

Розвиток радіотехнічного забезпечення, АСУ та зв'язку Повітряних Сил

УДК 681.35

DOI: 10.30748/nitps.2019.34.10

М.К. Жердев¹, С.І. Глухов², М.М. Нікіфоров³

¹ Військовий інститут телекомунікації та інформатизації, Київ

² Київський національний університет ім. Т. Шевченка, Київ

³ Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, Київ

МЕТОДИКА ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Стаття присвячена розробці методики обробки діагностичної інформації для автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. В основу методики покладені отримані при проведенні прискорених випробувань залежності діагностичних параметрів радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв від часу наробітку на відмову. Висновок про технічний стан цифрових пристроїв буде ґрунтуватись на порівнянні значень діагностичних параметрів, отриманих в результаті перевірки технічного стану сучасними методами фізичного діагностування (енергодинамічним, енергостатичним, електромагнітним), з еталонними. У запропонованій автоматизованій системі технічного діагностування радіоелектронної техніки необхідність використання методів фізичного діагностування викликана тим, що методи функціонального діагностування цифрових пристроїв не дозволяють визначати їх реальний технічний стан. Через невизначений час після проведення функціонального діагностування, а частіше короткий його проміжок, виникає раптова відмова блоку об'єкта радіоелектронної техніки. Принципово новим є і наявність центрів обробки діагностичної інформації, до бази знань якої буде надходити діагностична інформація, отримана при проведенні діагностування цифрових пристроїв. Прямий зв'язок центрів обробки діагностичної інформації з заводами радіоелектронної апаратури дозволить останнім отримувати цю інформацію для здійснення більш точних розрахунків значень діагностичних параметрів радіоелектронних компонентів як еталонних, а наявність зворотнього зв'язку забезпечить використання оновлених значень еталонів для визначення технічного стану об'єктів радіоелектронної техніки. Впровадження нової системи технічного діагностування дозволить зменшити кількість раптових відмов радіоелектронної техніки, що призведе до збільшення її коефіцієнту готовності як основної характеристики надійності, а також дасть можливість визначати з заданою ймовірністю її остаточний ресурс.

Ключові слова: радіоелектронний компонент, радіоелектронна техніка, цифровий пристрій, метод діагностування, діагностичний параметр, автоматизована система технічного діагностування.

Вступ та постановка завдання

При проведенні функціонального діагностування цифрових пристроїв (ЦП) радіоелектронної техніки (РЕТ) на їх входи подаються перевірочні тестові послідовності, які складаються з частинних перевірочних тестів для радіоелектронних компонентів (РЕК) [1–4]. На основі порівняння отриманих реакцій з еталонними робиться висновок про технічний стан ЦП. Суттєвим недоліком функціонального діагностування є те, що під час його проведення на виході РЕК, характеристики якого є критичними, формується сигнал рівня порогу, при якому з'єднаний з ним наступний елемент спрацьовує, як і у випадку, коли попередній має параметри, що відповідають нормі. Через непередбачуваний, а в де-

яких випадках дуже короткий проміжок часу після проведення функціонального діагностування, РЕК стане технічно несправним, що призведе до раптового виходу зі строю ЦП РЕТ. При виході зі строю елементів електронного обладнання стратегічних об'єктів це може мати катастрофічні наслідки.

У [5] був проведений аналіз сучасних методів фізичного діагностування РЕТ, які, на відміну від методів функціонального діагностування, дозволяють визначити реальний технічний стан РЕК на основі значень діагностичних параметрів (ДП) від часу їх наробітку. Було показано, що впровадження розглянутих методів діагностування [6–11] (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) ЦП дозволяє покращити показники надійності РЕТ, а саме зменшити середній час відновлення, і, як на-

слідок, збільшити коефіцієнт готовності як основну характеристику надійності.

У даній статті буде представлена методика обробки діагностичної інформації (ДІ), отриманої з використанням вищевказаних методів. Застосування її в запропонованій автоматизованій системі технічного діагностування РЕТ дозволить підвищити ефективність її використання приблизно на 10–15%, а також надасть можливість здійснювати таку функцію технічної діагностики як прогнозування остаточного ресурсу об'єктів РЕТ.

Основна частина

Для розробки методики обробки ДІ для автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ у даній частині роботи буде представлений зміст методів діагностування, діагностичні моделі (ДМ) для визначення ДІ, а також наближені графіки [12–13] залежності зміни ДІ радіоелектронних компонентів ЦП від частоти та часу наробітку їх на відмову.

Спочатку розглянемо зміст енергодинамічного методу діагностування цифрових пристроїв РЕТ і алгоритм визначення ДІ для нього. Його сутність [1–2; 6; 9] полягає у тому, що ДІ отримується від двох джерел, першим з яких є шина живлення ЦП, а другим його вихідні контакти. Оскільки обробка ДІ, отриманої з першого джерела, утруднена з причини накладання імпульсів у часі, її проведення було запропоновано не в часовій, а у частотній області [1–2; 6; 9]. На основі порівняння спектральної щільності одержаних сигналів і еталонних робиться висновок про технічний стан ЦП.

