

УДК 681.35

**Микола Костянтинівич ЖЕРДЕВ,**  
*доктор технічних наук, професор, провідний науковий  
співробітник наукового центру зв'язку і інформатизації, м. Київ*

**Борис Петрович КРЕДЕНЦЕР,**  
*доктор технічних наук, професор, провідний науковий  
співробітник наукового центру зв'язку і інформатизації, м. Київ*

**Василь Вікторович КУЗАВКОВ,**  
*кандидат технічних наук, докторант  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації  
Державного університету телекомунікацій, м. Київ*

## **УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ОЗБРОЄННЯ АВТОНОМНОЮ АВТОМАТИЗОВАНОЮ СИСТЕМОЮ**

*Розглядається побудова автономної автоматизованої системи технічного діагностування цифрових блоків радіоелектронного озброєння. Розроблено узагальнену методіку діагностування автономною автоматизованою системою технічного діагностування. В основу методики покладено нові науково обґрунтовані методи отримання та обробки діагностичної інформації, діагностичні моделі цифрових блоків, алгоритми побудови діагностичних тестів. Отримані результати дають можливість автоматизувати процес визначення тех-*  
© Жердев М. К., Креденцер Б. П., Кузавков В. В.

*нічного стану РЕО (цифрових блоків РЕО) та процес локалізації несправного РЕК в складі цифрового блока.*

**Ключові слова:** *діагностична модель, тест, алгоритм.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сучасні об'єкти радіоелектронного озброєння (РЕО) являють собою складні технічні системи і є об'єднанням блоків різного фізичного виконання та призначення. Своєчасне виявлення та усунення причин відмов цифрових блоків на місці експлуатації РЕО приводить до підвищення кількісних характеристик надійності та зниженню витрат на експлуатацію. Це визначає необхідність проведення якісного діагностування цих об'єктів. Діагностування цифрових блоків покладається на системи технічного діагностування. Якісне виконання цього важливого завдання залежить від методів діагностування, адекватності діагностичної моделі об'єкта контролю та методики проведення діагностування на основі використання спеціальних програмно-апаратних систем [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** Розвиток мікроелектроніки та інформаційних технологій потребує від конструкторів та виробників сучасних автономних автоматизованих систем діагностування (АА СД) розробки нових методів отримання та обробки діагностичної інформації (ДІ) для визначення технічного стану та локалізації несправного радіоелектронного компонента цифрових блоків [1]. Автономна автоматизована СД блоків РЕО є складовою частиною системи технічного діагностування. Це сукупність засобів, об'єкта діагностування та виконавців, які необхідні для проведення діагностування за правилами, встановленими технічною документацією. Системи діагностування розроблюються на стадії проектування, забезпечуються на стадії виробництва, підтримуються на стадії експлуатації РЕО. Однак цей підхід не завжди виконується. Аналіз показав, що існуючим системам технічного діагностування, які побудовані на основі існуючих методів (методик), властиві суттєві недоліки. Тому такі системи є малоефективними та не відповідають сучасним вимогам [3; 4].

Під час експлуатації існуючих та створення нових зразків РЕО чітко визначились такі протиріччя:

між реальними технічними можливостями РЕО та низьким рівнем їх реалізації через недостатню ефективність АА СД;

рівнем вимог, які ставляться до АА СД, і неможливістю їх задовольнити, використовуючи існуючий методологічний апарат отримання та обробки діагностичної інформації;

обмеженою ціною АА СД та високими вимогами до її характеристик.

Ці обставини призвели до того, що АА СД в існуючих РЕО не в змозі забезпечити локалізацію несправності з точністю до радіоелектронного компонента (РЕК). Як наслідок, це призвело до створення та функціонування на сьогодні складної, неекономічної, багатоконтурної системи технічного обслуговування і ремонту (СТОiP) РЕО, що обумовлює значні втрати часу на контроль технічного стану і локалізацію несправностей у цифрових блоках.

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати ефективний напрямок розвитку та довести принципову можливість побудови вискооефективних АА СД на основі використання нових технологій отримання та обробки діагностичної інформації [1].

