

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА АЛГОРИТМ ОБРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ПОБУДОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Tolubko V.B., Vyshnivskiy V.V., Hlukhov S.I., Berezovska Yu.V. Mathematical Models and Processing algorithm Diagnostic Information Required to Generate Radio-Electronics Intelligent Diagnosis System.

The article presents mathematical models and processing algorithm diagnostic information for an Intelligent Diagnosis System. The System is represented as a Diagnostic Information Processing Centre being the second-level element of the Radio-Electronics Maintenance and Repair System. The diagnostic information obtained using physical diagnosis methods (energy-static, energy-dynamic and electromagnetic methods) will enter the Centre from the units under test (radars, complex automation equipment, communications devices, airfield equipment, nuclear power plants, etc.).

In the course of extreme reliability tests of radio-electronic components the time dependencies of diagnostic parameters have been received and their values have been entered into the Intelligent System Database. Based on the comparison of these dependencies with the diagnostic parameters' values obtained in the course of diagnosis using the mentioned methods and recorded in the database, the decision is made regarding the technical state of the digital devices of radio-electronics' units. Besides, it becomes possible to perform such function of technical diagnosis as determining the residual operation time of the radio-electronic components.

Solving tasks related to the diagnosis and forecasting has resulted in the development of mathematical models of the diagnostic information processing based on a least-squares method. The choice of this method was made because the obtained time dependencies of diagnostic parameters are functions built based on their averaged values using the suggested method and positive results of testing.

Introduction of the Intelligent Diagnosis System will lead to the increase of reliability indexes of radio-electronic equipment and saving public funds spent on the reusable reservation of its blocks.

Key words: radio-electronics, radio-electronic components, technical state, diagnostic information, mathematical models, forecasting, Intelligent Diagnosis System.

Толубко В.Б., Вишнівський В.В., Глухов С.І., Березовська Ю.В. Математичні моделі та алгоритм обробки діагностичної інформації для побудови інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки.

У статті представлені математичні моделі та алгоритм обробки діагностичної інформації для інтелектуальної системи діагностування. Остання являє собою центр обробки діагностичної інформації як елемент другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки, до якого діагностична інформація, отримана з використанням методів фізичного діагностування (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) буде надходити від об'єктів діагностування (радіолокаційних станції, комплексних засобів автоматизації, засобів зв'язку, аеродромного обладнання, атомних електричних станцій тощо).

У ході проведення прискорених випробувань радіоелектронних компонентів на надійність були отримані залежності діагностичних параметрів від часу, значення яких записані у базу даних інтелектуальної системи. На основі їх порівняння зі значеннями діагностичних параметрів, отриманих під час проведення діагностування зазначеними методами та записаними у базу знань, приймається рішення про технічний стан цифрових пристроїв блоків радіоелектронної техніки. Крім того, стає можливим виконання такої функції технічної діагностики як визначення залишкового ресурсу складових об'єктів радіоелектронної техніки.

Вирішення задач, пов'язаних з проведенням діагностування та прогнозування, зумовило побудову математичних моделей обробки діагностичної інформації, в основу яких покладений метод найменших квадратів. Вибір даного методу обумовлений тим, що отримані залежності діагностичних параметрів від часу являють собою функції, побудовані на основі їх усереднених значень запропонованим методом, а також його високими результатами апробації.

Впровадження інтелектуальної системи діагностування призведе до підвищення показників надійності об'єктів радіоелектронної техніки та заощадження державних коштів, які витрачаються на багаторазове резервування її блоків.

Ключові слова: радіоелектронна техніка, радіоелектронні компоненти, технічний стан, діагностична інформація, математичні моделі, прогнозування, інтелектуальна система діагностування.

Толубко В.Б., Вишневикий В.В., Глухов С.И., Березовская Ю.В. Математические модели и алгоритм обработки диагностической информации для построения интеллектуальной системы диагностирования радиоэлектронной техники.

В статье представлены математические модели и алгоритм обработки диагностической информации для интеллектуальной системы диагностирования. Последняя представляет собою центр обработки диагностической информации как элемент второго уровня системы технического обслуживания и ремонта радиоэлектронной техники, на который диагностическая информация, полученная при использовании методов физического диагностирования (энергодинамического, энергостатического, электромагнитного) будет поступать от объектов диагностирования (радиолокационных станций, комплексных средств автоматизации, средств связи, аэродромного оборудования, атомных электрических станций и тому подобное).