ДМ сигналу представлена формулою (1):

$$S(t) = U_0 e^{-(\alpha t)^2}, \quad (1)$$

а за формулою (2) розраховується спектральна щільність $S(j\omega)$ сигналів.

$$S(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot e^{-j\omega t} dt = \frac{U_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\alpha t)^2} \cdot e^{-j\omega t} dt = \frac{U_0}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2}. \quad (2)$$

В формулах (1–2) $S(t)$ – значення функції в часі, ω – циклічна частота коливань, U_0 – середнє значення напруги, α – коефіцієнт форми. Графік спектральної щільності, отриманої за допомогою зворотнього перетворення Фур'є, представлений на рис. 1.

За рахунок істотного перевищення рівня сигналів у шині живлення ЦП над шумом стало можливим виділення їх у якості ДІ і доведено, що зміна часових характеристик сигналів відбивається на зміні їх частотних характеристик. Для цього методу був побудований алгоритм прийняття рішення про технічний стан ЦП, який передбачає виконання наступних дій [6; 9].

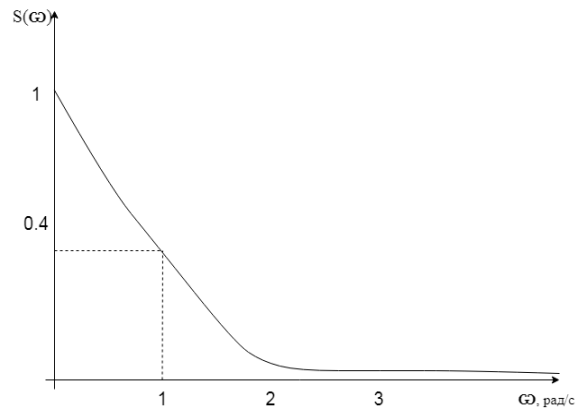


Рис. 1. Залежність спектральної щільності сигналів у шині живлення цифрового пристрою від частоти

На першому кроці була побудована матриця знань, в основу якої входять всі можливі дефекти ЦП та еталони.

На другому кроці здійснюється надходження на вхід ЦП перевірочних тестових послідовностей.

На третьому кроці визначаються отримані значення параметрів ДІ.

На четвертому кроці задаються функції приналежності.

На п'ятому кроці визначаються функції приналежності при отриманих значеннях ДІ.

На шостому кроці здійснюється обчислення значень багатомірних функцій приналежності.

На сьомому кроці приймається рішення про технічний стан ЦП.

Використання даного методу запропоновано на другому рівні системи технічного обслуговування і ремонту для діагностування різних класів ЦП із глибиною пошуку до РЕК [6; 9].

Не зважаючи на відносно велику кількість переваг методу, що розглядається, треба відмітити те, що його впровадження дозволяє визначати технічний стан ЦП, тобто відповісти тільки на питання “справний він чи ні?” в певний момент часу.

Після проведення діагностування через непередбачуваний час РЕК стане технічно несправним, що призведе до раптового виходу зі строю цифрового пристрою РЕТ та наслідків, які описані у вступі даної статті. Такого висновку можна дійти, аналізуючи формули (1–2), а також зміст представленого алгоритму, з яких видно, що значення ДІ не враховує часу наробітку на відмову РЕК цифрових пристроїв.

Далі розглянемо зміст [7; 10] енергостатичного методу діагностування ЦП і визначення ДІ для нього. Структурна схема ЦП представлена на рис. 2.

Метод заснований на отриманні ДІ у корпусній шині ЦП. На виходах інтегральних схем у сталому режимі формуються сигнали або логічної “1” – U^1 , або логічного “0” – U^0 .

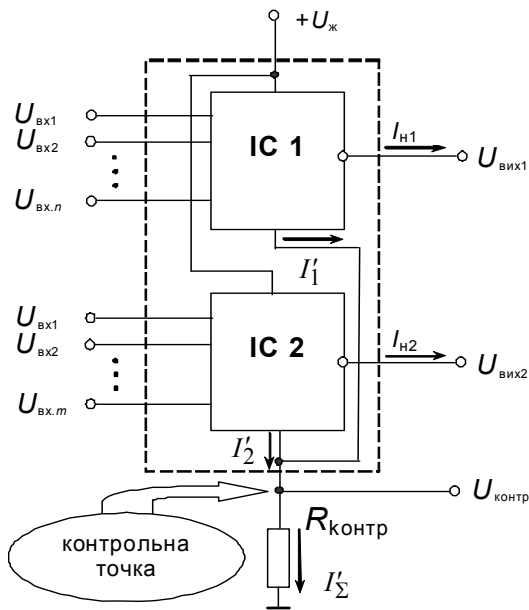


Рис. 2. Структурна схема цифрового пристрою

Несправність будь-якого РЕК цифрового пристрою призведе до того, що логічні елементи перестануть перемикатися, наслідком чого стане зміна значень сигналів на виході ЦП. Водночас це відіб'ється на зміні сигналу у корпусній шині, в яку включений додатковий опір, який є для даного методу діагностування єдиною контрольною точкою, виконання умови транспортування дефекту у яку було доведено у [7; 10]. Діє значення напруги у сталому режимі на цьому опорі.

Побудова ДМ була проведена у чотири кроки [7; 10]. На першому кроці був проведений аналіз внутрішньої структури РЕК. На другому кроці було проведено розбиття на підсистеми з точки зору енергетичних характеристик та визначення груп змінних. На третьому кроці була проведена декомпозиція РЕК. На четвертому кроці був проведений синтез діагностичної моделі РЕК. ДМ для розрахунку значення ДП у контрольній точці представлена формулою (3):

$$y_{\text{контр ЦП}}[nT] = C_{p\text{ЦП}} \Phi_{\text{ЦП}} [(n-n_0)T] x[n_0T]; \quad n \geq n_0, \quad (3)$$

де $y_{\text{контр ЦП}}$ – простір виходу системи; $C_{p\text{ЦП}}$ – розширена матриця; $\Phi_{\text{ЦП}} [(n-n_0)T]$ – матриця переходу; nT – дискретний час; n – відносний момент часу; T – період дискретизації.