Проведені наукові дослідження в галузі діагностування цифрових блоків РЕО дозволили розробити нові методи отримання і обробки діагностичної інформації [5].

**Метою статті** є рішення наукового завдання розробки узагальноної методики діагностування цифрових блоків РЕО засобами АА СД, що побудовано на основі даних методів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перспективними методами технічного діагностування є безконтактний індукційний метод та метод власного випромінювання. Для цих методів діагностування розроблені алгоритми побудови діагностичних тестів цифрових блоків та алгоритми проведення діагностування цифрових блоків. У роботі [1] обґрунтовано доцільність представлення АА СД у вигляді вимірювальної інформаційної системи – як сукупність функціонально об'єднаних вимірювальних, обчислювальних та інших технічних

засобів одержання діагностичної інформації, її перетворення та обробки з метою автоматичного здійснення логічних функцій виміру, контролю, діагностики.

Призначення АА СД, необхідні функціональні можливості, технічні та інші характеристики визначаються об'єктом радіоелектроніки, для якого ця система створюється. Виходячи з цього, основними функціями АА СД є: одержання діагностичної інформації, її обробка, передача, подання інформації операторові, запам'ятовування, відображення та формування керуючих сигналів.

Склад і структура конкретної системи діагностики визначається загальними та частковими технічними вимогами, що містяться в технічному завданні на її створення. Система діагностування повинна:

управляти вимірювальним процесом відповідно до прийнятого критерію функціонування;

мати необхідні показники та характеристики точності, надійності і швидкодії;

відповідати економічним вимогам, способам і формам подання інформації;

бути пристосованою до функціонування з системами суміжних рівнів ієрархії, тобто мати властивості технічної, інформаційної і метрологічної сумісності;

допускати можливість подальшої модернізації та розвитку.

Основні компоненти АА СД та спрощена схема їх взаємодії подані на рис. 1.

Процесом функціонування АА СД є цілеспрямоване перетворення вхідної інформації у вихідну. Це перетворення виконується автоматично – комплексом технічних засобів (технічним забезпеченням) або автоматизовано. Для функціонування системи “людина – комплекс технічних засобів” необхідні відповідні інструкції та правила. Це завдання виконує організаційне забезпечення.

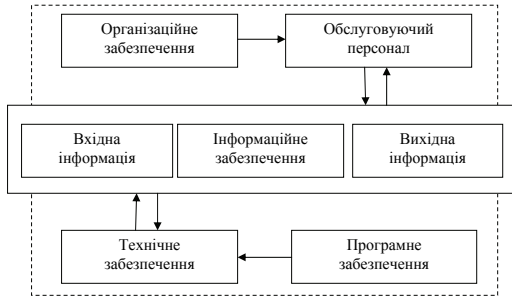
Технічні засоби АА СД складаються з таких блоків:

первинні вимірювальні перетворювачі (датчики);

вторинні вимірювальні перетворювачі;

елементи порівняння – міри;

елементи опису – норми;  
засоби відображення, пам'ять та ін.



**Рис. 1.** Основні компоненти АА СД

За наявності в складі АА СД електронно-обчислювальних засобів (ЕОМ, мікроЕОМ, мікропроцесори) система здобуває властивості комп'ютерно-вимірювальних систем. Обчислювальні засоби, що містяться в подібній АА СД, працюють у режимі реального часу і використовуються не лише для проведення розрахунків, але і як універсальні вимірювальні прилади. Вони (обчислювальні засоби) замінюють стандартні вимірювальні прилади (вольтметри, осцилографи, аналізатори спектра, генератори) системою віртуальних приладів. При цьому одночасно низка цих приладів може бути активована (відтворена) на одному обчислювачі [6].

До основних переваг АА СД, що містять обчислювачі, належать:

значний фонд стандартного прикладного програмного забезпечення, що дозволяє вирішувати широке коло прикладних завдань вимірів (дослідження та обробка сигналів, збір даних з датчиків, керування пристроями і под.);

можливість оперативної передачі вимірів по локальних і глобальних мережах;

високорозвинений графічний інтерфейс користувача, що забезпечує швидке освоєння системи, у тому числі і персоналу відносно низької кваліфікації;

можливість використання пам'яті великої ємності;

можливість складання програм для вирішення конкретних вимірювальних завдань;

можливість оперативного використання різних пристроїв документування результатів вимірів.

