

УДК 681.35

В. В. ВИШНІВСЬКИЙ¹, доктор техн. наук, професор;С. І. ГЛУХОВ², канд. техн. наук, доцент;К. П. СТОРЧАК¹, доктор техн. наук, доцент,¹ Державний університет телекомунікацій, Київ² Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Особливості використання фізичного діагностування при побудові інтелектуальної системи діагностики радіоелектронної техніки

Досягнення науково-технічного прогресу в галузі мікроелектроніки вже давно уможливили перехід від аналогової техніки до цифрової. Роботоздатність об'єктів радіоелектронної техніки визначається кількома факторами, одним із яких є діагностичне забезпечення, до складу якого входять методи і засоби діагностування, обслуговуючий персонал та документація. Методам діагностування приділяється особлива увага під час побудови нових зразків техніки, оскільки вони традиційно відстають від засобів діагностування. Для визначення технічного стану сучасної техніки реалізовано методи функціонального і тестового діагностування, основним недоліком яких є ускладнене їх використання щодо визначення реального технічного стану цифрових пристроїв, а також його прогнозування.

Раніше авторами було запропоновано фізичне діагностування на основі енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів, вільних від недоліків методів функціонального і тестового діагностування. Комплексне використання зазначених методів дозволяє істотно підвищити вірогідність діагностування, що особливо важливо для об'єктів критичної інфраструктури.

Проведені форсовані випробування радіоелектронних компонентів на надійність дали змогу дістати залежності значень діагностичного параметра від часу, порівняння яких з отриманими при діагностуванні в процесі експлуатації дозволяє визначити реальний технічний стан, а також здійснювати його прогнозування.

Оброблення діагностичної інформації з урахуванням результатів форсованих випробувань буде проводитись інтелектуальною системою центрів обробки діагностичної інформації, які являють собою другий рівень запропонованої автоматизованої системи технічного діагностування. Її впровадження як складової системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки дозволить автоматизувати процеси отримання та оброблення діагностичної інформації, збільшити коефіцієнт готовності об'єктів радіоелектронної техніки та заощадити значні державні кошти, які витрачаються на резервування окремих блоків, зокрема АЕС.

Ключові слова: радіоелектронні компоненти; радіоелектронна техніка; цифрові пристрої; технічний стан; методи фізичного діагностування; прогнозування.

Вступ

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій. За сучасних економічних умов України продовження ресурсу об'єктів радіоелектронної техніки (РЕТ), від надійності якої залежить безпека громадян, є важливим завданням. Її роботоздатність визначається сучасним рівнем елементної бази, а також якістю діагностичного забезпечення. Для виконання функцій технічного діагностування використовуються методи функціонального і тестового діагностування, при цьому рішення щодо технічного стану (ТС) цифрових пристроїв (ЦП) як складових блоків РЕТ приймається на основі порівняння отриманих реакцій на їх виходах із еталонними [1; 2]. З огляду на те, що у цифровій техніці сигнали подано двійковими послідовностями, на виходах радіоелектронних компонентів (РЕК), характеристики яких наближуються до критичних, буде сформовано реакції, що відповідають їх справному ТС. Пристрій, який діагностується, може у будь-який час вийти з ладу після проведення діагностування цими методами, що негативно вплине на показники надійності зразка РЕТ. За цих підстав визначення реального ТС, погіршення якого є наслідком деградаційних процесів у кристалах інтегральних схем [3; 4], а також його прогнозування є ускладненими, що зумовило пошук нового підходу до вирішення задач технічного діагностування. Полягає він у поєднанні методів фізичного діагностування (енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного), що уможливить отримання значень діагностичного параметра (ДП), та результатів форсованих випробувань РЕК на надійність, які дадуть змогу дістати залежності ДП від часу. Завдяки порівнянню перших і других значень ДП, можна визначити реальний ТС, спрогнозувати його і встановити остаточний ресурс ЦП.