Вимірювання параметрів U^0 та U^1 кожного РЕК в процесі експлуатації потребує великих часових витрат. Сумарний час вимірювання параметрів всіх РЕК, які входять до складу ЦП, може бути набагато більше часу, відведеного на проведення технічного обслуговування. Все це ускладнює, а в більшості випадків виключає, можливість викорис-

тання параметрів U^0 , U^1 в якості узагальнюючих і не дає можливості методами функціонального діагностування визначити реальний технічний стан РЕК.

Методика контролю технічного стану ЦП для даного методу діагностування представлена двома етапами [7; 10]. На першому етапі (проектування) створюється діагностичний формуляр ЦП, який містить значення необхідних характеристик та параметрів.

Результатом другого етапу (експлуатації) є визначення технічного стану ЦП.

Перевагою [7; 10] даного методу, на відміну від існуючих, є можливість його застосування як до цифрових, так і для аналогових пристроїв, та зменшення кількості контрольних точок, що призводить до зменшення часу контролю технічного стану ЦП.

Впровадження даного методу дозволяє проводити контроль технічного стану ЦП на першому рівні системи технічного обслуговування і ремонту, тобто там, де знаходиться об'єкт РЕТ. Це дозволяє суттєво зменшити час відновлення несправного пристрою, що, у свою чергу, збільшує коефіцієнт готовності. Крім того, зменшуються транспортні витрати, які з кожним роком стають більш вагомими.

Не зважаючи на суттєві переваги енергостатичного методу, треба відмітити те, що він, як і енергодинамічний, не дозволяє визначати реальний технічний стан радіоелектронних компонентів ЦП, оскільки не враховує часу їх наробітку на відмову, що видно з формули (3).

Далі розглянемо зміст [8] електромагнітного методу діагностування ЦП і визначення ДП для нього. Суть методу полягає в тому, що в якості ДП використовується амплітуда відеоімпульсів, наведених в антені, яка накладається на цифровий РЕК.

На рис. 3 представлена структурна схема пристрою отримання ДІ за допомогою антен.

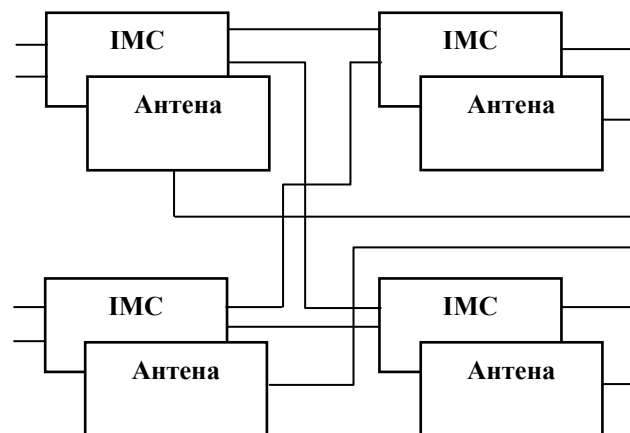


Рис. 3. Структурна схема пристрою отримання діагностичної інформації за допомогою антен

При спрацьовуванні логічних елементів цифрових РЕК навколо них змінюється електромагнітне поле, а в антені, накладеній на корпус РЕК, наводиться електрорушійна сила [8]. Отримана за допомогою антени ДІ являє собою послідовність відеоімпульсів, які надходять до блоку обробки. Порівняння сигналів, наведених в антені, з еталонними дає змогу прийняти рішення про технічний стан радіоелектронних компонентів ЦП. Визначення технічного стану радіоелектронних компонентів ЦП проводиться на основі значень ДП (амплітуди відеоімпульсів у антені). З цією метою на етапі проектування на основі електромагнітного методу діагностування була побудована ДМ радіоелектронного компоненту.

Розрахунок ДП був проведений у три етапи:

- 1) розрахунок електричного струму вихідного ланцюга логічного елементу РЕК;
- 2) розрахунок електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елементу РЕК;
- 3) розрахунок значення напруги в антенному пристрої.

Формула (4) являє собою ДМ для електромагнітного методу:

$$|e_A| = \frac{I_m l}{2\pi\omega\epsilon_a r^2} \sin \phi, \quad (4)$$

де $|e_A|$ – модуль значення електрорушійної сили, яка наводиться в антені; I_m – амплітуда струму у випромінювачі; l – довжина антени; ω – циклічна частота коливань; ϵ_a – діелектрична проникність середовища; r – відстань між випромінювачем і антеною; ϕ – кут між віссю ОХ і проєкцій точки антени на координатну площину ХОУ.

Даний метод [8] має наступні переваги:

- можливість отримання ДІ без використання вихідних контактів ЦП;
- одна контрольна точка, якою є антена;
- один ДП, яким є напруга в антені;
- незначний вплив пристрою діагностування на “власну” надійність РЕК цифрового пристрою, оскільки до нього не вмикаються додаткові елементи;
- метод адаптований як до сучасних, так і до перспективних ЦП;
- незначний час діагностування РЕК, наслідком чого є збільшення коефіцієнту готовності цифрового пристрою РЕТ на 10...15%.