В ходе проведения ускоренных испытаний радиоэлектронных компонентов на надежность были получены зависимости диагностических параметров от времени, значения которых записаны в базу данных интеллектуальной системы. На основе их сравнения со значениями диагностических параметров, полученных во время проведения диагностирования указанными методами и записанными в базу знаний, принимается решение о техническом состоянии цифровых устройств блоков радиоэлектронной техники. Кроме того, становится возможным выполнение такой функции технической диагностики как определение остаточного ресурса составляющих объектов радиоэлектронной техники.

Решение задач, связанных с проведением диагностирования и прогнозирования, продиктовало построение математических моделей обработки диагностической информации, в основу которых положенный метод наименьших квадратов. Выбор данного метода обусловлен тем, что полученные зависимости диагностических параметров от времени представляют собою функции, построенные на основе их усредненных значений предложенным методом, а также его высокими результатами апробации.

Внедрение интеллектуальной системы диагностирования приведет к повышению показателей надежности объектов радиоэлектронной техники и экономии государственных денег, которые расходуются на многократное резервирование ее блоков.

Ключевые слова: радиоэлектронная техника, радиоэлектронные компоненты, техническое состояние, диагностическая информация, математические модели, прогнозирование, интеллектуальная система диагностирования.

Вступ

Радіоелектронна техніка (РЕТ) відіграє важливу роль у житті суспільства. Тенденції сьогодення визначаються стримким розвитком елементної бази, на якій побудований широкий клас цифрової техніки. Надійність об'єктів РЕТ залежить від низки факторів, основними з яких є якість елементної бази, умови експлуатації та можливості діагностичного забезпечення [1-3]. Традиційно методи та засоби діагностування відстають від високих темпів розвитку елементної бази. Сучасне діагностичне забезпечення ґрунтується на застосуванні методів функціонального та тестового діагностування, що для цифрової техніки з невеликою кількістю складових є відносно прийнятним та майже неприйнятним для складних систем великої вартості, які містять цифрову частину. Зважаючи на терміни експлуатації, розраховані на 15-40 років [1-3], особливості технічної реалізації зазначених об'єктів, а також економічні чинники України, виконання вимог до показників надійності РЕТ з використанням сучасної системи технічного діагностування стає ускладненим, що обумовлено низкою причин.

Перша причина полягає у постійному зростанні цих вимог, що потребує розробки нових рішень, які дозволять виконувати функції технічної діагностики, а саме: визначити технічний стан, проводити пошук несправностей, моніторинг і прогнозування залишкового ресурсу

РЕТ. Методи функціонального діагностування [2-4], які сьогодні широко застосовуються для зразків РЕТ, визначають технічний стан цифрових пристроїв, з яких складаються її блоки як справний, навіть у випадках, коли характеристики цифрових радіоелектронних компонентів (РЕК) є критичними або наближуються до них, що і стає причиною їх відмов. Причина полягає у тому, що при всіх значеннях ДП, які менше критичного, на виході цифрового пристрою буде сформована одна і та ж реакція, яка являє собою послідовність імпульсів. При цьому неможливо визначити стан кристалу, який характеризується його виродженням. З цієї причини визначення реального технічного стану, а також залишкового ресурсу цифрового пристрою з використанням методів функціонального діагностування є ускладненим.

Друга причина є природною і полягає у відсутності інформації про технічний стан складових блоків РЕТ у майбутньому.

Третя причина полягає в тому, що рівні діагностування [5, 6], які досліджувались, відносяться, як правило, до блоків РЕТ, а вихід зі строю в більшості випадків відбувається на рівні РЕК, з яких складаються цифрові пристрої блоків РЕТ. З цієї ж причини питанням локалізації дефектів на рівні не відновлювального елемента було приділено недостатньо уваги.

Четверта причина, з огляду на хвильову теорію розвитку РЕТ, зумовлена необхідністю розробки універсальних методів та засобів, які дозволять їх застосування для різних поколінь РЕТ.

П'ята причина полягає у спрямованості заходів діагностування в більшій мірі на усунення відмов, а не на їх упередження.