Робота сучасної системи технічного обслуговування і ремонту (СТОіР) РЕТ і, зокрема, системи технічного діагностування як її елемента, є частково автоматизованою [2; 5–8]. На першому її рівні — рівні експлуатації, використовуються вбудовані системи контролю, які здебільшого встановлюють несправність до блока, тобто групи ЦП. Засоби діагностування, запроваджені пізніше, дозволили

визначати несправний ЦП зі складу блока, але методами тестового діагностування, про недоліки яких було зазначено раніше. Для здійснення ремонту несправні ЦП відправляються на другий рівень СТОіР, віддалення якого від об'єктів РЕТ становить сотні кілометрів, що потребує певних часових та фінансових витрат. Віддаленість підприємств РЕТ (заводів), які належать до третього рівня СТОіР, у деяких випадках становлять близько тисячі кілометрів. На фізичне переміщення несправних ЦП до заводів, проведення діагностування, ремонту та вихідного контролю, повернення відремонтованих ЦП до об'єктів, підготовку документації на кожному етапі сьогодні потрібні місяці. Окрім того, реалії показують, що такий фактор, як затримка коштів за проведений ремонт, не є другорядним питанням.

Аналіз останніх робіт [1–3; 6–8; 11] свідчить про те, що питанням продовження ресурсу зразків РЕТ в економічних умовах сьогодення приділяється багато уваги. Зокрема, у роботі [11] запропоновано розв'язання задач прогнозування і визначення остаточного ресурсу з огляду на результати прискорених випробувань РЕК у рамках теорії дефектоутворення у напівпровідникових матеріалах. Незважаючи на це, навіть і такий підхід має деякі недоліки, про які буде йтися далі.

Враховуючи досягнення в галузі інформаційних технологій та мікроелектроніки, а також переваги методів фізичного діагностування і результати форсованих випробувань РЕК на надійність, з огляду на постійно зростаючі вимоги до показників надійності, усунення недоліків наявної СТОіР можливе за умови створення нової автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ. Оброблення діагностичної інформації, отриманої з різних джерел (контрольних точок ЦП), пропонується проводити з використанням інтелектуальної системи діагностування. Отже, *метою статті* є розгляд особливостей отримання та оброблення інформації з використанням методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань при побудові інтелектуальної системи діагностування РЕТ.

Основна частина

Як об'єкти діагностування розглядаються радіолокаційні станції, комплексні засоби автоматизації, засоби зв'язку, засоби спеціального зв'язку, програмно-керовані засоби захисту інформації, АЕС тощо.

Залежно від сфери застосування вимоги до вірогідності діагностування є різними. Забезпечення таких вимог досягається завдяки можливості вибору інтелектуальною системою методу або кількох методів фізичного діагностування. Із метою підвищення вірогідності діагнозу в [9] було запропоновано здійснювати комплексне використання методів фізичного діагностування. Розрахунок вірогідності діагностування залежно від комплексно використовуваних методів наведено на рис. 1.

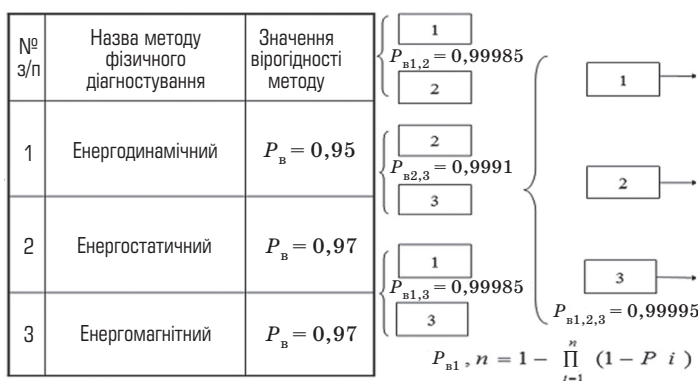


Рис. 1. Розрахунок вірогідності діагностування залежно від комплексно використовуваних методів

Криві, отримані в результаті проведення форсованих випробувань РЕК на надійність, які відображають графіки мінімальних і максимальних значень ДП за різної вірогідності, зображено на рис. 2. При цьому 0,9991 відповідає комплексному застосуванню другого і третього методів, 0,99985 — застосуванню першого і другого або першого і третього. Максимальна вірогідність на рівні 0,99995 досягається у разі використання трьох методів.

Окремо треба зазначити, що через відсутність на об'єкті РЕТ пристроїв діагностування для визначення даних характеристик, обслуговуючий персонал вимушений перевіряти ТС тих чи інших ЦП (наприклад, комплекту запасних інструментів, приладдя та матеріалів) їх установленням на місця до блоків, складовими яких вони є. Рішення про справний ТС цифрових пристроїв персонал приймає, переконавшись у відсутності аварійних сигналів вбудованої системи контролю об'єктів РЕТ. Але за такого підходу не матимемо можливості реально оцінювати дійсний ТС цифрових пристроїв, прогнозувати відмови, а також розраховувати їх остаточний ресурс.

