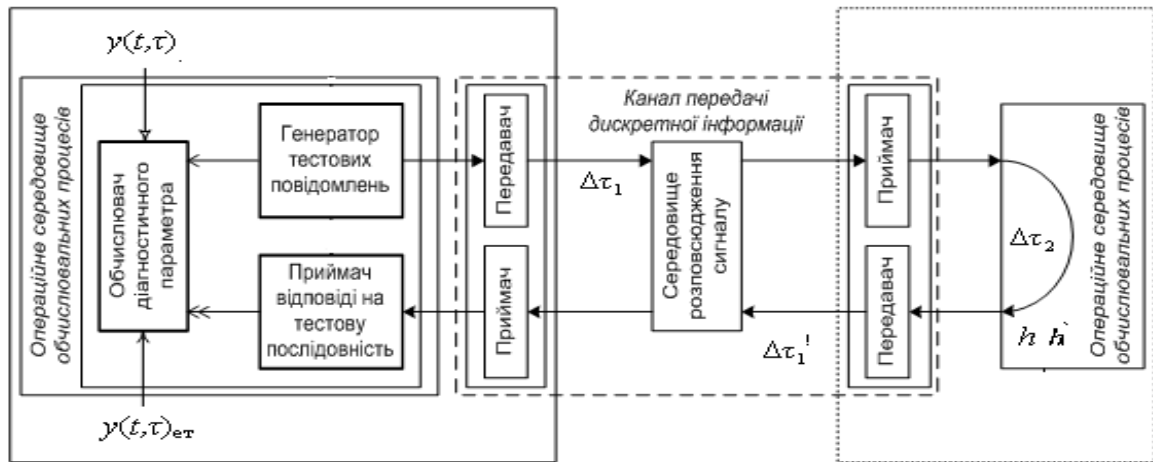


Рис. 1. Узагальнена схема проходження тестових послідовностей у системі однотипних програмно-апаратних засобів

На рис. 1 позначено напрямки проходження спеціально підготовлених тестових повідомлень та основні складові енергетично-часового діагностичного параметру, а саме: $y(t, \tau)$, $y(t, \tau)_{et}$ – діагностичний параметр та еталонне значення діагностичного параметру (ДП), які залежать від конструктивних параметрів: \dot{h} – апаратної складової об'єкту контролю, амплітудної та фазочастотної характеристики тракту формування (АЦП, ЦАП перетворень) та передачі тестових повідомлень; t – час напрацювання об'єкту контролю; τ – тривалості перевірних тестових послідовностей; $\Delta\tau_{\Sigma} = \Delta\tau_1 + \Delta\tau_2 + \Delta\dot{\tau}_1$ – сумарне прирощення часу; $\Delta\tau_1 \Delta\dot{\tau}_1$ – часове прирощення, пов'язане з функціонуванням апаратної частини об'єкту контролю; $\Delta\tau_2$ – прирощення часу, яке характеризує затримки, обумовлені дисципліною обслуговування (обробки) тестових повідомлень у термінах теорії масового обслуговування, вплив параметрів налаштування операційного середовища h .

Слід відзначити, що складова $\Delta\tau_2$ також відображує в собі параметри апаратної частини \dot{h} (обсяг пам'яті, частота процесору, частота опитування пристроїв вводу-виводу і т. ін.), оскільки обчислювальні процеси виконуються відповідною складовою апаратної частини.

Нехай основні функціональні властивості об'єкту контролю характеризуються оператором L , який пов'язує вхідні і вихідні сигнали $U_{вх}(t)$ і $U_{вих}(t)$, конструктивні параметри h, \dot{h} , а також враховує залежність вихідного сигналу $U_{вих}(t)$ від фактору збудження $\Delta U(t, \tau)$, який, в свою чергу, породжений спеціально підготовленим вхідним перевірним тестом та має ознаки тривалих (t) та швидких (τ) процесів.

Показник функціонування об'єкту контролю – діагностичний параметр $y(t, \tau)$ (зміна технічного стану РЕО контролюється за стохастичними змінами струму, який протікає в шині живлення об'єкту контролю) [6] залежить не тільки від конструктивних параметрів h та перевірних тестів тривалістю τ , а і від часу функціонування об'єкту

контролю t та пов'язаними з ним фізико-хімічними процесами в напівпровідникових структурах та компонентах об'єкту контролю.