Шоста причина полягає у обмеженості запропонованих рішень, спрямованих в основному на розробку діагностичних моделей та визначення на їх основі значень діагностичних параметрів (ДП). Недостатність, а в деяких випадках, відсутність досліджень "поведінки" діагностичного параметру в майбутньому, негативно впливає на результати прогнозування та визначення залишкового ресурсу об'єктів РЕТ.

Сьома причина полягає у відсутності інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки, що значно збільшує часові показники отримання і обробки діагностичної інформації та відновлення об'єктів РЕТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх робіт [1-6] показав, що питання продовження ресурсу РЕТ розглядаються з точки зору удосконалення діагностичного забезпечення, до якого відносяться методи, засоби, документація та виконавці. У роботах [5, 6] запропоновано удосконалення вмонтованих систем діагностування об'єктів РЕТ, втім залишається незмінною глибина діагностування. Зважаючи на те, що основною причиною відмов є вихід зі строю на рівні РЕК вектор досліджень має бути спрямований на удосконалення методів та засобів діагностування, які дозволять заздалегідь визначати реальний технічний стан на рівні цифрового пристрою та РЕК. Але з огляду конструктивних складностей та економічних чинників проведення вмонтованого контролю на рівні РЕК є недоцільним.

У роботах [7,8] шлях підвищення надійності складових РЕТ представлений у вигляді вирішення задач прогнозування та визначення залишкового ресурсу на основі результатів прискорених випробувань РЕК з точки зору теорії дефектоутворення у напівпровідниках. Незважаючи на це, вірогідність діагностування обмежується можливостями запропонованого методу діагностування, що не завжди прийнятно для об'єктів критичної інфраструктури, в яких для підвищення показників надійності використовується багаторазове резервування, на що держава витрачає великі кошти.

Зазначені недоліки обумовили розробку методів фізичного діагностування (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) [9-11], які дозволяють проводити діагностування з високою вірогідністю на рівні цифрового пристрою, що, в свою чергу,

потребує представлення математичних моделей обробки діагностичної інформації для побудови інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки, що є **метою даної статті**.

Виклад основного матеріалу дослідження

З огляду на тривалість встановлених термінів експлуатації для об'єктів РЕТ, хвильову теорію розвитку РЕТ, а також економічне становище держави забезпечення вимог до показників надійності є актуальним завданням, виконання якого можливо за умови подальшого удосконалення діагностичного забезпечення та використання інтелектуальної системи діагностування. Застосування методів фізичного діагностування дозволило отримати значення ДП та показало їх зміну з часом, яка обумовлена деградаційними процесами у кристалах цифрових РЕК. Визначення технічного стану при використанні даних методів зумовило проведення прискорених випробувань РЕК на надійність, в результаті чого були отримані наближені залежності ДП від часу, які відображають “життєвий” цикл РЕК [7,8]. Використання значень ДП в якості еталонних дозволить з заданою вірогідністю визначати реальний технічний стан РЕК, крім того, отриману залежність доцільно розглядати і як прогнозуючу функцію, що надасть можливість проведення прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв.

Математичний опис процесу обробки діагностичної інформації ґрунтується на використанні математичних моделей, отриманих для кожного з методів діагностування. Кожна з них являє собою аналітичний вираз, який дозволяє отримати усереднені значення ДП на основі “методу найменших квадратів” [12] і представляє собою функцію ДП від часу як результат діагностування з використанням методів фізичного діагностування, що обумовлює використання даного методу для побудови залежностей ДП, отриманих зазначеними методами діагностування в ході експлуатації.

Відомо, що метод найменших квадратів є математичним методом, який використовується для рішення різних задач, оснований на мінімізації суми квадратів відхилень деяких функцій від шуканих змінних. Він може використовуватися для «рішення» систем рівнянь (коли кількість рівнянь перевищує кількість невідомих), для пошуку рішень у випадку звичайних нелінійних систем рівнянь, для апроксимації точкових значень деякої функції. Метод найменших квадратів є одним з базових методів регресійного аналізу для оцінки невідомих параметрів регресійних моделей по вибірковим даним. Перевагами його є зведення всіх обчислювальних процедур до формалізованого розрахунку невідомих коефіцієнтів, а також доступність математичних висновків.