У загальному випадку АА СД (з обчислювачем) може бути побудована двома способами: з послідовною та паралельною архітектурою.

У випадку послідовної архітектури (централізована система) частини системи, що перетворюють аналізовані сигнали, обробляють їх у послідовному режимі. Переваги такої архітектури – використання принципу поділу обробки за часом, вартість системи низька.

У випадку паралельної архітектури формується низка паралельних каналів виміру, кожен з яких має власні вузли перетворення сигналів, а процесор обчислювача працює в режимі мультиплексування (тобто об'єднання сигналів). Подібний принцип побудови дозволяє забезпечити оптимізацію обробки сигналів у кожному каналі незалежно. У такій системі перетворення сигналу можливо виконувати локально в місці розташування джерела, що дозволяє передавати сигнали від об'єкта контролю в цифровій формі.

Використання новітніх методів діагностування, алгоритмів виділення та обробки діагностичної інформації, прийняття рішення про технічний стан (ТС) цифрового блока і місця локалізації несправного РЕК дало змогу побудувати функціональну схему АА СД [5]. На рис. 2 показана узагальнена функціональна схема АА СД, що відображає як послідовну, так і паралельну архітектуру побудови, де позначено: БВДІ – блок видачі діагностичної інформації, який у загальному випадку складається з датчика діагностичної інформації (ДДІ), швидкісного детектора (ШД), підсилювача діагностичної інформації (ПДІ), аналого-цифрового перетворювача (АЦП); ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; ІМ – інтерфейсний модуль.

Взаємодія між окремими елементами такої системи здійснюється за допомогою внутрішньої шини обчислювального пристрою, до якої підключені як його зовнішні пристрої (дисплей, зовнішня пам'ять, принтер), так і вимірювальна схема БВДІ.

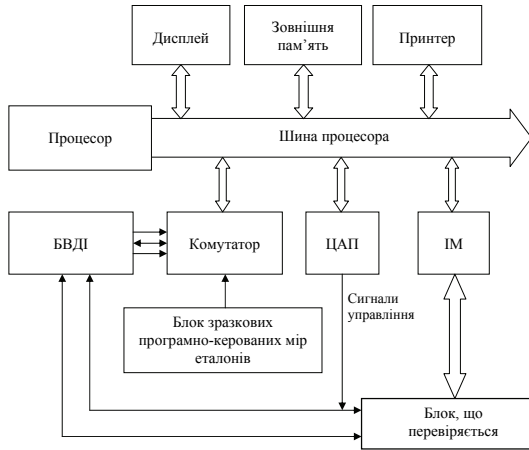


Рис. 2. Узагальнена функціональна схема АА СД

За допомогою ЦАП виробляються керуючі сигнали, ІМ підключає блок, що діагностується, до магістралі приладового інтерфейсу, БВДІ забезпечує подачу аналогових сигналів із зовнішніх датчиків на вузли системи. Відповідно до завдання, що розв'язується (визначення технічного стану або локалізація несправного РЕК) за встановленою програмою, комутуються необхідні вимірювальні елементи (безконтактний індукційний датчик або датчик температури), тобто змінюється архітектура побудови системи. Одним з елементів АА СД є блок зразкових програмно-керованих мір – еталонів (еталонні сигнали та граничні значення – допуски).

Запропоноване представлення АА СД у вигляді вимірювальної інформаційної системи дозволило розробити узагальнену методику діагностування цифрових блоків РЕО, яка викладена далі.

#### **Вихідні дані:**

принципова схема цифрового блока з елементами пам'яті четвертого і п'ятого покоління із зовнішніми зворотними зв'язками;

задана достовірність контролю  $P_k$  – значення імовірності справного стану цифрового блока за умови, що відгук в контрольній точці на тестову послідовність співпадає з еталонним;

еталонні значення відгуку (цифрових значень БВДІ) для кожного РЕК (для методу власного випромінювання) і для кожного цифрового блоку (для безконтактного індукційного методу);

нижній та верхній допуски на параметри, що контролюються.