Узагальнена схема діагностичної моделі представлена на рис .2.

Визначений тип об'єкту контролю (діагностування) складається з взаємопов'язаних частин: апаратної (конструктивні параметри \dot{h}) та програмної, яка визначає алгоритм функціонування апаратної частини (конструктивні параметри h). Тому запропоновано діагностичний параметр, який складається з двох складових: перша – енергетична на основі стохастичних процесів зміни струму, друга – часова для відображення часу (зміни часу) виконання елементарних функцій при опрацюванні вхідної тестової послідовності.

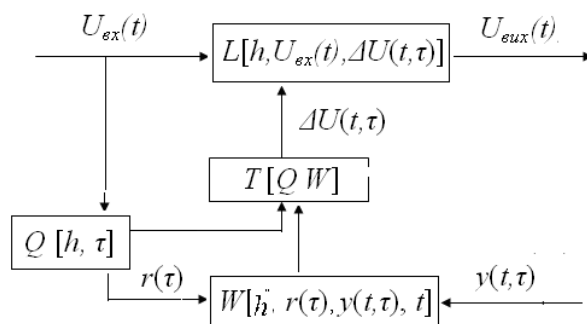


Рис. 2. Узагальнена схема діагностичної моделі

Оператор Q пов'язує між собою конструктивні параметри h (склад програмних модулів або елементарних функцій) та вхідні перевірені тести (з тривалістю τ).

Параметр $r(\tau)$ відображає вплив програмної складової на апаратну складову об'єкту контролю.

Оператор W пов'язує між собою конструктивні параметри \dot{h} (склад апаратної частини), вплив керуючої програмної складової $r(\tau)$, та енергетичну складову діагностичного параметру $y(t, \tau)$.

Оператор T введено для мультиплексування (поєднання) та відображення внеску обох конструктивних параметрів об'єкту контролю \dot{h}, h (програмного та апаратного) у фактор збудження $\Delta U(t, \tau)$ (поєднання операторів операторами Q та W).

Зміна струму, енергетичної складової ДП в результаті старіння (за часом) відбувається значно повільніше, в порівнянні з флуктуаціями основних експлуатаційних (функціональних) показників. Динаміка зміни діагностичного параметру розглядається протягом усього життєвого циклу РЕО.

Отже, представлена модель враховує два види процесів, які відбуваються в тракці проходження тестових повідомлень: швидкі τ – флуктуація експлуатаційних (функціональних) показників і повільні t – розвиток дефектів в напівпровідникових структурах. Швидкі процеси визначають технічний стан об'єкта контролю на момент діагностування (в момент часу контролю), а повільні – параметричну надійність об'єкту контролю.

Залежно від математичного апарату, який застосовується, в теорії розрізняють: експертні оцінки; аналітичні оцінки (розрахунки); імовірнісні, коли в результаті прогнозування визначається ймовірність виходу (невиходу) параметру або параметрів ТС за допустимі межі; статистична класифікація (розпізнавання образів), коли в наслідок прогнозування визначається клас об'єкту, який діагностується за критерієм працездатності [3,5].

Серед параметрів технічного стану (ПТС) розрізняють прямі (безпосередньо характеризують конкретні властивості об'єкту або його складової частини) і непрямі

(параметр ТС, пов'язаний з прямим ПТС детермінованою або стохастичною залежністю) параметри.

Прогнозування ресурсу виробу за непрямыми параметрами засноване на врахуванні наступних умов:

- відомі фізичні процеси, які призводять до ресурсних відмов, а також математичні моделі зміни прямих (структурних) і непрямих (діагностичних) параметрів;

- для кожного прямого ПТС встановлені граничні значення, досягнення яких визначає величину ресурсу за цим параметром;

- в процесі спостереження за зміною технічного стану виробу є можливість фіксації параметрів, які відображають індивідуальні особливості об'єкту контролю;

- існує інформація про функціональні або регресійні співвідношення між прямими і непрямыми ПТС;

- залежність між математичними очікуваннями прямих і непрямих ПТС є монотонною і неперервною.