Електромагнітний метод діагностування, як і розглянуті вище методи, має значні переваги, але, не зважаючи на це, він теж не враховує часу наробітку РЕК на відмову і не дозволяє визначити реальний технічний стан РЕК цифрового пристрою.

Виправити ситуацію можна, якщо при побудові автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ врахувати залежність ДП радіоелектронних

компонентів ЦП від часу наробітку на відмову. За результатами випробувань та статистичної обробки у роботах [12–13] було визначено динаміку зміни ДП – вихідного струму РЕК та підтверджено запропоновані їх ДМ, які враховують фізико-хімічні процеси в напівпровіднику (рис. 4).

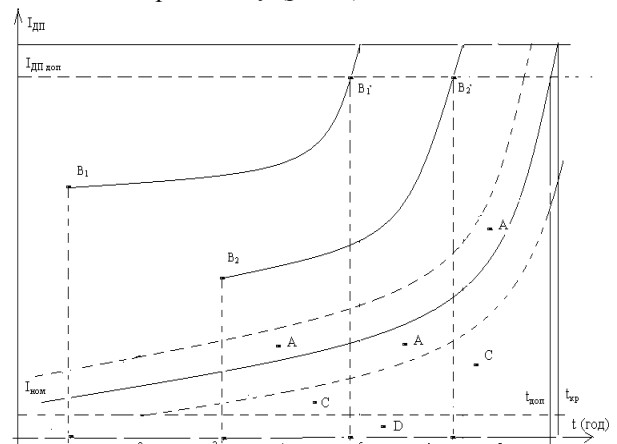


Рис. 4. Закономірність зміни діагностичного параметру радіоелектронних компонентів (наближена)

Пояснення до рис. 4: $I_{ДП}$ – значення ДП; $I_{ДП доп.}$ – допустиме значення ДП; $I_{ном.}$ – номінальне значення ДП; $t_{кр.}$ – критичний час наробітку РЕК; $t_{доп.}$ – допустимий час наробітку РЕК, B_1, B_2 – вимірні значення ДП на місці експлуатації; B'_1, B'_2 – екстрапольоване значення ДП при визначенні часу відмови РЕК. Явищами, які призводять до зміни ДП, є корозія, електродифузія, окислювання металізації, механізм деградації металевих плівок та якості внутрішніх контактних з'єднань [12–13].

Можливі наступні випадки [12–13].

1. Значення ДП (точки А) лежать відносно математичного сподівання в межах довірчого інтервалу, що свідчить про те, що технічний стан РЕК з великою імовірністю є справним.
2. Значення ДП (точки В) перевищують еталонні в бік збільшення вихідного струму.
3. Значення ДП (точки С, D) менш еталонного значення – перевищило довірчий інтервал в бік зменшення вихідного струму.

Важливим питанням при розробці методики обробки ДІ для автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ є визначення умов діагностування [3; 14–15]: клас пристроїв, які підлягають діагностуванню, клас несправностей, достовірність, повнота, глибина діагностування, алгоритм пошуку несправностей. До пристроїв, які підлягають діагностуванню, відносяться цифрові пристрої (інтегральні схеми).

При виході з ладу інтегральної схеми зі складу ЦП або її логічних елементів останні перестають перемикатися [3] (константна несправність) або змінюються їх перемикальні функції (несправності типів “коротке замикання”, “переплутування” та інверсні), на їх виходах рівні сигналів відрізняються від

рівнів сигналів справної інтегральної схеми або логічного елементу. Сигнали цих рівнів з кожного виходу інтегральної схеми транспортуються у визначений фіксований рівень у контрольній точці. Це дає можливість контролювати працездатність інтегральної схеми: подавши на її входи тестові впливи, визначити значення напруги у контрольній точці з використанням методів фізичного діагностування, після чого порівняти ці значення з розрахованими для працездатного стану інтегральної схеми та зробити висновок про її технічний стан.

Отримані у ході експлуатації значення ДП записуються у базу знань центра обробки діагностичної інформації (ЦОДІ), де при обробці ДІ вони порівнюються з тими, що записані у базі даних. Останні отримані у ході проведення прискорених випробувань [12–13] (з використанням форсованих режимів) на основі залежності, представлені на рис. 4. Важливо відмітити те, що значення ДП, отриманих при проведенні діагностування, після запису зберігаються у базі знань, що дає можливість побудови залежності ДП від часу, яка буде найбільш точною в порівнянні з отриманою при проведенні форсованих випробувань.

Таким чином, можна зробити висновок, що залежність, представлена на рис. 4, та залежність, отримана при проведенні діагностування у ході експлуатації об'єктів РЕТ, мають надзвичайне практичне значення для визначення часу наробітку на відмову та остаточного часу безвідмовної роботи ЦП та об'єкту РЕТ в цілому. Підхід, який передбачає проведення фізичного діагностування з подальшою обробкою ДІ з урахуванням залежності ДП від часу, є принципово новим.

Для підвищення достовірності діагностування запропоновано комплексне використання методів діагностування. Розрахунок достовірності представлений на рис. 5, з якого видно, що при комплексному використанні методів діагностування вона досягає 0,99995.