**Обмеження:**

здійснюється діагностування цифрових блоків;

використання “маніпулятора” та термостата обмежено габаритними розмірами блока, що досліджується;

локалізація несправних РЕК у великогабаритних цифрових блоках здійснюється автоматизованим способом.

**Допуски:** достовірність діагностування  $\geq 0,95$ .

Узагальнена методика складається з двох етапів.

Перший етап – проектування цифрового блока:

1) аналіз функціональних особливостей;

2) розробка алгоритмів для побудови діагностичної моделі;

3) побудова діагностичної моделі;

4) розробка алгоритмів для побудови діагностичних тестів:

побудова повних діагностичних тестів цифрових блоків;

побудова перевірних тестів для визначення технічного стану цифрових блоків;

побудова перевірних тестів для локалізації несправного РЕК в складі цифрового блока;

5) розробка алгоритмів визначення діагностичних параметрів;

6) визначення границь діагностичних параметрів ( $y_v, y_n$ ).

Результатом першого етапу узагальненої методики є формування діагностичного паспорта блока, який записується в пам’ять обчислювача АА СД та містить такі відомості:

діагностичний номер блока;

внутрішню структуру БВДІ (для різних режимів роботи);

значення верхніх та нижніх границь діагностичних параметрів ( $y_v, y_n$ );

алгоритм підключення блока до АА СД;

алгоритми визначення технічного стану цифрового блока та локалізації несправного РЕК.



Другий етап узагальненої методики – діагностування цифрового блоку:

1) встановлення цифрового блоку в АА СД та його ініціалізація;  
 2) приведення АА СД у режим визначення технічного стану цифрового блоку безконтактним індукційним методом. Інформація знімається датчиком, який “вдягнуто” на шину живлення цифрового блоку. Спосіб отримання та первинної обробки діагностичної інформації для безконтактного індукційного методу подано на рис. 3 [5];

3) подача перевірного тесту;

4) зняття діагностичних параметрів ( $y_{\text{вим}}$ ) БВДІ:

сигнали ДДІ нормуються за амплітудою (підсилюються ПДІ);

пікові значення шумоподібного сигналу датчика діагностичної інформації подаються на швидкісний детектор та перетворюються в аналоговий сигнал;

в АЦП аналоговий сигнал перетворюється на цифровий код;

5) порівняння отриманих значень діагностичного параметра ( $y_{\text{вим}}$ ) з його верхньою і нижньою границею ( $y_{\text{в}}$ ,  $y_{\text{н}}$ );

6) прийняття рішення про технічний стан цифрового блоку;

7) приведення АА СД в режим локалізації несправного РЕК методом власного випромінювання (для несправного цифрового блоку). У випадку застосування методу власного випромінювання для пошуку (локалізації) несправного РЕК (рис. 4) місце зняття діагностичної інформації оператору “вказує” АА СД з врахуванням попередніх результатів роботи алгоритму визначення технічного стану цифрового блоку (безконтактний індукційний метод). За цими результатами автоматизована система покроково здійснює “підігрів” – вивід “підозрюваних” РЕК на сталий (робочий) режим, після цього здійснюється вимір діагностичного параметру на цьому РЕК і, залежно від отриманого результату, приймається рішення про стан РЕК або про подальше просування по схемі (за вказівками АА СД). Реалізація вказаного алгоритму роботи АА СД може здійснюватися автоматично за наявності керованого двокоординатного маніпулятора пересування пристрою реєстрації – вимірального пристрою. Подібний маніпулятор здійснює “геометричну” прив’язку положення вимірального

пристрою до РЕК цифрового блока, що перевіряється, а також “нормалізує” час виміру діагностичного параметра. Функції маніпулятора повною мірою (при переопрацюванні програмного забезпечення) може виконувати планшетний сканер відповідного формату.