У загальному випадку умова мінімуму квадрату відхилення ДП, яким є напруга на контрольному опорі в корпусній шині цифрового пристрою, для енергостатичного методу буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 U_{R_{\text{контр.}}}(t) = (\sum_{i=1}^k (U_{R_{\text{форс.}}}(t) - U_{R_{\text{контр.}}}(t)))^2 \rightarrow \min ,$$

де $U_{R_{\text{форс.}}}(t)$ - значення напруги в t -й момент часу, виміряне у форсованому режимі,

$U_{R_{\text{контр.}}}(t)$ - значення напруги в t -й момент часу, виміряне у реальному часі на контрольному опорі;

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 U_{A_{\text{нт.}}}(t) = (\sum_{i=1}^k (U_{A_{\text{нт.форс.}}}(t) - U_{A_{\text{нт.}}}(t)))^2 \rightarrow \min ,$$

де $U_{A_{\text{нт.форс.}}}(t)$ - значення напруги в t -й момент часу, виміряне у форсованому режимі, $U_{A_{\text{нт.}}}(t)$ - значення напруги в t -й момент часу, виміряне у реальному часі у антенному пристрої;

для енергодинамічного методу буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 I_{R_{\text{жив.}}}(t) = (\sum_{i=1}^k (I_{R_{\text{жив.}}\text{форс.}}(t) - I_{R_{\text{жив.}}}(t)))^2 \rightarrow \min ,$$

де $I_{R_{\text{жив.}}\text{форс.}}(t)$ - значення напруги в t -й момент часу, виміряне у форсованому режимі, $I_{R_{\text{жив.}}}(t)$ - значення напруги в t - й момент часу, виміряне у реальному часі у шині живлення.

Для першої ланки, де залежність ДП носить майже прямолінійний характер, апроксимуючу функцію доцільно представити рівнянням

$$F_{\text{теор.}}(t) = a_1 t + b_1 , \text{ де } a_1, b_1 - \text{ коефіцієнти.}$$

Для другої ланки графіку, де він має вигляд кривої, доцільно використати в якості апроксимуючої функції поліном другого, третього або більш високого порядку відповідно до кривизни. Для випадку квадратичної функції доцільно використати поліном виду

$$U_{\text{теор.}}(t) = a_2 t^2 + b_2 t + c, \text{ для третього ступеня } a_2 t^3 + b_2 t^2 + ct + d,$$

де a_2, b_2, c, d - коефіцієнти.

Таблиця 1

Метод Ділянка графіку	Енергодинамічний	Енергостатичний	Електромагнітний
1	$(a_1 t + b_1 - I_{R_{\text{жив.}}})^2$	$(a_1 t + b_1 - U_{R_{\text{контр.}}})^2$	$(a_1 t + b_1 - U_{\text{Ант.}})^2$
2	$(a_n t^n + b_n t^{n-1} + c - I_{R_{\text{жив.}}})^2$	$(a_n t^n + b_n t^{n-1} + c - U_{R_{\text{контр.}}})^2$	$(a_n t^n + b_n t^{n-1} + c - U_{\text{Ант.}})^2$
3	$(a_2 t + b_2 - I_{R_{\text{жив.}}})^2$	$(a_2 t + b_2 - U_{R_{\text{контр.}}})^2$	$(a_2 t + b_2 - U_{\text{Ант.}})^2$

$$\Delta^2 = (F_{\text{теор.}}(t) - F_{\text{практ.}}(t))^2 = (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \rightarrow \min ,$$

$$F(ab) = \sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \rightarrow \min ,$$

$$F'(a; b; c; d) = 0,$$

$$F(a; b) = (\sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2)' = 0,$$

$$(\sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2)' = 0,$$

де Δ - різниця значень, $F_{\text{теор.}}(t)$ - узагальнена залежність ДП, отримана в результаті проведення форсованих випробувань, $F_{\text{практ.}}(t)$ - узагальнена залежність ДП, отримана завдяки застосуванню методів фізичного діагностування.