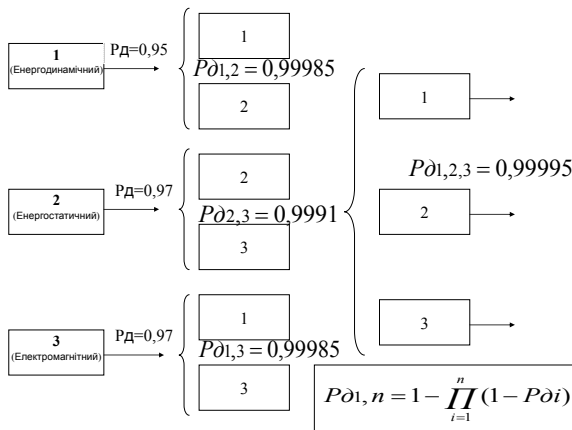


Рис. 5. Розрахунок достовірності при комплексному використанні методів діагностування цифрових пристроїв

Виходячи з вищевикладеного, методику обробки ДІ в автоматизованій системі технічного діагностування РЕТ з метою підвищення достовірності результатів (рис. 5) можна представити у наступному вигляді:

1. Визначення умов діагностування.
2. Визначення різними методами діагностування значень ДП.
3. Збір та зберігання значень ДП кожного елементу РЕК цифрового пристрою.
4. Порівняння та вибір з отриманих значень ДП, які “ближче” до еталонних.
5. Прийняття рішення про технічний стан цифрового пристрою.
6. Визначення остаточного часу безвідмовної роботи цифрового пристрою і прогнозування часу наробітку на відмову зразка РЕТ.

На рис. 6. представлена структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування, описаних у статті.

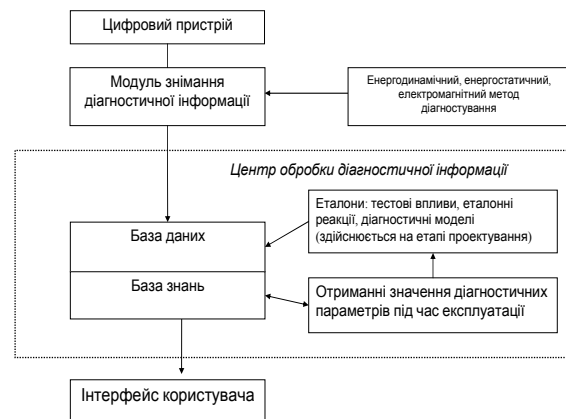


Рис. 6. Структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування

На рис. 7 представлена структурна схема запропонованої автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки.

До першого рівня відносяться об'єкти РЕТ, діагностування яких проводиться з використанням сучасних методів фізичного діагностування. В якості зразків РЕТ розглядаються засоби зв'язку, автоматизовані системи управління, радіолокаційні станції різного призначення, аеродромне обладнання, обладнання атомних станцій, тощо.

До другого рівня відносяться ЦОДІ, впровадження яких пропонується з метою збору, зберігання та обробки діагностичної інформації, отриманої від об'єктів РЕТ у реальному часі.

До третього рівня відносяться заводи радіоелектронної апаратури, з якими здійснюється взаємодія ЦОДІ. Важливо відмітити те, що залежності ДП ра-

діоелектронних компонентів, отримані в результаті проведення прискорених випробувань, надаються заводами радіоелектронної апаратури та записуються у базу даних запропонованого ЦОДІ.

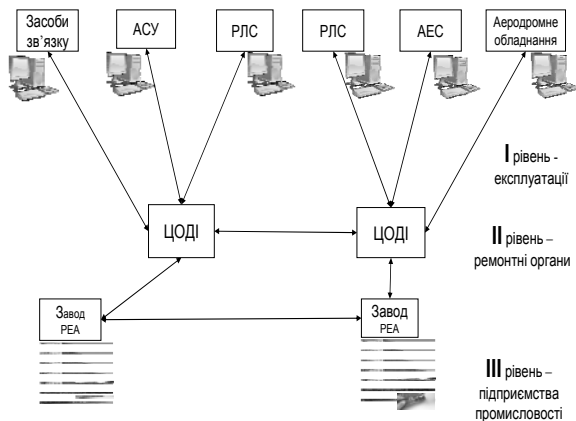


Рис. 7. Структурна схема запропонованої автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки

Залежності ДП радіоелектронних компонентів, які отримані в ході експлуатації РЕТ з використанням запропонованої обробки ДІ, надаються від бази знань ЦОДІ заводам. Це має велике практичне значення, оскільки характеристики математичного сподівання ДП радіоелектронних компонентів, отримані в ході експлуатації, більш точніші, ніж ті, що отримані в результаті проведення прискорених випробувань. В подальшому використання характеристик ДП радіоелектронних компонентів, отриманих в ході експлуатації, дозволить не тільки точніше визначати їх наробіток на відмову, а і здійснювати прогнозування відмов з більш високою достовірністю.

Висновки

1. У даній статті показано, що суттєвим недоліком методів функціонального діагностування є те, що під час його проведення на виході радіоелектронного компоненту, характеристики якого є критичними, формується сигнал рівня порогу, при якому з'єднаний з ним наступний елемент спрацьовує, як і у випадку, коли попередній має параметри, що відповідають нормі. Наслідком цього є те, що через непередбачуваний, а в деяких випадках дуже короткий проміжок часу після проведення функціонального діагностування, цифровий пристрій, який містить радіоелектронні компоненти, виходить зі строю.