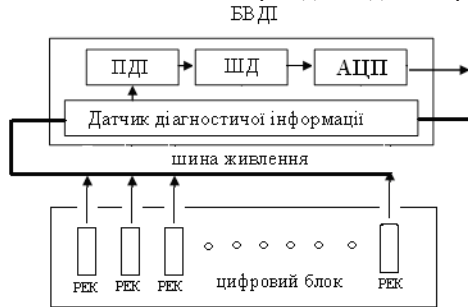


Рис. 3. Структура БВДІ при використанні безконтактного індуктивного методу

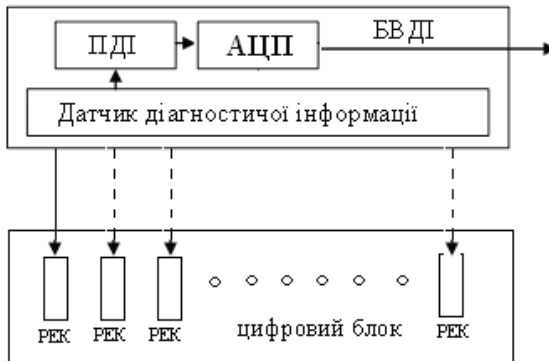


Рис. 4. Структура БВДІ при використанні методу власного випромінювання

Таким чином діагностичний параметр для методу власного випромінювання може бути виміряний в контактний або безконтактний спосіб, автоматично або автоматизовано;

- 8) подача тесту локалізації несправного РЕК;
- 9) зняття діагностичних параметрів ( $y_{вим}$ ) БВДІ: інформація знімається ДДІ;

підсилюється (ПДІ);

в АЦП діагностичний параметр перетворюється в цифровий код;

10) порівняння отриманих значень діагностичного параметра ( $y_{\text{вим}}$ ) з його верхньою і нижньою границею ( $y_{\text{в}}$ ,  $y_{\text{н}}$ );

11) прийняття рішення про технічний стан РЕК.

Результатом другого етапу і всієї методики в цілому є визначення технічного стану цифрового блока, а у випадку виявлення його несправності – локалізація несправного РЕК.

**Ефект від впровадження методики** полягає в скороченні числа діагностичних параметрів (до одного в кожному запропонованому методі), у зменшенні часу діагностування (за попередніми розрахунками на 10–15 %), у скороченні апаратної частини АА СД та зменшенні вартості діагностування при виконанні вимог до його вірогідності.

**Новизна методики** полягає в тому, що в її основу покладено нові науково обґрунтовані методи отримання та обробки діагностичної інформації, алгоритми побудови діагностичних моделей РЕК і нові алгоритми побудови діагностичних тестів. Це відрізняє запропоновану методику від відомих.

**Висновки.** Розроблена узагальнена методика діагностування цифрових блоків АА СД дозволяє автоматизувати процес діагностування, зменшити середній час відновлення та підвищити коефіцієнт готовності зразків РЕО.

Використання систем діагностування, заснованих у цій методиці, дозволяє залучати до ремонту (експлуатації) РЕО обслуговуючий персонал відносно низької кваліфікації і знизити вартість відновлення цифрових блоків РЕО.

**Перспективами подальших досліджень у даному напрямку** вважаємо подальшу автоматизацію процесу визначення технічного стану РЕО (цифрових блоків РЕО) та процесу локалізації несправного РЕК у складі цифрового блока.

### Список використаної літератури

1. Zherdev M. K. Ways and methods of efficiency increasing of the independent automated test systems of radio-electronic devices / M. K. Zherdev, B. P. Kredentser,

V. V. Kuzavkov // Electronics and Control Systems. – 2014. – National Aviation University. – № 4(42). – С. 150–154.

2. Шкуліпа П. А. Проблема розробки інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки / П. А. Шкуліпа // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2012. – № 58, ч. II. – С. 165–166.

3. Ильин В. А. Информационно-измерительные системы : учеб. пособие / В. А. Ильин. – М. : Изд-во ВЗПИ, 1981.

4. Информационно-измерительная техника и технологи / В. И. Калашников, С. В. Нефедов, А. Б. Путилин и др.; под ред. Г. Г. Раннева. – М. : Высш. шк., 2002.

5. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків / В. В. Вишнівський, М. К. Жердев, Б. П. Креденцер та ін. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2013. – Вип. № 43. – С. 17.