У межах виконання державних завдань, спрямованих на продовження ресурсу РЕТ для деяких силових структур, застосування методів фізичного діагностування з результатами форсованих

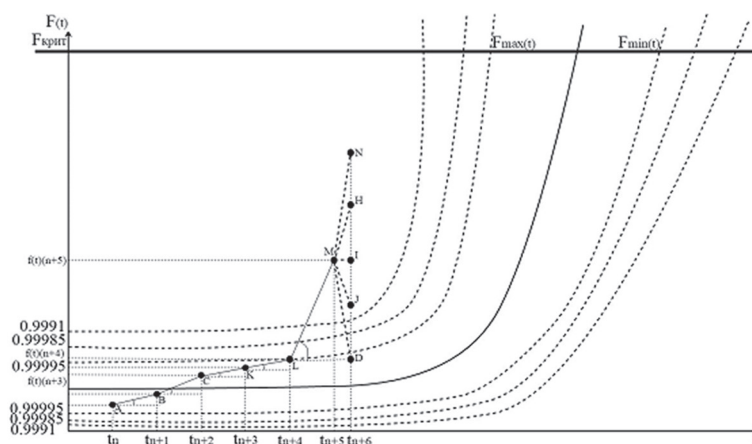


Рис. 2. Графіки мінімальних і максимальних значень ДП при різних вірогідностях

випробувань, на відміну від методів функціонального і тестового діагностування, дозволить визначити час експлуатації та остаточний ресурс, що є нагальною потребою сьогодення. Як унаочнює рис. 3, значення ДП, здобуте будь-яким із методів фізичного діагностування, знаходиться в «коридорі» між мінімальним і максимальним значеннями ДП, а проєкції точок їх перетину на вісь абсцис дасть змогу розрахувати значення проміжку часу експлуатації ДП.

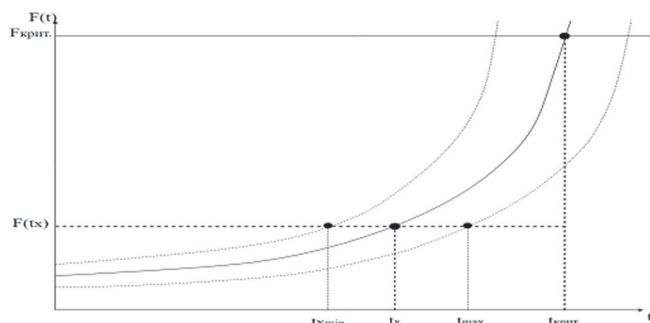


Рис. 3. Графіки визначення часу експлуатації та остаточного ресурсу цифрового пристрою

Значення остаточного ресурсу обчислюється відніманням часу експлуатації від часу, який відповідає критичному стану ЦП:

$$\Delta_{\text{ост}} = t_{\text{крит}} - t_{x_{\text{min}}};$$

$$\Delta_{\text{ост}} = t_{\text{крит}} - t_{x_{\text{max}}}.$$

Отже, за значенням ДП, отриманому завдяки методам фізичного діагностування і результатам форсованих випробувань РЕК на надійність, можна визначити час експлуатації та остаточний ресурс із заданою ймовірністю.

Відомо, що прогнозовані параметри мають відповідати трьом вимогам [1]:

- 1) функція має бути неперервною функцією часу;
- 2) функція має бути повільно змінюваною;
- 3) функція у часі не повинна змінювати свій знак.

Із такими вимогами узгоджується залежність ДП від часу (див. рис. 2). Для перевірки вимог п. 3 у [10] було запропоновано поділити її на три ділянки (пряму, криву, пряму) та визначити похідну при отриманні нових значень ДП під час проведення чергового діагностування (рис. 4).