2. Розглянуто сучасні методи фізичного діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки, кожний з яких дозволяє визначати реальний технічний стан на основі значень своїх діагностичних параметрів.

3. Запропоновано при використанні методів фізичного діагностування проводити порівняння отриманих значень діагностичних параметрів з еталонними, розрахованими на основі прискорених випробувань.

4. Запропоновано комплексне використання методів діагностування з метою підвищення достовірності діагнозу до 0,99995.

5. Запропонована методика обробки діагностичної інформації для автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки, яка, на відміну від існуючих, вперше ґрунтується на порівнянні значень отриманих діагностичних параметрів з еталонними, які отримані на основі проведення прискорених випробувань радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв.

6. Представлена структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування. Запропонована структурна схема нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. Принципово новим є наявність центрів обробки діагностичної інформації, які зв'язані як з об'єктами радіоелектронної техніки, так і з заводами радіоелектронної апаратури. База даних центра обробки діагностичної інформації буде містити інформацію про наробіток на відмову радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв, отриману на основі прискорених випробувань. У базу знань будуть записуватись значення діагностичних параметрів, отриманих при проведенні діагностування. Характеристики математичного сподівання діагностичних параметрів радіоелектронних компонентів, отримані в ході експлуатації, більш точніші, ніж ті, що отримані в результаті проведення прискорених випробувань. В подальшому використання цих характеристик дозволить не тільки точніше визначати наробіток на відмову радіоелектронних компонентів, а і здійснювати прогнозування відмов, що має надзвичайне практичне значення.

7. Впровадження запропонованої методики обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування дозволить зменшити кількість раптових відмов радіоелектронної техніки, зокрема, стратегічних об'єктів, що призведе до збільшення коефіцієнту готовності як основної характеристики її надійності. Застосування її в автоматизованій системі технічного діагностування радіоелектронної техніки дозволить підвищити ефективність її використання приблизно на 10–15%, а також надасть можливість здійснювати таку функцію технічної діагностики як прогнозування остаточного ресурсу об'єктів радіоелектронної техніки.

Список літератури

1. Жердев М.К. Побудова функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування / М.К. Жердев, С.В. Ленков, П.А. Шкуліпа // Системи обробки інформації. – 2013. – № 1(108). – С. 49-52.
2. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови тестів діагностування об'єктів радіоелектронної техніки для енергодинамічного і електромагнітного методів / С.В. Ленков, О.В. Селюков, М.М. Охрамович // Вестник научных трудов Восточноукраинского национального университета им. В. Даля. – Луганск, 2012. – № 12(183). – Ч.2. – С. 201-208.
3. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки: монографія / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, С.В. Ленков, В.А. Проценко. – К. ТОВ “Компанія ЛІК”, 2009. – 224 с.
4. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови тестів для автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронних пристроїв / П.А. Шкуліпа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2013. – № 1. – С. 140-144.
5. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння та обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні / С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К., 2016. – № 51. – С. 12-19.
6. Гахович С.В. Метод діагностування цифрових ТЕЗ / С.В. Гахович // Зб. наук. пр. ВІТІ НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2004. – Вип. №4. – С. 24-30.
7. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування / Г.Б. Жиров // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Сер. Військово-спеціальні науки. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Вип. 11. – С. 54-60.
8. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах / С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К., 2009. – № 21. – С. 42-45.
9. Шкуліпа П.А. Алгоритм побудови діагностичної моделі транзистора в режимі відсічки для енергодинамічного методу діагностування / П.А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К., 2013. – № 39. – С. 229-233.
10. Методика розробки діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій / С.В. Ленков, М.К. Жердев, І.В. Толок, С.І. Глухов, Г.Б. Жиров // Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 4(52). – С. 46-51.
11. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення / М.К. Жердев, О.В. Селюков, С.І. Глухов, С.В. Гахович, М.М. Нікіфоров // Системи озброєння і військова техніка. – 2018. – № 2(54). – С. 23-30. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.03>.
12. Вишнівський В.В. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК / В.В. Вишнівський, В.В. Василенко, В.В. Кузавков // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2015. – Вип. 1(33). – С. 18-21.
13. Жердев М.К. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – К., 2015. – № 49. – С. 40-48.
14. Вишнівський В.В. Проблема побудови та впровадження автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного озброєння / В.В. Вишнівський, В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур // Науковий журнал Інформаційна безпека. – Луганськ: Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2014. – Вип. №4(16). – С. 151-157.
15. Вишнівський В.В. Проблема побудови автоматизованих систем технічного діагностування інформаційних систем / В.В. Вишнівський // Защита информации: сборник научных трудов. – Київ: НАУ, 2016. – Вип. 23. – С. 165-176.