На основі “методу найменших квадратів” представлені формули для розрахунку різниці між значеннями ДП від часу, отриманими завдяки форсованим випробуванням та в результаті застосування енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів для кожної з трьох ділянок залежності ДП від часу, що показано у таблиці 1. Ці функції дозволять розраховувати квадрат різниці теоретичної функції, отриманої в результаті проведених прискорених випробувань РЕК, та практичної, отриманої за значеннями ДП в ході проведення діагностування та оцінити похибку, а також є математичними моделями для обробки діагностичної інформації. Крім того, дані значення являють собою апостеріорну інформацію, яка буде накопичуватись у базі знань інтелектуальної системи, що з часом

дозволить проводити її порівняння з теоретичною (апріорною інформацією), та корегувати залежності ДП. Це призведе до підвищення точності показників діагностування та прогнозування. В подальшому функція, побудована на основі даних фізичного діагностування, буде використовуватись у якості еталонної замість теоретичної, отриманої в результаті форсованих випробувань. Більшу точність забезпечить наявність значень вибірки великого об'єму, дані для поповнення якої будуть надходити після здійснення кожного діагностування цифрових пристроїв відповідно до кожного типу.

Важливим є те, що розкид значень ДП з часом збільшується [13], що описується нормальним законом розподілу (фото. 1), перевірку відповідності до якого буде підтверджуватись у ході роботи інтелектуальної системи діагностування.

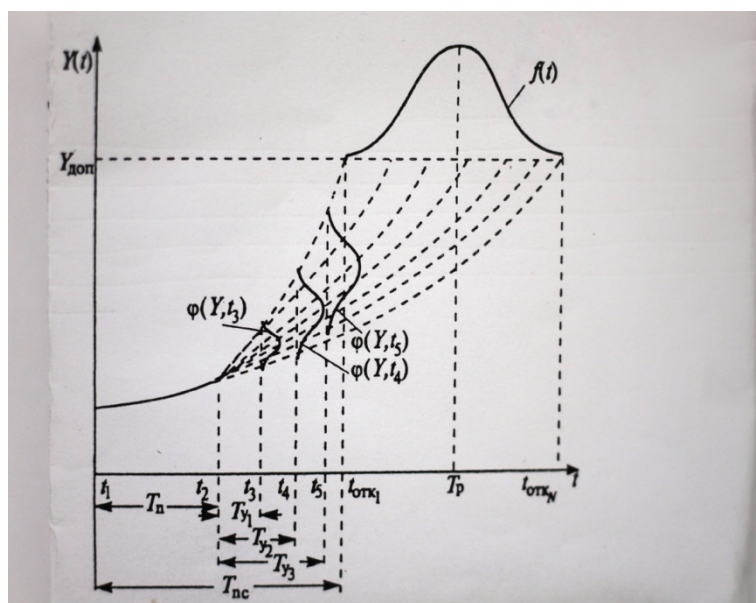


Фото. 1. Динаміка часових характеристик значення діагностичного параметру

На рис. 1 представлений алгоритм обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування та стислий опис його роботи. Призначення алгоритму полягає у визначенні та прогнозуванні технічного стану цифрових пристроїв блоків об'єктів РЕТ. Крім того, запис результатів фізичного діагностування у базу знань інтелектуальної системи діагностики та їх зберігання дозволить підвищити точність діагнозу та прогнозування у майбутньому.

Впровадження інтелектуальної системи діагностування пропонується на другому рівні системи технічного обслуговування і ремонту, має забезпечити:

1. Вибір методу або методів діагностування в залежності від вірогідності діагностування, яка вимагається.
2. Визначення реального технічного стану.
3. Визначення часу експлуатації.
4. Визначення часу наступної перевірки технічного стану.
5. Визначення залишкового ресурсу.

Використання інтелектуальної системи діагностування, яка являє собою центр обробки діагностичної інформації і є елементом другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки, призведе до збільшення середнього часу наробітку на відмову до 20%, зменшення середнього часу діагностування на 15-20 %, і, як наслідок, збільшення коефіцієнту готовності об'єктів РЕТ до 20%.