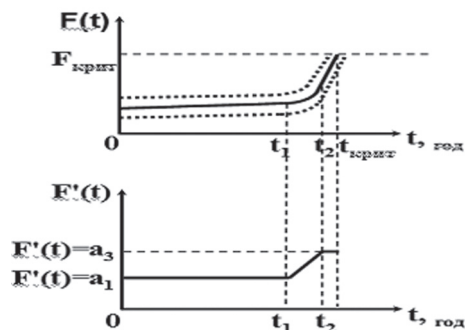


Рис. 4. Графік зміни діагностичного параметра та його похідної від часу

На відміну від розв'язання задач прогнозування і визначення остаточного ресурсу [11], у даній статті запропоновано комплексне використання методів фізичного діагностування (див. рис. 2), що уможливорює істотне збільшення вірогідності діагностування. Завдяки цьому здебільшого зникає потреба у проведенні двох перевірок [11], що зумовить скорочення часу визначення терміну експлуатації та остаточного ресурсу. Окрім того, наступна перевірка згідно з розрахунком часу залежно від значень ДП, отриманих під час попередніх перевірок [12], дозволить упередити відмову, ймовірність якої на інтервалі часу між виконанням

регламентних робіт зростатиме [11]. Більш простий підхід, на думку авторів, запропоновано й у разі проведення аналізу поведінки ДП, що зображено на рис. 4. Розрахунок похідної на ділянках графіка не становить великих труднощів і не потребує часу для розрахунку невідомих коефіцієнтів C1, C2, C3 [11].

Фрагмент нової автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ, яка вирішуватиме викладені завдання, наведено на рис. 5.

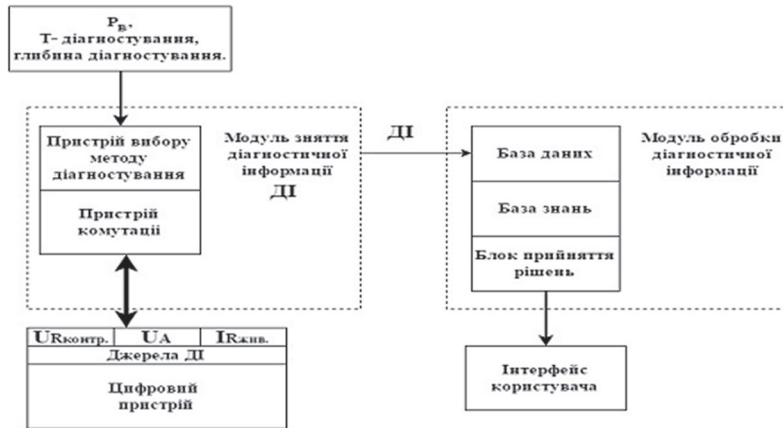


Рис. 5. Фрагмент нової автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ

Як унаочнює рис. 5, елементами розглядуваної системи є модулі зняття та оброблення діагностичної інформації. Вихідними даними для її роботи є вірогідність діагнозу, глибина пошуку, повнота діагностування, середній час діагностування. Залежно від заданої вірогідності система в автоматичному режимі буде вибирати метод або сукупність методів діагностування, що забезпечать пристрої вибору методу діагностування і комутації.

З огляду на метод діагностування діагностичну інформацію буде подано різними ДП: значенням струму у ланцюзі живлення для енергодинамічного методу, значенням напруги у корпусному ланцюзі живлення для енергостатичного методу, значенням напруги в антенному пристрої для електромагнітного методу.

Окреслимо основні завдання, які вирішують АСТД.

◆ **ДІАГНОСТИЧНІ:**

- визначення характеристик об'єкта діагностування;
- визначення параметрів діагностування об'єкта;
- вибір методів діагностування залежно від заданої вірогідності;
- проведення діагностування.

◆ **ІНФОРМАЦІЙНІ:**

- отримання значень діагностичних параметрів;
- запис діагностичної інформації у базу знань;
- вивід інформації на інтерфейс.

◆ **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ:**

- обробка діагностичної інформації;
- отримання значень показників надійності;
- прийняття рішення.

Отриману діагностичну інформацію пропонується обробляти з використанням такого елемента АСТД, як інтелектуальна система, базу знань якої побудовано згідно з архітектурою штучної нейронної мережі [13] (рис. 6).

У результаті обробки діагностичної інформації користувач має отримати відповіді на питання щодо кількісних показників надійності об'єктів діагностування:

- визначення реального ТС;
- визначення часу експлуатації;
- визначення часу наступної перевірки ТС;
- визначення часу прогнозування;
- визначення остаточного ресурсу.