У випадку прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів визначення ресурсу (за непрямыми ПТС) супроводжується трьома видами похибок: похибками вимірювання непрямих параметрів; похибками, пов'язаними з випадковою природою фізичних процесів розвитку відмов; методичними похибками визначення прямих ПТС за значеннями непрямих. При цьому, залежно від обсягу наявної інформації щодо об'єкту контролю, можливі три групи типових ситуацій.

Перша група:

- відомий вид функції F , яка визначає зв'язок між прямим і непрямым параметрами, та усі коефіцієнти і дисперсії цих коефіцієнтів;

- існують результати періодичних вимірювань непрямого параметру.

Друга група:

- вид функції F відомий, коефіцієнти невідомі;

- існують результати періодичних вимірювань непрямого параметру та результати навчального експерименту, в процесі якого відбувається одночасне вимірювання прямого і непрямого ПТС.

Третя група:

- функція F монотонна і неперервна (загальний вид невідомий);

- існують результати навчального експерименту.

Дисперсія оцінки ресурсу представлена у вигляді суми трьох доданків:

- похибки вимірювань;

- похибки визначення коефіцієнтів функції F ;

- похибки визначення дисперсії випадкової зміни збільшення параметру контролю.

Застосування відомих співвідношень ускладнюється необхідністю значного обсягу попередніх досліджень для встановлення вихідних даних.

Найбільш доступним для практичного використання є метод, заснований на степеневій апроксимації зміни ПТС для прогнозування процесів погіршення технічного стану об'єкту контролю.

Математичний опис процесу зміни параметру технічного стану $Y(t)$ ґрунтується на апроксимації кожної реалізації цього процесу випадковою функцією виду:

$$Y(t) = Kt^\alpha + z(t),$$

де K – випадкове для групи однойменних складових частин, але незмінне значення показника швидкості зміни діагностичного параметру для кожної реалізації випадкового процесу; α – показник ступеню функції апроксимації, який характеризує

конструктивні особливості складової частини об'єкту контролю; $z(t)$ – нормальний стаціонарний випадковий процес відхилень фактичних значень параметру контролю від апроксимуючої степеневі функції кожної реалізації процесу $Y(t)$.

Статистичні характеристики випадкового процесу $z(t)$ (при $t > 0,3T_{cp}$) наступні:

$$M[z(t)] = 0;$$

$$D[z(t)] = \sigma^2;$$

$$R[z(t), z(t + \Delta t)] = R(\Delta t);$$

$$f[z(t_k)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{z^2(t_k)}{2\sigma^2}\right],$$

Середній ресурс складової частини об'єкту контролю обчислюють на основі інформації про зміну параметра її технічного стану Y_k і про напрацювання t_k до моменту контролю за наближеною формулою:

$$t^{cp} = t_k \left[\left(\frac{Y_n}{Y_k} \right)^{1/2} - 1 \right] K_t.$$

При $s < 0,03Y_n$ можливо не враховувати поправочний коефіцієнт K_t .

Запропонований метод забезпечує необхідну точність оцінки в тому випадку, якщо зміна параметру технічного стану до моменту контролю становить не менше половини граничного відхилення параметра Y_n та при дотриманні умови $t_p < 0,5t_k$. При виконанні наведених умов похибка прогнозування не перевищує 8-9%.

Описаний підхід (метод) може бути використано для лінійного

$$Y(t) = C_1 + C_{2t}, \quad (1)$$

квадратичного

$$Y(t) = C_1 + C_{2t} + C_{3t}, \quad (2)$$

та експонентного

$$Y(t) = \exp\{C_1 + C_{2t}\} \quad (3)$$

законів зміни діагностичного параметру. Коефіцієнти C_1, C_2, C_3 – невідомі.

Для використання методу необхідно переконатися в тому, що зміна контрольованого параметра підпорядковується одному із законів (1-3), а його дисперсія не змінюється зі збільшенням напрацювання виробу.

Показник Y_i оцінюється за вимірними значеннями контрольованого параметру

$$Y_i = F(t_i) + D_i, \quad i = \overline{1, N},$$

де t_i – значення напрацювання в i -й час.

Кількість вимірів N обирають з умови: $N > 2m$, де m – кількість невідомих коефіцієнтів закону зміни діагностичного параметру.