6. Информационно-измерительная техника и электроника : учебник / Г. Г. Раннев, В. А. Сурогица, В. И. Калашников и др.; под. ред. Г. Г. Раннева. – М. : Изд. центр Академия, 2006.

7. Жердев М. К. Побудова функціональних перевірних тестів для безконтактного індуктивного методу діагностування / М. К. Жердев, В. В. Кузавков // Системи озброєння та військова техніка. – Х. : Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2014. – № 4(40). – С. 73.

*Рецензент – доктор технічних наук Вишнівський В. В.*

*Стаття надійшла до редакції 19.02.2015.*

**Жердев Н. К., Креденцер Б. П., Кузавков В. В. Обобщенная методика диагностирования цифровых блоков радиоэлектронного вооружения автономной автоматизированной системой**

Рассматривается построение автономной автоматизированной системы технического диагностирования цифровых блоков радиоэлектронного вооружения. Разработана обобщенная методика диагностирования автономной автоматизированной системой технического диагностирования. В основу методики положены новые научно обоснованные методы получения и обработки диагностической

информации, диагностические модели цифровых блоков, алгоритмы построения диагностических тестов. Полученные результаты дают возможность автоматизировать процесс определения технического состояния РЕО (цифровых блоков РЕО) и процесс локализации неисправного РЕК в составе цифрового блока.

**Ключевые слова:** *диагностическая модель, тест, алгоритм.*

*Zherdev M., Kredentser B., Kuzavkov V.* **Summary diagnostic method for digital radio electronic blocks of units autonomous diagnostic systems**

Modern objects of radio electronic armament (REA) are the difficult technical systems, and consist of association of blocks of different physical execution and setting. A timely exposure over and removals of reasons of refuses of digital blocks in place of exploitation REA brings to the increase of quantitative descriptions of reliability and cost cutout on exploitation of technique. This circumstance determines the necessity of realization of the quality diagnosticating. The task of diagnosticating of digital blocks is laid on the systems of the technical diagnosticating. Quality the performance of objective of diagnosticating depends on the methods of diagnosticating, adequacy of diagnostic model of object and methodology of realization of diagnosticating, use of the special programmatic vehicle systems.

Development of microelectronics and information technologies requires from designers and producers of the modern automated systems of diagnosticating (ADS) of development of new methods of receipt and treatment of diagnostic information for determination of the technical state and localization of defective radio electronic component in a digital block. Automated system of diagnosticating of blocks REA is component part of the system of technical service. It is totality of facilities, objects of diagnosticating and performers, that is needed for realization of diagnosticating on the rules set by technical documentation. The systems of diagnosticating are developed on the stage of planning, provided on the stage of production, supported on the stage of exploitation REA. However this approach not always is executed. An analysis showed that to the existent systems of the technical diagnosticating built on the basis of existent methods

(methodologies), inherent substantial defects. Therefore such systems are ineffective, and does not answer modern requirements.

During exploitation existing and created new standards REA next contradictions were clearly determined:

between the real economic feasibilities REA and by the low level of their realization from after to insufficient efficiency of ADS;

between the level of requirements that is produced to ADS, and impossibility of them to satisfy, using the existent methodological vehicle of receipt and treatment of diagnostic information;

between a limit cost of ADS and high requirements to her descriptions.

These circumstances resulted in that ADS in existing REA can not provide localization of disrepair within a radio electronic component (REC). As a result, today created and the difficult functions, not economical, much contour system of technical service and repair of REA, that results in the considerable losses of time on control of the technical state and localization of disrepairs.

The conducted analysis allowed to ground effective direction of development of ADS and finish telling fundamental possibility of her construction on the basis of the use of DP receipt and treatment of diagnostic information.

On the basis of undertaken scientific studies in area of diagnosticating of digital blocks REA the new methods of receipt and treatment of diagnostic information are worked out. The aim of the article are decisions of scientific task of development of the generalized methodology of diagnosticating of digital blocks REA by facilities of ADS built on the basis of offer new methods.

**Keywords:** *diagnostic model, test, algorithm.*