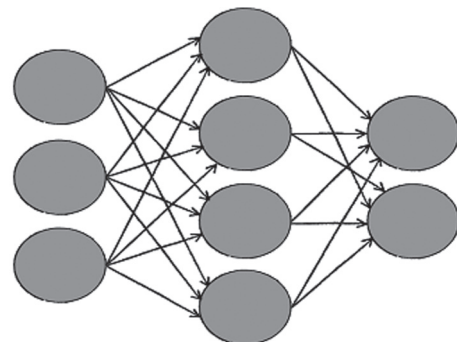


Рис. 6. Архітектура штучної нейронної мережі

Висновки

1. Розглянуто недоліки роботи наявної системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки, зокрема системи технічного діагностування як її елемента, що було виявлено в результаті проведеного аналізу.

2. Встановлено, що методи функціонального і тестового діагностування є недостатньо адаптовані для виконання таких задач, як встановлення реального технічного стану цифрових пристроїв, прогнозування відмов, визначення часу експлуатації та остаточного ресурсу.

3. Показано, що завдяки використанню методів фізичного діагностування і результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів на надійність стає можливим розрахунок часу експлуатації цифрового пристрою та остаточного його ресурсу з більш високою вірогідністю порівняно з методами функціонального і тестового діагностування, що дасть змогу покращити показники надійності об'єктів радіоелектронної техніки.

4. Здобуті результати відрізняються від запропонованих у [11] комплексним використанням методів фізичного діагностування, істотно збільшуючи вірогідність діагностування. Як наслідок, це приведе до зменшення часу, потрібного для визначення терміну експлуатації та остаточного ресурсу цифрових пристроїв, що, у свою чергу, дозволить упередити можливу відмову.

5. Запропоновано підхід для проведення аналізу поведінки діагностичного параметра, який полягає у поділу його залежно від часу на три ділянки. Це спрощує добір аналітичних виразів, визначення похідної, що необхідно для розрахунку часу наступної перевірки, та не потребує визначення невідомих коефіцієнтів C_1 , C_2 , C_3 , запропонованих у [11].

6. Визначено відповіді на питання щодо кількісних показників надійності об'єктів діагностування, які має одержати користувач.

7. Наведено фрагмент нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки та показано основні завдання, які вирішують її структурні елементи.

8. Запропоновано при побудові нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки використовувати інтелектуальну систему діагностування для обробки діагностичної інформації, отриманої завдяки застосуванню методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів на надійність.

Список використаної літератури

1. **Основи** теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем / В. І. Василюшин, О. В. Чечуй, С. В. Женжера, А. П. Глушко. ХНУПС, 2018. 268 с.
2. **Діагностування** аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки: монографія / В. В. Вишнівський, М. К. Жердєв, С. В. Ленков, В. А. Проценко / під ред. Жердєва М. К., Ленкова С. В. Київ: ТОВ «Компанія ЛІК», 2009. 224 с.
3. **Вишнівський В. В., Василенко В. В., Кузавков В. В.** Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напруження напівпровідникових РЕК // Системи управління, навігації та зв'язку. 2015. Вип. 1 (33). С. 18–21.
4. **Жердєв М. К., Кузавков В. В., Глухов С. І.** Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів: зб. наук. праць Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. 2015. № 49. С. 40–48.
5. **Основи** надійності и технического обслуживания радиоэлектронных средств РТВ ПВО / А. Н. Буточнов, Б. П. Креденцер [и др.]. Київ: КВИРТУ ПВО, 1982. Ч. 1. 230 с.
6. **Жердєв М. К., Ленков С. В., Шкуліпа П. А.** Побудова функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування // Системи обробки інформації. 2013. №1 (108). С. 49–52.
7. **Вишнівський В. В.** Проблема побудови автоматизованих систем технічного діагностування інформаційних систем // Захист інформації: зб. наук. праць. Київ: НАУ, 2016. Вип. 23. С. 165–176.
8. **Вишнівський В. В., Кузавков В. В., Гайдур Г. І.** Проблема побудови та впровадження автономних автоматизованих систем діагностування радіоелектронного озброєння // Інформаційна безпека. Луганськ: 2014. Вип. №4(16). С. 151–157.
9. **Глухов С. І.** Методика обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки: зб. наук. праць Харків. нац. ун-ту Повітряних Сил. 2019. Вип. № 1 (59). С. 81–86.
10. **Глухов С. І.** Прогнозування технічного стану радіоелектронної техніки на основі результатів форсованих випробувань з використанням методів фізичного діагностування: зб. наук. праць Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. 2018. № 62. С. 27–33.
11. **Кузавков В. В., Хусаїнов П. В.** Прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів // Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2018. Т. 8. №1. С. 57–68.
12. **Глухов С. І.** Обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв радіоелектронної техніки // Новітні технології: зб. наук. праць. Київ, 2019. Вип. № 1 (8). С. 151–157.