Моменти вимірювань t_i обирають таким чином, щоб випадкові величини D_i були незалежними.

Теоретичним підґрунтям методу є оцінка відповідних показників за методом найменших квадратів. Можлива послідовність розрахунків наступна:

1. Здійснюються N вимірювань діагностичного параметру $Y_i, i = \overline{1, N}$ в певні моменти часу t_i .

2. Обчислюються величини: $Y_1 = \sum Y_i; Y_2 = \sum t_i Y_i; X_1 = \sum t_i; X_2 = \sum t_i^2;$
 $D = N \sum t_i^2 - (\sum t_i)^2; D_{22} = N/D; D_{11} = \sum t_i / D; D_{12} = D_{21} = -\sum t_i / D,$ де \sum – сума по i від 1 до N .

3. Обчислюються крапкові оцінки коефіцієнтів закону (1-3).

4. Обчислюється оцінка середнього квадратичного відхилення діагностичного параметру: $\sigma = \sqrt{S/(N-2)},$ де $S = S(Y_i - C_1 - C_2 * t_i)^2.$

5. Обчислюються оцінки – середні квадратичні відхилення коефіцієнтів C_1 та C_2 :
 $\sigma_1 = \sigma \sqrt{D_{11}}; \sigma_2 = \sigma \sqrt{D_{22}}.$

6. Обчислюються гарантовані оцінки коефіцієнтів: $C_j = C_j \pm K \times s_j, j=1;2,$
 “+” – для випадку коли параметр зростає, “-” – для випадку коли параметр зменшується; g – довірна ймовірність; при $g = 0,9, K = 1,282;$ при $g = 0,95, K = 1,6459;$ при $g = 0,99, K = 2,326;$

7. Обчислюється очікуваний ресурс та гарантований остаточний ресурс:
 $T_{\text{ф}} = \frac{(Y_{\text{п}} - C_1)}{C_2} - t_k; T_g = \frac{(Y_{\text{п}} - C_1)}{C_2} - t_k,$ де t_k – напрацювання на момент останнього контролю.

Основні результати. Організаційно будь-який засіб РЕО в Збройних Силах України супроводжується комплектом технічної документації (в паперовому вигляді та з відповідним обліком). Такий підхід не тільки закріплює персональну відповідальність за експлуатацію технічних засобів, але й забезпечує безперервний облік напрацювання (безперервний збір та облік статистичних даних, необхідних для прогнозування). Однак в сучасних умовах все частіше постачаються технічні засоби закордонного виробництва. При цьому, як правило, відсутня технічна документація, в якій присутній облік напрацювання. Обидва типи технічних засобів повинні функціонувати в єдиній прийнятій планово-попереджувальній системі технічного обслуговування та ремонту.

Розглянемо два варіанти практичного визначення ресурсу технічних засобів РЕО:

– характерний для нових зразків техніки, отриманих безпосередньо із заводу виробника – прогнозування ресурсу при відомому напрацюванні від початку експлуатації;

– характерний для зразків, які перебували на озброєнні при невідомому напрацюванні від початку експлуатації.

Обидва варіанти передбачають наявність та функціонування автоматизованої системи діагностування з елементами системи прийняття рішень.

У роботах [8,9] наведено порівняння (умови проведення порівняння) результатів натурних випробувань з результатами аналітичних досліджень діагностичних моделей РЕК, з яких складаються сучасні зразки РЕО, для подальшого використання при вирішенні завдань технічної діагностики. Аналітична модель радіоелектронного компоненту (РЕК) (модель зміни діагностичного параметру) отримана з урахуванням фізико-хімічних процесів, які відбуваються в напівпровіднику протягом часу його експлуатації. Результатом натурних випробувань (форсованих випробувань), в основі яких лежить сукупність теоретично та експериментально обґрунтованих

закономірностей та допущень, є математичне очікування динаміки зміни діагностичного параметру. Внаслідок порівняння результатів, отриманих аналітично та експериментально, визначено ступінь їх подібності з урахуванням відносної похибки моделювання. Закономірність зміни енергетичної складової діагностичного параметру наведено на рис. 2.