References

1. Zherdiev, M.K., Lienkov, S.V. and Shkulipa, P.A. (2013), “Pobudova funktsionalnykh pereviraiuchykh testiv dlia enerhodynamichnoho ta elektromahnitnoho metodiv diahnostuvannia”, *Information Processing Systems*, Vol. 1(108), pp. 49-52.
2. Shkulipa, P.A., Lienkov, S.V., Sieliukov, O.V. and Okhramovych, M.M. (2012), “Alhorytm pobudovy testiv diahnostuvannia ob'ektiv radioelektronnoi tekhniki dlia enerhodynamichnoho i elektromahnitnoho metodiv” [Algorithm for constructing diagnostic tests for objects of electronic equipment for energy dynamical and electromagnetic methods], *Vestnyk nauchnykh trudov Vostochnoukraynskoho natsyonal'noho unyversyteta im. V. Dalia*, No. 12(183), Luhansk, pp.201-208.
3. Vyshniv'skyj, V.V., Zherdiev, M.K., Lienkov, S.V. and Protsenko, V.A. (2009), “Diahnostuvannia analohovykh i tsyfrovyykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki” [Diagnosis of analog and digital devices of electronic equipment: monohrafiia], TOV Kompaniia LIK, Kyiv, 224 p.
4. Shkulipa, P.A. (2013), “Alhorytm pobudovy testiv dlia avtonomnykh avtomatyzovanykh system diahnostuvannia radioelektronnykh prystroiv” [An algorithm of construction of tests is for the off-line automated systems of diagnosing of radio electronic devices], *Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho unyversytetu. Tekhnichni nauky*, No. 1, pp. 140-144.
5. Hlukhov, S.I. (2016), “Analiz isnuuychykh metodiv diahnostuvannia typovykh elementiv zaminy radioelektronnykh zasobiv ozbroiennia ta obhruntuvannia neobkhdnosti vykorystannia informatsijnykh tekhnolohij pry ikh zastosuvanni” [Analysis of existing methods for diagnosing line replaceable units of radio-electronic weapons and the rationale for the use of information technology in their application], *Zbirnyk naukovykh prats' Vijs'kovoho instytutu Kyivs'koho natsional'noho unyversytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 51, Kyiv, pp. 12-19.

6. Hakhovych, S.V. (2004), "Metod diahnostuvannia tsyfrovyykh TEZ" [Method of diagnosing digital TEZ], *Zbirnyk naukovykh prats' VITI NTUU KPI*, No. 4. pp. 24-30.
7. Zhyrov, G.B. (2005), "Uzahal'na diahnostychna model' tsyfrovoy VIS dlia enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia" [A generalized diagnostic model of a digital WSI for an energetic diagnostic method], *Visnyk KNU imeni Tarasa Shevchenka. Vijs'kovo-spetsial'ni nauky*, No. 11, Kyiv, pp. 54-60.
8. Hlukhov, S.I. (2009), "Diahnostuvannia tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv typovykh elementiv zaminy radioelektronno tekhniki z vykorystanniam elektromahnitnoho metodu u vijs'kovyykh remontnykh orhanakh" [Diagnosticating of digital radio electronic components of typical elements of replacement of radio electronic technique is with the use of electromagnetic method in soldiery repair organs], *Zbirnyk naukovykh prats' Vijs'kovoho instytutu Kyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 21, Kyiv, pp. 42-45.
9. Shkulipa, P.A. (2013), "Alhorytm pobudovy diahnostychnoi modeli tranzystora v rezhymi vidsichky dlia enerhodynamichnoho metodu diahnostuvannia" [Algorithm of construction of diagnostic model of transistor in the mode of pinch-off for an energydynamic method diagnostician], *Zbirnyk naukovykh prats' Vijs'kovoho instytutu Kyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 39, Kyiv, pp. 229-233.
10. Lienkov, S.V., Zherdiev, M.K., Tolok, I.V., Hlukhov, S.I. and Zhyrov, H.B. (2017), "Metodyka rozrobky diahnostychnoho zabezpechennia radioelektronnoi tekhniki na osnovi enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia z vykorystanniam informatsiynykh tekhnolohii" [Development methodology for electronics diagnostics based on energy-static diagnostic method using information technology], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(52), pp. 46-51.
11. Zherdiev, M.K., Sieliukov, O.V., Hlukhov, S.I., Hakhovych, S.V. and Nikiforov, M.M. (2018), "Diahnostuvannia radioelektronnoi tekhniki na osnovi enerhodynamichnoho metodu: metodyka ta informatsiine zabezpechennia" [Diagnostructure of radioelectronic techniques on the basis of the energy-technical method: methodology this institution is formed], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(54), pp. 23-30. <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.03>.
12. Vyshnivs'kyj, V.V., Vasylenko, V.V. and Kuzavkov, V.V. (2015), "Analiz metodiv forsovanykh vyprobuvan' dlia otrymannia zalezhnosti zminy diahnostychnoho parametra vid chasu napratsiuвання napivprovodnykovykh REK" [An analysis of methods of the forced tests is for the receipt of dependence of change of diagnostic parameter from time of work of semiconductor REK], *Control, Navigation and Communication Systems*, Vol. 1(33), PNTU, pp. 18-21.
13. Zherdiev, M.K., Kuzavkov, V.V. and Hlukhov, S.I. (2015), "Uzahal'нення rezultativ forsovanykh vyprobuvan' radioelektronnykh komponentiv" [Summary of results of the forced test of radio-electronic components], *Zbirnyk naukovykh prats' Vijs'kovoho instytutu Kyivs'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*, No. 49, Kyiv, pp. 40-48.
14. Vyshnivs'kyj, V.V., Kuzavkov, V.V. and Hajdur, H.I. (2014), "Problema pobudovy ta vprovadzhennia avtonomnykh avtomatyzovanykh system diahnostuvannia radioelektronnoho ozbroienia" [Problem of construction and introduction of the offlineautomated systems of diagnosticating of radio electronicarmament], *Naukovyj zhurnal Informatsijna bezpeka*, No. 4(16), Skhidnoukrains'kyj natsional'nyj universytet imeni Volodymyra Dalia, Luhans'k, pp. 151-157.
15. Vyshnivs'kyj, V. (2016), "Problema pobudovy avtomatyzovanykh system tekhnichnoho diahnostuvannia informatsiynykh system" [Prolem ofconstruction of CASS of the technicaldiagnosticating of the informative systems], *Zaschyta ynformatsyy*, Vol. 23, NAU, Kyiv, pp.165-176.