13. **Теоретичні** основи автоматизації процесів розробки рішень в системах управління / М. А. Павленко, О. І. Тимочко, Л. М. Сакович, К. С. Козелькова. Київ: ДУТ, 2016. 186 с.

Рецензент: доктор техн. наук, ст. наук. співробітник **Ю. В. Мельник**, Державний університет телекомунікацій, Київ.

В. В. Вишнеvский, С. И. Глухов, К. П. Сторчак

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Достижения научно-технического прогресса в области микроэлектроники давно позволили начать переход от аналоговой техники к цифровой. Работоспособность объектов радиоэлектронной техники определяется несколькими факторами, одним из которых является диагностическое обеспечение, которое составляют методы и средства диагностики, обслуживающий персонал и документация. Методам диагностики уделяется особое внимание при построении новых образцов техники, поскольку они традиционно отстают от средств диагностики.

Для определения технического состояния современной техники реализованы методы функционального и тестового диагностирования, основным недостатком которых является то, что их использование затрудняет определение реального технического состояния цифровых устройств, а также его прогнозирование.

Ранее авторами было предложено осуществление физического диагностирования на основе энергостатического, энергодинамического и электромагнитного методов, свободных от недостатков методов функционального и тестового диагностирования. Комплексное использование указанных методов позволяет существенно повысить достоверность диагностирования, что особенно важно для объектов критической инфраструктуры.

Проведенные форсированные испытания радиоэлектронных компонентов на надежность позволили получить зависимости значений диагностического параметра от времени, сравнение которых с полученными при диагностировании в ходе эксплуатации позволяет определять реальное техническое состояние, а также проводить его прогноз.

Осуществление обработки диагностической информации с учетом результатов форсированных испытаний будет проводиться интеллектуальной системой центров обработки диагностической информации, которые представляют собой второй уровень предложенной автоматизированной системы технического диагностирования. Ее внедрение как составляющей системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронной техники позволит автоматизировать процессы получения и обработки диагностической информации, увеличить коэффициент готовности объектов радиоэлектронной техники и сэкономить значительные государственные средства, которые тратятся на резервирование отдельных блоков, в частности АЭС.

Ключевые слова: радиоэлектронные компоненты; радиоэлектронная техника; цифровые устройства; техническое состояние; методы физического диагностирования; прогнозирование.

V. V. Vishnivskiy, S. I. Glukhov, K. P. Storchak

FEATURES OF USING PHYSICAL DIAGNOSIS IN THE CONSTRUCTION OF THE INTELLIGENT DIAGNOSIS SYSTEM OF RADIOELECTRONIC EQUIPMENT

The scientific and technological progress in microelectronics has enabled the transition from analogue to digital technology for a while now. The performance capabilities of radio-electronic equipment are based on several variables, one of which is diagnosis support comprised of diagnostic methods and facilities, maintenance staff and documentation. The diagnostic methods receive special attention in the construction of new equipment samples as they are traditionally behind diagnostic facilities. Functional and test diagnosis methods have been implemented in order to determine technical state of modern equipment. The main disadvantage of these methods is that their use makes it difficult to determine the real technical state of digital devices as well as its forecasting.

In previous articles authors their suggested to perform physical diagnosis based on energy-static, energy-dynamic and electromagnetic methods free from disadvantages of functional and test diagnosis methods. Integrated application of the aforementioned methods allows to significantly improve the reliability of diagnosis, that is particularly relevant for critical infrastructure facilities.

The conducted extreme reliability tests of radio-electronic components made it possible to receive time dependencies of diagnostic parameter's values. The comparison of these dependencies with those obtained in the course of diagnosis in operation allows to determine the real technical state and to carry out its forecasting.

The diagnostic information shall be processed in view of the extreme tests results by the intelligent system of the Diagnostic Information Processing Centres representing the second level of the suggested Technical Diagnosis Automated System. Introduction of this system as a component of radio-electronics' Maintenance and Repair System will allow to automate the procedures of diagnostic information obtaining and processing, to increase the availability factor of radio-electronic equipment and to save considerable amounts of public funds spent on the reservation of separate blocks, in particular Atomic Electric Power Station.

Keywords: radio-electronic components; radio-electronics; digital devices; technical state; physical diagnosis methods; forecasting.