В свою чергу, часова складова, запропонованого для програмно-апаратних засобів діагностичного параметру, також має певну динаміку змін, яка залежить від параметрів перевірного тесту.

Спрощені графічні залежності динаміки зміни діагностичного параметру, для наочного представлення процедури визначення ресурсу, наведені на рис. 3, використовуються наступні позначення: $I_{дп}$ – енергетична складова діагностичного параметру (струм), $t_{кр}$ – критичний час напрацювання.

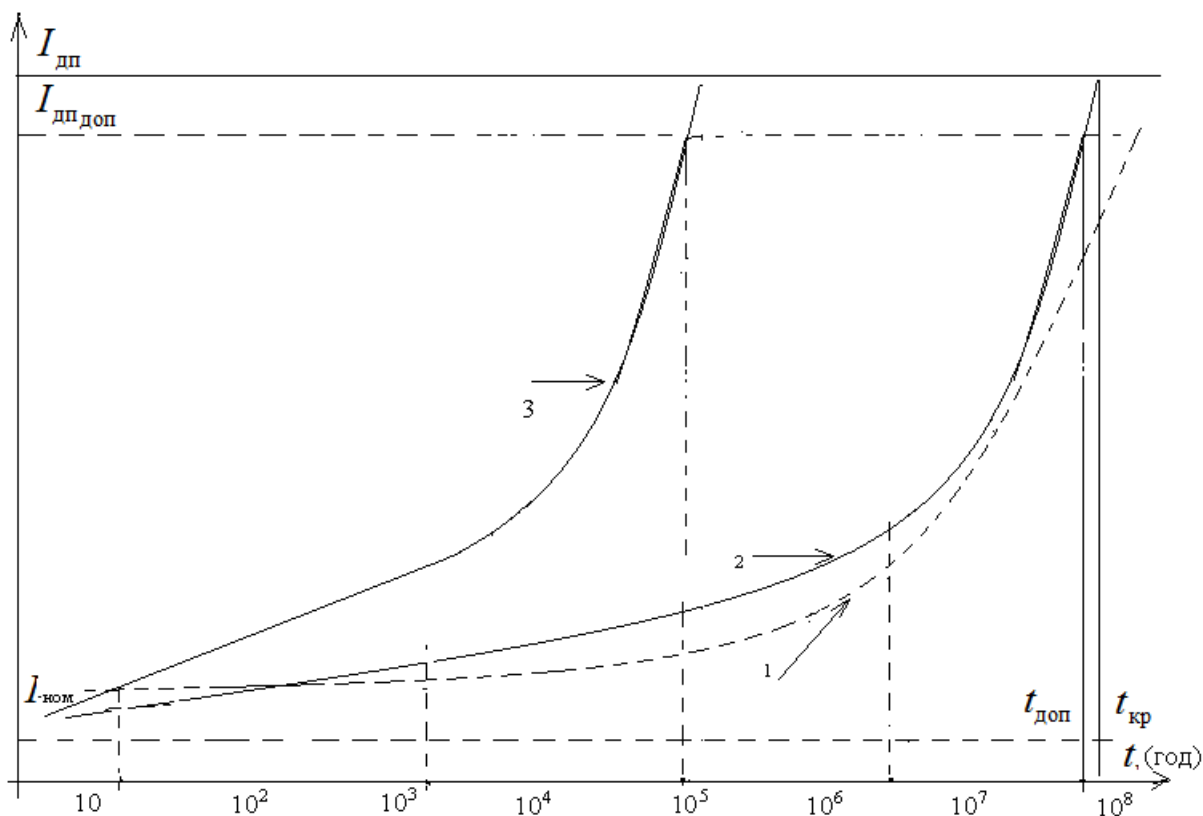


Рис. 3. Зміни діагностичного параметру простішого РЕК: 1 – експериментальна крива, 2 – аналітична крива, 3 – динаміка зміни струму у випадку складного (10^3 РЕК) об'єкту контролю

Розглянемо процедуру визначення ресурсу (часу досягнення критичного стану) зразку РЕО (P_p) на прикладі енергетичної складової діагностичного параметру. При використанні запропонованої автоматизованої системи діагностування в базі даних такої системи повинна бути низка вихідних даних (перелік необхідної інформації наведено у табл.1).