Надійшла до редколегії 27.12.2018

Схвалена до друку 17.01.2019

Відомості про авторів:

Жердєв Микола Костянтинівич

доктор технічних наук професор
провідний науковий співробітник
науково-дослідного центру зв'язку
Військового інституту телекомунікацій та
інформатизації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5437-4831>

Глухов Сергій Іванович

кандидат технічних наук доцент
завідувач кафедри Київського національного
університету ім. Т. Шевченка,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4918-3739>

Information about the authors:

Nikolay Zherdiv

Doctor of Technical Sciences Professor
Lead Researcher of Research Communication
Center of Military Institute of Telecommunications
and Informatization,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5437-4831>

Sergey Glukhov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Head of Department of Taras Shevchenko
National University of Kyiv,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4918-3739>

Нікіфоров Микола Миколайович
кандидат військових наук
старший науковий співробітник
науково-дослідного центру Військового інституту
Київського національного університету
ім. Т. Шевченка,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-2849-5688>

Nikolay Nikiforov
Candidate of Military Sciences
Senior Research Associate
of Scientific Research Center of the Military Institute
of Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2849-5688>

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Н.К. Жердев, С.И. Глухов, Н.Н. Никифоров

Статья посвящена разработке методики обработки диагностической информации для автоматизированной системы технического диагностирования радиоэлектронной техники. В основу методики положены полученные при проведении ускоренных испытаний зависимости диагностических параметров радиоэлектронных компонентов цифровых устройств от времени наработки на отказ. Вывод о техническом состоянии цифровых устройств будет основываться на сравнении значений диагностических параметров, полученных в результате проверки технического состояния современными методами физического диагностирования (энергодинамическим, энергостатическим, электромагнитным), с эталонными. В предложенной автоматизированной системе технического диагностирования радиоэлектронной техники необходимость использования методов физического диагностирования вызвана тем, что методы функционального диагностирования цифровых устройств не позволяют определять их реальное техническое состояние. Через неопределенное время после проведения функционального диагностирования, а чаще короткий его промежуток, возникает внезапный отказ блока объекта радиоэлектронной техники. Принципиально новым есть и наличие центров обработки диагностической информации, в базу знаний которых будет поступать диагностическая информация, полученная при проведении диагностирования цифровых устройств. Прямая связь центров обработки диагностической информации с заводами радиоэлектронной аппаратуры позволит последним получать эту информацию для осуществления более точных расчетов значений диагностических параметров радиоэлектронных компонентов как эталонных, а наличие обратной связи обеспечит использование обновленных значений эталонов для определения технического состояния объектов радиоэлектронной техники. Внедрение новой системы технического диагностирования позволит уменьшить число внезапных отказов радиоэлектронной техники, что приведет к увеличению ее коэффициента готовности как основной характеристики надежности, а также даст возможность определять с заданной вероятностью ее остаточный ресурс.

Ключевые слова: радиоэлектронный компонент, радиоэлектронная техника, цифровое устройство, метод диагностирования, диагностический параметр, автоматизированная система технического диагностирования.

DIAGNOSTIC INFORMATION PROCESSING TECHNIQUE FOR THE AUTOMATED RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT TECHNICAL DIAGNOSTICS SYSTEM

M. Zherdiev, S. Hlukhov, M. Nikiforov

The article is devoted to the development of the diagnostic information processing technique for the Automated Radio-Electronic Equipment Technical Diagnostics System. The technique is based on the dependencies of the diagnostic parameters of the electronic units of digital devices obtained from accelerated tests on the time between failures. The conclusion on the technical condition of digital device shall be based on a comparison of the diagnostic parameters' values resulting from the maintenance check-off using modern physical diagnostics techniques (energy-dynamic, energy-static, electromagnetic) with calibrated values. The need for applying physical diagnostics techniques in the suggested Automated Radio-Electronic Equipment Technical Diagnostics System is caused by the fact that digital devices' functional diagnostics techniques do not allow to determine their real technical condition. A sudden failure of the block of radio-electronic equipment unit occurs over an indefinite period after functional diagnosis, and more often over a short period of time. The availability of Diagnostic Information Processing Centres is a fundamentally new thing as well. Its knowledge base shall receive diagnostic information obtained during the diagnosis of digital devices. The direct communication between Diagnostic Information Processing Centres with electronic equipment factories will allow the latter to obtain this information for more precise calculations of the diagnostic parameters' values as calibrated. The availability of feedback will ensure the use of updated values of standards to determine technical condition of radio-electronic equipment units. The introduction of a new technical diagnostics system shall help to reduce the number of sudden failures of electronic equipment, resulting in the increase of its availability factor as the main reliability characteristic, and shall allow to determine its residual life with a given probability.

Keywords: radio electronic unit, radio electronic equipment, digital device, diagnostic technique, diagnostic parameter, Automated Technical Diagnostics System.