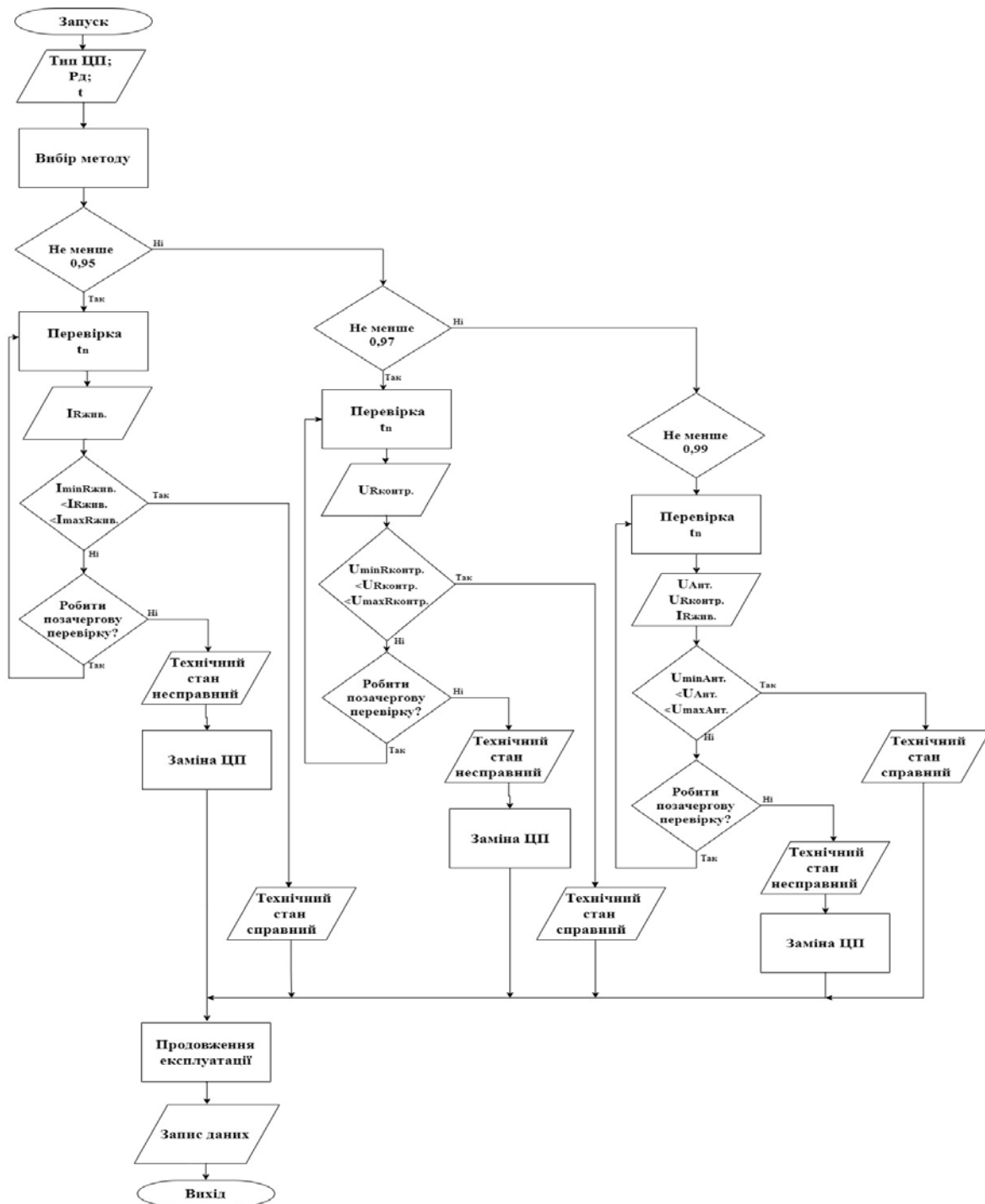


Рис. 1. Алгоритм обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування

Висновки

1. У статті представлені причини, які ускладнюють використання сучасної системи технічного діагностування з точки зору виконання вимог до показників надійності РЕТ.

2. Показана необхідність розробки нового підходу до проведення діагностування та прогнозування технічного стану цифрових пристроїв блоків об'єктів радіоелектронної техніки, який базується на застосуванні методів фізичного діагностування та використанні результатів форсованих випробувань на надійність радіоелектронних компонентів як складових цифрових пристроїв.

3. Показана доцільність використання залежностей діагностичних параметрів від часу, отриманих у ході експлуатації об'єктів РЕТ не тільки для визначення реального технічного стану цифрових пристроїв, а і для визначення їх залишкового ресурсу.