Визначення ресурсу (P_p) при відомій закономірності зміни діагностичного параметру представлено на схемі (рис. 4). В частині рис. 4 (а) використані наступні позначення: $P_{вик}$ – використаний ресурс до моменту контролю; $I_k = \Pi_k - \Pi_n$ – зміна значення параметра до моменту контролю (діагностування); $I_{гр} = \Pi_{гр} - \Pi_n$ – граничне зміна значення параметра; P_p – шуканий ресурс.

Таблиця 1.

Дані для визначення ресурсу РЕО

| № | Вихідні дані | Позначення | Джерело |
|---|---|------------|-------------------------------|
| 1 | Номінальне значення діагностичного параметру | P_n | Технічна документація |
| 2 | Граничне значення діагностичного параметру | $P_{гр}$ | Технічна документація |
| 3 | Показник, який характеризує закономірність змін значення діагностичного параметру | α | Технічна документація |
| 4 | Напрацювання від початку експлуатації | $P_{вик}$ | Технічна документація |
| 5 | Значення діагностичного параметру (вимірюється під час контролю) | P_k | Показання засобів вимірювання |

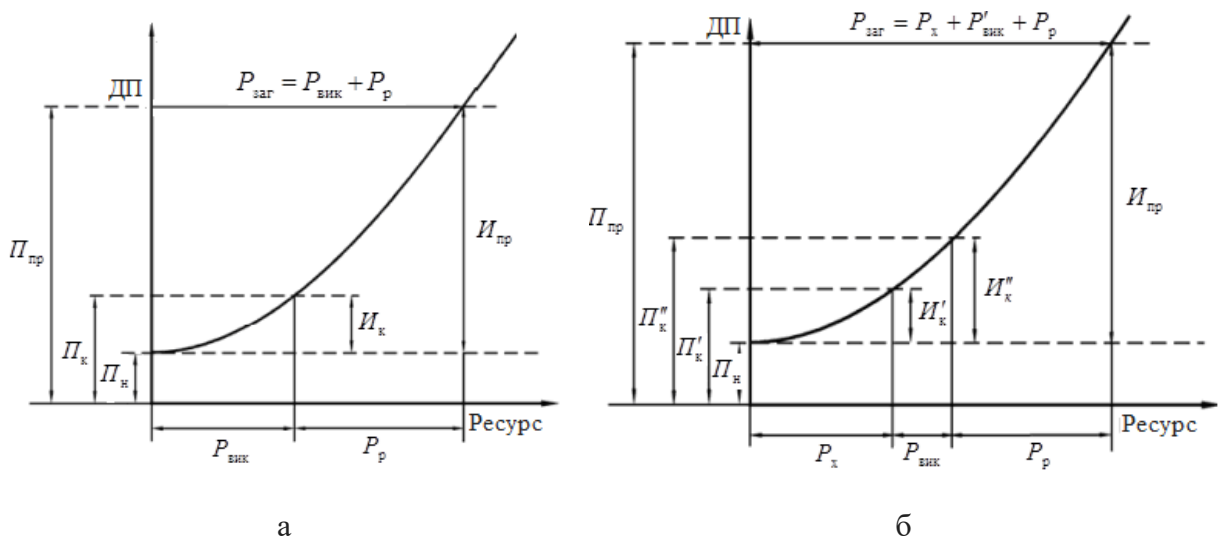


Рис. 4. Спрощена схема визначення ресурсу при: а – відомому напрацюванні об'єкту контролю від початку експлуатації; б – невідомому напрацюванні об'єкту контролю від початку експлуатації

Маючи вказані дані, P_p визначають за формулою [4]:

$$P_p = P_{вик} \left[\left(\frac{\Pi_{пр}}{\Pi_k} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right]. \quad (4)$$

На практиці значення α знаходиться в межах від 0,8 до 2,0 [10]. Значення $\Pi_{пр}$, Π_n , α розраховують заздалегідь і заносять в базу даних автоматизованої системи діагностування об'єкту РЕО для використання при визначенні P_p .

Таким чином, для визначення ресурсу (4) необхідно провести виміри діагностичного параметру і знати напрацювання до моменту виміру. Значення інших показників – табличні.

У другому випадку, коли відомості про напрацювання окремих складових частин РЕО від початку експлуатації або останнього капремонту відсутні, ресурс можливо визначити за значеннями параметрів, виміряних при дворазовому контролі (діагностуванні) та напрацювання між першим і другим вимірюваннями.

Схема прогнозування ресурсу при невідомому напрацюванні від початку експлуатації представлена на рис.4 (б), де використовуються наступні позначення: P'_k – значення параметру при першій перевірці; P''_k – значення параметру при повторній перевірці; $I'_k = P'_k - P_n$ – зміна значення параметру від початку експлуатації до першої перевірки; $I''_k = P''_k - P_n$ – зміна значення параметру від початку експлуатації до повторної перевірки; $I_{пр} = P_{пр} - P_n$ – гранична зміна значення параметру; P_x – використаний ресурс (величина невідома); $P'_{вик}$ – ресурс, використаний за час роботи між першою і другою перевірками.

Таким чином, для визначення P_p при невідомому напрацюванні зразку РЕО з початку експлуатації необхідно виміряти значення контрольованого параметру не менше двох разів і знати напрацювання за час роботи між цими вимірами.

В цьому випадку P_p визначають за формулою [4]:

$$P_p = P'_{вик} \left[\frac{1}{\left(\frac{I''_k}{I'_k}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1} \left(\frac{I_{пр}}{I_k}\right)^{\frac{1}{\alpha}} + 1 \right] \left[\left(\frac{I_{пр}}{I''_k}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right].$$

Висновки

Прогнозування технічного стану принципово можливе лише в разі наявності інформаційного діагностичного параметру та адекватної діагностичної моделі об'єкту контролю.

На сьогодні в ЗСУ функціонують зразки та системи РЕО, для яких характерна наявність програмної та апаратної складової. При цьому фактичне напрацювання таких об'єктів може бути відоме та невідоме. Для обох випадків необхідно вирішення задач технічного діагностування. Вирішення зазначеної задачі можливе при застосуванні автоматизованої системи діагностування. Визначення ресурсу об'єктів РЕО та обґрунтування часу проведення регламентних робіт дозволить скоротити число відмов РЕО в процесі експлуатації, виключити позапланову (аварійну) зупинку, заощадити кошти на відновлення, збільшити міжремонтний період напрацювання.

Напрямок подальших досліджень є :

- встановлення динаміки зміни узагальненого енергетично часового діагностичного параметру;
- визначення та обґрунтування припустимих меж цього параметру в двомірній площині;
- використання отриманої інформації для обґрунтування періодичності контролю та регламентних робіт однотипних програмно-апаратних засобів як одного з видів сучасних об'єктів РЕО.

Список літератури

1. Клюев, В.В. Технические средства диагностирования: справочник / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук. — М.: Машиностроение, 2009. — С. 448.
2. Ершов, Д.Ю. Техническое диагностирование и методы контроля механических узлов в машиностроении. – Москва, 2013. — № 4. — С. 62-64.

3. Стрельников, В.П. Состояние и перспективы теории и практики надежности. Надежность и долговечность машин и сооружений: Международный научно-технический сборник. – Москва, 2005. — № 24. — С. 27-38.
4. Лебедев, А.Н. Вероятностные методы в инженерных задачах: справ. / А.Н. Лебедев, М.С. Куприянов, Д.Д. Недосекин, Е.А. Чернявский. – СПб.: Энергоатомиздат. 2008. – 333 с.
5. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – М.: Мир, 2010. — 3-е изд. — 412 с.
6. Вишнівський, В.В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків : збірник наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, Б.П. Креденцер, В.В. Кузавков. – Київ, 2013. — № 43. — 336 с.
7. Кузавков, В.В. Діагностична модель р-п (п-р) переходу в динамічному режимі для безконтактного індукційного методу діагностування / М.К. Жердев / збірник наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. – Київ, 2014. — № 45. — 317 с.
8. Жердев, М.К. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, І.В. Пампуха / збірник наук. праць ВІКНУ ім. Т. Шевченка. – Київ, 2015. — № 49. — С. 40-47.
9. Жердев, М.К. Перевірка адекватності аналітичної моделі радіоелектронного компоненту / М.К. Жердев, В.В. Кузавков / науковий журнал Інформаційна безпека Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. – Луганськ, 2014. — № 3 (15). — С. 76-81.
10. Судакова, Р.С. Надежность и эффективность в технике. Экспериментальная отработка и испытания / Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – М.: Машиностроение, 2011. — Т.6. — 408 с.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОДНОТИПНЫХ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Кузавков, П.В. Хусаинов

Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут,
ул. Московская, 45/1, Киев, 01011, Украина; e-mail: nevse@ukr.net

В статье рассмотрены подходы, основанные на физических предпосылках, к прогнозированию технического состояния (определение ресурса) радиоэлектронных объектов, которые попадают под определение «однотипные программно-аппаратные средства». Прогнозирование технического состояния радиоэлектронного оборудования (РЭО) – важная составная часть теории надежности, а показатели «ресурс» и «срок службы» являются одними из основных понятий этой теории. Особое место имеет задача прогнозирования ресурса (определение времени достижения критического состояния) РЭО на стадии эксплуатации. Данная задача связана с оценкой текущего состояния и его прогнозом на будущее, оценке вероятностей наступления отказов, риска аварийных ситуаций. На основе прогноза устанавливается срок очередного контроля состояния РЭО или назначается предельно допустимый срок эксплуатации. Процесс прогнозирования принципиально возможен при наличии диагностического параметра, который соответствует условиям измеримости, инвариантности к воздействию помех, информативности, а также адекватной диагностической модели объекта контроля (которая устанавливает связь между пространством состояния технического устройства и пространством диагностических признаков). В статье рассматривается решение задач технической диагностики для совокупности технических средств приема, передачи хранения и обработки информации под управлением программной составляющей указанного технического объекта. Применение физических предпосылок функционирования РЭО для оценки ресурса технических средств радиоэлектроники стало возможным с появлением и развитием теории дефектообразования в полупроводниковых структурах, возникновением новых методов сбора диагностической информации на основе стохастических процессов изменения тока в полупроводниковых структурах в зависимости от времени наработки. Предложена диагностическая модель, которая учитывает быстрые и медленные процессы в объекте контроля, рассмотрены теоретические и практические вопросы прогнозирования ресурса РЭО.

Ключевые слова: прогнозирование, диагностический параметр, физико-химические процессы, радиоэлектронное оборудование

FORECASTING THE TECHNICAL STATE OF THE SAME TYPE SOFTWARE AND HARDWARE EQUIPMENT

V.V. Kuzavkov, P.V. Khusainov

Military Institute of Telecommunication and Information Technologies named after Heroes Krut,
45/1, Moscovska Str., Kiev, 01011, Ukraine; e-mail: nevse@ukr.net

In the article, the approaches based on physical conditions are precondition for the prediction of the technical condition (determination of the resource) of radio-electronic objects that fall under the definition of "the same type of software and hardware". Technical station prediction of the radio electronic equipment (REE) is an important part of the reliability theory, and the resource and service performance are part of the theory basic understanding. A special role is played by the task of forecasting the REE resource (determining the time to reach the critical state) at the operational stage. The given task connected with an estimation of a current condition and its forecast for the future, probabilities of approach refusals estimation, emergencies risk. On the forecast basis, the period for the next monitoring REE condition is established or the maximum permissible service life is set. The forecasting process is possible in principle if there is a diagnostic parameter that corresponds to the conditions of measurability, invariance to interference, informatively, and an adequate diagnostic model of the monitoring object (which establishes a connection between the technical device state space and the space of diagnostic features). The article considered the solution of technical diagnostics tasks for a technical means set of reception, storage and processing transmission of information under the specified technical objects program component control. Using of the physical prerequisites for the REO functioning to evaluate technical means of radio electronics resource became possible with the advent and development of the defect formation in semiconductor structures theory, the emergence of new methods for collecting diagnostic information based on stochastic processes of current change in semiconductor structures, depending on the time elapsed. The diagnostic model, which takes into account the fast and slow processes in the object of control, is offered, theoretical and practical questions of REO resource forecasting are considered.

Keywords: forecasting, diagnostic parameter, physico-chemical processes, radio-electronic equipment