4. Представлені математичні моделі обробки діагностичної інформації, отриманої завдяки застосуванню енергодинамічного, енергостатичного та електромагнітного методів діагностування. В основі моделей лежить метод найменших квадратів, вибір якого обумовлений тим, що отримані залежності діагностичних параметрів від часу являють собою функції, побудовані на основі їх усереднених значень, а також його високими результатами апробації. Зважаючи на характер залежностей було запропоновано розділити їх на три ділянки: пряму для першої ділянки, криву для другої, пряму для третьої, кожна з них представлена поліномом різних ступенів та являє собою математичну модель. Такий крок дозволяє не тільки спростити процес обробки діагностичної інформації, а і призведе до підвищення результатів діагностування та прогнозування.

5. Запропоновано при побудові нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки використання інтелектуальної системи діагностики для обробки діагностичної інформації, отриманої завдяки застосуванню методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів на надійність.

6. Представлений алгоритм обробки діагностичної інформації інтелектуальною системою діагностування, а також стислий опис його роботи. Інтелектуальна система здійснює вибір методів діагностування в залежності від заданої достовірності, що передбачено даним алгоритмом.

7. Показано, що використання інтелектуальної системи діагностування, яка являє собою центр обробки діагностичної інформації і є елементом другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки, призведе до збільшення середнього часу наробітку на відмову до 20%, зменшення середнього часу діагностування на 15-20 %, і, як наслідок, збільшення коефіцієнту готовності об'єктів РЕТ до 20%.

Список використаної літератури

1. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.А. - під ред. Жердева М.К., Ленкова С.В. – К.; ТОВ «Компанія ЛІК», 2009. – 224 с.
2. Васишин В.І., Чечуй О.В., Женжера С.В., Глушко А.П. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем ХНУПС, 2018.- 268 с.
3. Павленко М.А., Тимочко О.І., Сакович Л.М., Козелькова К.С. Теоретичні основи автоматизації процесів розробки рішень в системах управління. – Київ: ДУТ, 2016. – 186 с.
4. Reddy S.M., Saluja K.K. and Karpovsky M.A. (1985), Data Compression Technique for Built-in Self Test: Digest of papers FTCS-15. IEEE Transactions on Computers, IEEE Computer Society Washington, DC, USA.
5. Вишнівський В.В. Проблема побудови автоматизованих систем технічного діагностування інформаційних систем / В.В. Вишнівський // Защита информации; сборник научных трудов. – Киев: НАУ, 2016. – Вып. 23. – С.165-176.
6. 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 Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля. - Луганськ: 2014. – Вип. №4(16). – С. 151-157.
7. В. В. Вишнівський, В.В. Василенко, В.В. Кузавков. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 18-21.
8. Жердев М.К, Кузавков В.В., Глухов С.І. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів // Збірник наукових праць Військового інституту

Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2015. – № 49. – С.40 – 48.

9. Методика розробки діагностичного забезпечення РЕТ на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій / Ленков С.В., Жердев М.К., Толлок І.В., Глухов С.І., Жиров Г.Б. // Системи озброєння і військова техніка. – Харків: Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2017. – Вип. №4(52). – С.46 – 51.

10. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення / Жердев М.К., Селюков О.В., Глухов С.І., Гахович С.В., Нікіфоров М.М. // Системи озброєння і військова техніка.– Харків: Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2018. – Вип. № 2(54). – С.23 – 30.

11. Жердев М.К., Ленков С.В., Шкуліпа П.А. Побудова функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування // Журнал Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба «Системи обробки інформації». – Харків, - 2013. - №1(108). – С. 49 – 52.

12. Клепко В. Ю., Голець В. Л. К 48 Вища математика в прикладах і задачах: Навчальний посібник. 2+ге видання. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 594 с.

13. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В.А Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.

Автори статті

Толубко Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, ректор Державного університету телекомунікацій, Київ, Україна.

Вишнівський Віктор Вікторович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Глухов Сергій Іванович - кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.

Березовська Юлія Володимирівна - аспірант, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Tolubko Volodymyr Borysovych – doctor of Science (technic), professor, rector of the State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Vyshnivskiy Victor Viktorovych – doctor of Science (technic), professor, Head of Department of Computer Science, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Hlukhov Serhiy Ivanovych – candidate of Sciences (technical), associate professor, Head of Department, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.

Berezovska Yuliia Volodymyrivna - postgraduate student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 01.11.2019 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман