

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГЛУХОВ СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ

УДК 004.021, 004.048, 681.518.5 (043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ
ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ
НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ С.І. Глухов

Науковий консультант:

Жердев Микола Костянтинович, доктор технічних наук, професор

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Глухов С.І. Методологія побудови автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 2021.

Радіоелектронна техніка (радіолокаційні станції, комплексні засоби автоматизації, засоби зв'язку та спеціального зв'язку, програмно-керовані засоби захисту інформації, системи управління та контролю, атомні електричні станції тощо), відіграє важливу роль для забезпечення життя та безпеки суспільства. Надійність радіоелектронної техніки (РЕТ) визначається декількома факторами: якістю елементної бази, рівнем метрологічного забезпечення, умовами експлуатації, кваліфікацією персоналу, рівнем діагностичного забезпечення та можливостями інформаційних технологій.

Сьогодні фактична тривалість термінів експлуатації РЕТ перевищує встановлену (10-15 років) у декілька разів, а заміна об'єктами нового парку на елементній базі третього та четвертого поколінь проводиться повільно, що обумовлено економічними факторами. Вихід зі строю цифрових пристроїв як складових частин блоків РЕТ з причин поступових відмов став частішим, наслідком чого є збільшення середнього часу відновлення, що зменшує комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності. Існуюча система технічного обслуговування і ремонту (СТОіР), до першого рівня якої відносяться об'єкти РЕТ, не в повній мірі забезпечує виконання вимог керівних документів з ремонтпридатності, які передбачають покращення показників надійності до заданого рівня. Причина полягає в тому, що діагностичне забезпечення, яке являє собою ряд методів діагностування, засобів, побудованих на їх основі, персоналу не дозволяє визначати та прогнозувати з заданою достовірністю технічний стан цифрових пристроїв, а

також проводити локалізацію дефектних елементів. З огляду на те, що останнім часом вимоги щодо підтримки належного рівня показників надійності стають більш жорсткими, а також недоліки, притаманні існуючим СТД, загострилося протиріччя між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних засобів діагностування, значного збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних засобів діагностики, оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації.

Вирішення його можливо за умови побудови автоматизованої системи технічної діагностики (АСТД) на основі удосконаленого діагностичного забезпечення з використанням інформаційних технологій, що дозволить автоматизувати процес отримання та обробки діагностичної інформації від об'єктів старого та нового парку. Робота запропонованої АСТД дозволить з достатньо високою достовірністю заздалегідь визначати цифрові пристрої з критичними характеристиками та упереджувати їх відмови шляхом завчасної заміни. Це відрізняє призначення даної АСТД від інших систем контролю та діагностики, можливості яких дозволяють проводити визначення вже несправних цифрових пристроїв без упередження їх відмови.

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду розробки та впровадження АСТД свідчить про доцільність та можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування.

Інформаційні технології знаходять своє відображення у отриманні діагностичної інформації, передачі її від об'єктів РЕТ до центрів обробки, зберіганні її на першому та другому рівнях системи технічного обслуговування і ремонту, обробці та прийнятті рішень щодо технічного стану цифрових пристроїв та його прогнозування на основі розроблених алгоритмів. В запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики

здійснюється передача діагностичної інформації про технічний стан цифрових пристроїв, що відрізняє її від існуючих, в яких проводилось фізичне переміщення цифрових пристроїв з першого рівня на другий, що призводило до великих часових та фінансових витрат.

Отже, актуальна **науково-прикладна проблема**, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування РЕТ на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

Вперше розроблені:

- концептуальні основи отримання діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та її обробки в автоматизованій системі технічної діагностики з урахуванням результатів форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, а також прогнозування залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі інформаційних технологій;

- комплексний метод діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування, що дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування;

- метод отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, що дозволяє підвищити значення комплексного показника надійності;

- метод визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції, що дозволяє підвищити точність оцінки технічного стану цифрових пристроїв.

Удосконалено:

- метод локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих

випробувань, що дозволяє заздалегідь визначати комплектуючий компонент з критичними характеристиками;

- метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі запропонованої діагностичної моделі та розробленого алгоритму отримання та обробки діагностичної інформації, що дозволяє підвищити достовірність прогнозу технічного стану та покращити точність визначення залишкового ресурсу цифрового пристрою;

- метод діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань, що забезпечує отримання необхідної достовірності визначення технічного стану.

Практичне значення роботи полягає в розробці технології отримання та обробки діагностичної інформації та обґрунтуванні рекомендацій щодо створення нової автоматизованої системи технічної діагностики, алгоритмів для систем підтримки прийняття рішень для існуючих та перспективних зразків РЕТ, що дозволить покращити значення показників надійності та зменшити фінансові витрати на їх досягнення.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані у Державному підприємстві “Науково-дослідний інститут “КВАНТ” (акт від 22.03.2019 р.) при розробці пристроїв діагностування зразків РЕТ, обробки діагностичної інформації, локалізації дефектних радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв та прогнозування їх стану; у Державному науково-дослідному інституті хімічних продуктів (акт від 20.05.2019 р.) при розробці модулів діагностування цифрових пристроїв, а також центрів обробки діагностичної інформації як елементів нової АСТД радіоелектронної техніки; у ТОВ науково-виробничій фірмі “АДРОН” (акт від 28.04.2020 р.) при розробці засобів діагностування цифрових пристроїв та обробки діагностичної інформації для побудови АСТД. Отримані нові науково-обґрунтовані практичні рекомендації щодо побудови нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ на основі фізичного діагностування,

впровадження якої дозволить підвищити показники якості діагностування та значення показників надійності об'єктів РЕТ.

Ключові слова: радіоелектронна техніка, радіоелектронні компоненти, цифрові пристрої, фізичне діагностування, прогнозування, інформаційні технології.

ABSTRACT

Hlukhov S. I. Methodology for the Automated Technical Diagnosis System Development for Radio-Electronics based on Physical Diagnosis. – Manuscript.

Thesis for the Scientific Degree of Doctor of Engineering Sciences, Speciality 05.13.06 – Information Technology. Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation focuses on finding the solution to the relevant scientific and applied issue of ensuring a reliable automated diagnosis of radio-electronics based on integrated diagnosis using information technology. It allows preventing the failure of its units with set reliability to obtain necessary values of reliability indicators.

The following has been developed for the first time:

- a conceptual framework of obtaining diagnostic information based on physical diagnosis methods and of its processing using Automated Technical Diagnosis System considering the extreme reliability tests results of digital devices and forecasting the residual life of digital devices based on information technology;

- an integrated diagnosis method based on the processing of diagnostic information obtained by simultaneous iterative application of physical diagnosis methods, which allows to increase the reliability of diagnostic results;

- a method of diagnostic information obtaining and processing for the digital devices' physical diagnosis method energy-dynamic, energy-static, electromagnetic and the results of forced tests of digital devices for reliability, which increases the value of a comprehensive reliability indicator;

- a technique of determining the digital devices' technical state using physical diagnosis methods, which allows to increase the accuracy of assessing the technical condition of digital devices.

The following has been improved:

- an isolation technique of defective digital elements based on the electromagnetic diagnostic method and extreme tests results, which allows you to pre-determine the component with critical characteristics;

- a diagnosis the method of forecasting the technical condition and determining the residual life of digital devices based on the proposed diagnostic model and the developed algorithm for obtaining and processing diagnostic information, which allows to increase the reliability of the technical condition forecast and improve the accuracy of determining the residual life of digital devices;

- a method of diagnosing digital devices of electronic equipment by using data from methods of physical diagnostics and the results of forced tests, which provides the necessary reliability to determine the technical condition.

The thesis proves the possibility of using diagnostic information obtained using physical diagnosis methods (energy-dynamic, energy-static, electromagnetic), as well as extreme reliability tests results of radio-electronic components to determine the technical state and forecast digital devices. This allows preventing their failure with a high probability and provide early replacement of devices with critical characteristics.

The author has suggested increasing diagnosis reliability through the integrated use of physical diagnosis methods. As a result, the use of one or a combination of physical diagnosis methods has been made possible depending on the required reliability, which, in turn, is determined by the importance of the item. This allows providing different values of diagnosis reliability.

The diagnostic information is suggested to be processed during the partitioning of diagnostic parameter dependence into three sections by the least-

squares technique. This allows improving the accuracy of diagnosis and forecast of the technical state of the radio electronics digital devices.

The application of the developed isolation technique of defective digital elements based on the electromagnetic diagnostic method and extreme tests results allows the identification of radio-electronics with critical characteristics with a high probability in advance. This allows the replacement of defective radio-electronic components before their failure.

Information technologies are reflected in diagnostic information obtaining, its transfer from radio-electronics units to the processing centres, its storage at the first and second levels of the maintenance and repair system, processing and decision-making regarding digital devices' technical state and its forecasting based on the developed algorithms. The suggested Technical Diagnosis Automated System transmits diagnostic information on the technical state of digital devices which distinguishes it from existing ones, where digital devices are physically transferred from the first level to the second resulting in substantial time and finance expenditures.

The solutions have been developed based on the theoretical study conducted in the dissertation allowing to establish a Technical Diagnosis Automated System ensuring the reliability of digital devices diagnosis from 0.95 to 0.99995. The integrated application of physical diagnosis with the extreme reliability tests results of digital devices using information technology has reduced the average time of diagnosis by 15-20 % and consequently reduced mean time to recovery. The increase of the diagnosis reliability has led to an increase in the integrated reliability index – the availability factor to a value of at least 0.95.

Keywords: diagnosis, technical state, digital device, physical diagnosis methods, forecasting, information technology.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 21. С. 42-45. (Видання індексується Google Scholar).

2. Жердєв М.К., Глухов С.І., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 22. С. 20-30. (Видання індексується Google Scholar).

3. Ленков С.В., Жердєв М.К., Креденцер Б.П., Глухов С.І., Попов П.П. Побудова універсального ремонтного модуля для локалізації дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни з використанням електромагнітного методу діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 24. С. 52-57. (Видання індексується Google Scholar).

4. Глухов С.І., Жердєв М.К., Савков П.А., Попов П.П., Пистряк В.В. Техніко-економічний аналіз доцільності впровадження уніфікованого ремонтного модуля на основі електромагнітного методу діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2010. № 1. С. 24-27. (Видання індексується Google Scholar).

5. Глухов С.І., Попов П.П., Жердева О.В. Удосконалений електромагнітний метод визначення працездатності цифрових типових елементів заміни. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. Вип. № 1. С.48-53. (Видання індексується Google Scholar).

6. Глухов С.І., Буяло О.В., Гахович С.В., Жиров Г.Б. Математична модель процесів відмов електромеханічних складових частин сучасних складних радіоелектронних систем. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2012. № 38. С. 14-19. (Видання індексується Google Scholar).

7. Глухов С.І., Жердев М.К., Сакович Л.М., Шевченко В.В. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту техніки зв'язку при використанні електромагнітного методу діагностування. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУІКТ. 2012. № 4(100). С. 40-43. (Видання індексується Google Scholar).

8. Глухов С.І. Використання електромагнітного методу діагностування цифрових типових елементів заміни безпосередньо на об'єкті експлуатації. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 39. С.35-45. (Видання індексується Google Scholar).

9. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення радіоелектронних засобів озброєння. Збірник наукових праць Військового інституту університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 42. С. 10-15. (Видання індексується Google Scholar).

10. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення військової техніки зв'язку. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Київ: Вид-во ВІТІ ДУТ, 2013. Вип. 1. С. 6-12. (Видання індексується Google Scholar).

11. Глухов С.І., Зайцев О.В., Савченко Т.В. Модель інтеграції даних від різних інформаційних джерел на основі теорії свідочств. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. Вип. № 43. С. 142-145. (Видання індексується Google Scholar).

12. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння та обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2016. №52. С. 12-19. (Видання індексується Google Scholar).

13. Глухов С.І. Прогнозування технічного стану радіоелектронної техніки на основі результатів форсованих випробувань з використанням методів фізичного діагностування. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2018. № 62. С. 28-34. (Видання індексується Google Scholar).

14. Глухов С.І. Методика діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань на надійність радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2019. № 63. С. 12-19. (Видання індексується Google Scholar).

*Статті у наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

15. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Ленков С.В. Перевірка адекватності діагностичної моделі радіоелектронного компоненту для електромагнітного методу діагностування. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ, 2012. Вип. № 8 (179). Ч.1. С.

106-109. (Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34). Видання індексується Google Scholar).

16. Ленков С.В., Жердев М.К., Толлок І.В., Глухов С.І., Жиров Г.Б. Методика розробки діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2017. Вип. №4(52). С. 46-51. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

17. Жердев М.К., Селюков О.В., Глухов С.І., Гахович С.В., Нікіфоров М.М. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2018. Вип. № 2(54). С. 23-30. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

18. Жердев М.К., Глухов С.І., Нікіфоров М.М. Методика обробки діагностичної інформації для автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. Наука і техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1(34). С. 70-78. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 92.41), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

19. Глухов С.І. Методика обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Збірник наукових праць. Вид.-во ХНУПС імені

Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1 (59). С. 81-86. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 86.84), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

20. Глухов С.І. Обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Новітні технології. Збірник наукових праць приватного вищого навчального закладу “Університет новітніх технологій”. Київ, 2019. Вип. № 1(8). С. 151-157. (Видання індексується міжнародними наукометричними базами Index Copernicus (Польща, ICV 2016 = 48.53), Scientific Indexing Services (SIS).

21. Глухов С.І. Побудова алгоритму розрахунку часу прогнозування технічного стану цифрових пристроїв радіоелектронної техніки при використанні методів фізичного діагностування. Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2019. Вип. №1(57). С. 69-76. Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

22. Глухов С.І. Особливості отримання та обробки інформації з використанням методів фізичного діагностування в новій автоматизованій системі технічного діагностування. Військово-технічний збірник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, 2019. Вип. № 20. С. 8-13. (Видання індексується Google Scholar).

23. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Сторчак К.П. Особливості використання фізичного діагностування при побудові інтелектуальної системи діагностики радіоелектронної техніки. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУТ, 2019. № 1(137). С. 8-13. (Видання індексується Google Scholar).

24. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В. Прогнозування залишкового ресурсу інформаційних систем з використанням

інтелектуальної системи діагностування. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 3(55). С. 5-11. (Видання індексується Google Scholar).

25. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В., Березовська Ю.В. Математичні моделі та алгоритм обробки діагностичної інформації для побудови інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 4(56). С. 5-13. (Видання індексується Google Scholar).

26. Глухов С.І., Сакович Л.М., Яковлев М. Ю., Гальоса А.О. Розробка та техніко-економічне обґрунтування автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Х.: НАНГУ, 2020. № 1(35). С. 30-40. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus, індексується Google Scholar).

27. Глухов С.І., Сакович Л.М., Бабій О.С., Гальоса А.О. Методика фізичного діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2020. Вип. № 2 (62). С. 93-101. (Журнал включено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

28. Igor Ruban, Hennadii Khudov, Vitaliy Lishchenko, Andrii Zvonko, Sergey Glukhov, Irina Khizhnyak, Volodymyr Maliuha, Yurii Polonskyi, Ruslan Kushpeta. The calculating effectiveness increasing of detecting air objects by combining surveillance radars into the coherent system. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8. No. 4, April 2020, p. 1295-1301. (Індексується в SCOPUS).

29. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Oleksandr Maistrenko, Andrii Fedorov, Anatolii Andriienko, Oleksandr Koplik. The method of ADS-B receiver systems synchronization using MLAT technologies in the course of radar control

of air environment. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8. No. 5, May 2020, p. 1946-1951 (Індексується в SCOPUS).

30. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Viacheslav Podlipaiev, Vladislav Pavlii, Irina Khizhnyak, Iryna Yuzova. The multiscale image processing method from on-board earth remote sensing systems based on the artificial bee colony algorithm. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Volume 9, No.3, May - June 2020, p. 2557-2562. (Індексується в SCOPUS).

31. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Andrey Halosa, Viktor Hudyma, Andrii Zvonko, Iryna Yuzova. The Energodynamic Method of Diagnostics of Electronic Equipment Digital Devices. International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering. Volume 8, No.9, September 2020, p. 5681 – 5687. (Індексується в SCOPUS).

Тези наукових доповідей:

1. Глухов С.І., Жердєв М.К., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: V Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24 квітня 2009 р.: тези доп. Київ, 2009. С.12.

2. Глухов С.І., Попов П.П. Аналіз сучасного стану розвитку системи технічного обслуговування і ремонту Збройних Сил України. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: VII Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24-25 листопада 2011 р.: тези доп. Київ, 2011. С.34 – 35.

3. Глухов С.І., Жердєв М.К., Сакович Л.М., Попов П.П. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту типового елемента заміни при використанні електромагнітного методу діагностування. *Інформаційні*

технології у військовій сфері: матеріали науково-практичного семінару. – Київ, 2012. Вип. № 7. С.27-35.

4. Глухов С.І., Шевченко В.В. Аналіз існуючих систем технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів озброєння у Збройних Силах України. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: VIII Міжнародна наук.-практ. конф., 23 листопада 2012 р.: тези доп. Київ, 2012. С. 35.

5. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Шевченко В.В. Діагностування цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу знімання діагностичної інформації. *Новітні технології – для захисту у повітряному просторі*: IX наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба, 9-10 квітня 2013 р.: тези доп. Харків, 2013. С.304 – 305.

6. Глухов С.І., Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування. *Сучасні проблеми розбудови ЗСУ*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 26 квітня 2013 р.: тези доп. Київ, 2013. С. 114.

7. Глухов С.І., Шевченко В.В., Савран О.В. Удосконалення методу діагностування цифрових ТЕЗ на основі електромагнітного методу. *Актуальні завдання гуманітарного, фінансово-економічного, правового, матеріально-технічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 25 квітня 2014 р.: тези доп. Київ, 2014. С.72.

8. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Аналіз існуючих методів перевірочних тестів для цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу діагностування. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка*: Всеукраїнська наук.-практ. конф., 24 квітня 2015 р.: тези доп. Київ, 2015. С. 124.

9. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного способу діагностування. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XI Міжнародна наук.-практ. конф., 27 листопада 2015 р.: тези доп. Київ, 2015. С. 86.

10. Глухов С.І. Обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при діагностуванні радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XII Міжнародна наук.-практ. конф., 25 листопада 2016 р.: тези доп. Київ, 2016. С. 34.

11. Глухов С.І. Методика вибору діагностичного параметру для інтелектуальної системи діагностування РЕТ. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 28 квітня 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С. 79 – 80.

12. Глухов С.І., Рижов Є.В. Методологія побудови інтелектуальної системи діагностування військової техніки зв'язку. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності*: наук.-практ. конф., 16 листопада 2017 р.: тези доп. Львів, 2017. С. 64.

13. Глухов С.І. Використання інтелектуальної системи для діагностування об'єктів радіоелектронних засобів озброєння України. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XIII Міжнародна наук.-практ. конф., 24 листопада 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С.30.

14. Глухов С.І., Романенко В.П. Використання інформаційних технологій у процесі діагностування радіоелектронної техніки. *Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції*: XXII Всеукраїнська наук.-практ. конф., 26-27 квітня 2018 р.: тези доп. Житомир, 2018. С.195 – 196.

15. Глухов С.І., Рижов Є.В. Застосування інформаційних технологій під час діагностування радіоелектронної техніки. *Перспективи розвитку*

озброєння та військової техніки Сухопутних військ: наук.-техн. конф., 17-18 травня 2018 р.: тези доп. Львів, 2018. С. 193 – 194.

16. Глухов С.І., Романенко В.П. Методика діагностування та прогнозування технічного стану об'єктів радіоелектронної техніки при використанні автоматизованої системи технічного діагностування. *Сучасні інформаційні технології та кібербезпека*: наук.-практ. конф., 15-16 листопада 2018 р.: тези доп. Київ, 2018. С. 161-164.

17. Глухов С.І., Савран В.О. Пристрій інтелектуалізації автоматичного контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових пристроях з використанням енергетичних методів діагностування. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XIV Міжнародна наук.-практ. конф., 22 листопада 2018 р.: тези доп. Київ, 2018. С. 32.

18. Глухов С.І., Рижов Є.В. Особливості використання методів фізичного діагностування при побудові автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ*: наук.-техн. конф., 16-17 травня 2019 р.: тези доп. Львів, 2019. С. 218.

19. Глухов С.І., Романенко В.П. Застосування інтелектуальної системи в автоматизованій системі технічної діагностики радіоелектронної техніки. Матеріали науково-практичної конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, м. Київ, 19-20 листопада 2019 року. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 157.

20. Глухов С.І. Використання інтелектуальної системи для діагностування радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XV Міжнародна наук.-практ. конф., 29 листопада 2019 р.: тези доп. Київ, 2019. С. 35.

21. Глухов С.І., Гальоса А.О. Шляхи підвищення надійності радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування з використанням інтелектуальної системи діагностики. *Спільні дії військових*

формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи, 10-11 вересня 2020 р.: тези доп. Одеса, 2020. С. 40 – 41.

22. Глухов С.І., Гальоса А.О., Сакович Л.М. Удосконалення діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки та техніки спеціального зв'язку на основі фізичного діагностування з використанням інтелектуальної системи діагностики. Матеріали науково-практичної конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, м. Київ, 18-19 листопада 2020 р. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 191–192.

23. Глухов С.І., Гальоса А.О. Обґрунтування застосування інтелектуальної системи діагностики при використанні фізичного діагностування для радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня: XVI Міжнародна наук.-практ. конф.*, 27 листопада 2020 р.: тези доп. Київ, 2020. С. 21.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Жердєв М.К., Сакович Л.М., Глухов С.І., Попов П.П. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компонента техніки спеціального зв'язку. *ДССЗЗІ Information Technology and Security*. Київ, 2012. Вип. №1(1). С. 62-69. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus, індексується Google Scholar).

2. Могилевич Д.І., Правило В.В., Явісія В.С., Глухов С.І., Семеха С.М. Застосування технології МІМО при побудові базових станцій систем мобільного зв'язку. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2012. № 36. – С. 128-131. (Видання індексується Google Scholar).

3. Жердєв М.К., Шкуліпа П.А., Жиров Г.Б., Глухов С.І. Розробка діагностичної моделі транзистора для режиму відсічки при використанні енергодинамічного методу діагностування. Збірник Одеської державної

академії технічного регулювання та якості. Одеса, 2012. № 1.С. 61-64. (Видання індексується у наукометричних базах даних: Index Copernicus (індексований в списку наукових журналів ICI Journals Master List 2018), Scientific Indexing Services (SIS) та Google Scholar).

4. Горшколєпов В.Б., Бурбело Р.М., Ісаєв М.В., Андрусенко Д.А., Ліщук П.О., Глухов С.І. Дослідження теплофізичних властивостей у композитах на основі поруватого кремнію фотоакустичними методами. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2015. № 47. С. 10-14. (Видання індексується Google Scholar).

5. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Методика діагностування сучасних цифрових пристроїв на основі електромагнітного методу. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2015. № 49. С. 30-33. (Видання індексується Google Scholar).

6. Глухов С.І., Жердєв М.К., Кузавков В.І. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 49. С. 40-48. (Видання індексується Google Scholar).

7. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Охрамович М.М., Шевченко В.В. Використання універсального ремонтного модуля для діагностування цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу на рівні експлуатації об'єкта. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2015. № 50. С. 14-17. (Видання індексується Google Scholar).

Патенти

1. Електромагнітний спосіб локалізації несправних радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроях: пат. 77934 Україна. МПК G05B 23/00, H01F 41/00. № 201300795; заявл. 23.01.2013; опубл. 25.02.2013, Бюл. №4.

2. Електромагнітний спосіб локалізації непрацездатних радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроїв в частотній області: пат. 105269 Україна. МПК H02N 9/02 (2006.01), G01R 33/00. № u201509031; заявл. 21.09.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.

3. Пристрій контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових радіоелектронних пристроях з використанням часових і амплітудних параметрів електромагнітного процесу при перехідному процесі в шині живлення: пат. 106889 Україна. МПК G05B 23/00. № u201511216, заявл. 16.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9.

4. Комбінований енергодинамічний спосіб контролю технічного стану радіоелектронних пристроїв в частотній області та вихідним реакціям: пат. 119792 Україна. МПК H05K 13/00, G05B 23/00. № u201703441, заявл. 10.04.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.

5. Пристрій інтелектуалізації вибору способу контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових радіоелектронних пристроях: пат. 131576 Україна. МПК G05B 23/00. № u201807042; заявл. 23.06.18; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.

6. Спосіб постановки перешкод радіолокаційним станціям та головкам самонаведення ракет: пат. № 104677 Україна. МПК B4. №u201508313; заяв. 21.12.2015, опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3.

7. Радіолокаційна станція спостереження траєкторій балістичних об'єктів при використанні режиму перебудови частоти від імпульсу до імпульсу за випадковим законом: пат. № 122886 Україна. МПК F41G 3/08. №u201709123; заяв. 15.09.2017, опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	25
ВСТУП.....	27
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ.....	38
1.1. Стан і перспективи розвитку інформаційних технологій для автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки.....	40
1.2. Аналіз існуючих методів отримання та обробки діагностичної інформації.....	67
1.3. Постановка наукової проблеми.....	81
Висновки по розділу 1.....	84
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ.....	86
2.1. Обґрунтування нових принципів розробки автономних автоматизованих систем технічного діагностики радіоелектронних блоків.....	87
2.2. Аналіз енергодинамічного методу діагностування цифрових пристроїв.....	91
2.3. Аналіз енергостатичного методу діагностування цифрових пристроїв.....	109
2.4. Аналіз електромагнітного методу діагностування цифрових пристроїв.....	123
2.5. Діагностична модель радіоелектронного компонента цифрового пристрою при використанні електромагнітного методу діагностування.....	143
2.6. Перевірка та локалізація дефектних елементів цифрових пристроїв....	148
2.7. Аналіз методу сигнатурного аналізу та його достовірності.....	153
2.8. Вибір способу зняття діагностичної інформації при використанні електромагнітного методу діагностування.....	160
2.9. Обґрунтування доцільності використання результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів на надійність для визначення технічного стану та залишкового ресурсу цифрових пристроїв.....	166
Висновки по розділу 2.....	179
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ.....	182
3.1. Розробка математичної моделі та комплексного методу діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування.....	183

3.2 Розробка методу отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність.....	186
3.3. Розробка методу визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції.....	188
3.4. Удосконалення методу локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань.....	195
3.5. Прогнозування технічного стану цифрового пристрою та визначення залишкового ресурсу на основі методів фізичного діагностування.....	205
3.6. Розробка рішень щодо обробки діагностичної інформації.....	216
3.7. Розробка інформаційних технологій обробки діагностичної інформації для виконання функцій технічної діагностики в автоматизованій системі технічної діагностики.....	235
Висновки по розділу 3.....	238
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ВІД МЕТОДІВ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ФОРСОВАНИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	240
4.1. Загальні положення побудови перевірочних тестів для проведення діагностування цифрових пристроїв.....	241
4.2. Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування, для реалізації енергодинамічного методу.....	247
4.3. Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування, для реалізації енергостатичного методу.....	254
4.4. Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування для реалізації електромагнітного методу.....	260
4. 5. Удосконалення методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань.....	269
4.6. Обґрунтування вибору засобів вимірювань, які використовуються при здійсненні фізичного діагностування.....	279
Висновки по розділу 4.....	293
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ	295
5.1. Обґрунтування структурної схеми автоматизованої системи технічного діагностування.....	297
5.2. Розробка структурних схем діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики.....	304

5.3. Оцінка вартості об'єктів автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки та ремонту цифрових пристроїв...	321
Висновки по розділу 5	324
Висновки.....	325
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	329
ДОДАТОК.....	352
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ.....	352
Додаток А. Акти впровадження результатів.....	365
Додаток Б. Патенти.....	368
Додаток В. Дипломи.....	376
Додаток Г. Код програми.....	378

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АСТД – автоматизована система технічної діагностики
- АЦП – аналого-цифровий перетворювач
- БД – база даних
- БЗ – база знань
- БУАРР - блок управління автоматичним режимом роботи
- ВІС – велика інтегральна схема
- ВСК – вбудовані системи контролю
- ДЗ – діагностичне забезпечення
- ДІ – діагностична інформація
- ДМ – діагностична модель
- ДП – діагностичний параметр
- ЕТВ – елементарний тестовий вплив
- ЕМП – електромагнітне поле
- ЗВ – засоби вимірювань
- ЗД – засіб діагностування
- ЗІП – запасне майно і інструменти
- ІСД – інтелектуальна система діагностики
- ІС – інтегральна схема
- ІМС – інтегральна мікросхема
- КТ – контрольна точка
- КТС – контроль технічного стану
- ЛЕ – логічний елемент
- ОД – об’єкт діагностування
- ПД – пристрій діагностування
- ПТ – перевірочний тест
- РЕК – радіоелектронний компонент
- РЕТ – радіоелектронна техніка

- РЕА – радіоелектронна апаратура
- РЛС – радіолокаційна станція
- РО – ремонтні органи
- СККЗ – струм квазікороткого замикання
- СТОіР – система технічного обслуговування і ремонту
- СТД – система технічної діагностики
- ТС – технічний стан
- ТП – тестова послідовність
- УРМ – універсальний ремонтний модуль
- ЦП – цифровий пристрій
- ЦОДІ – центр обробки діагностичної інформації
- ЧПТ – частинний перевірочний тест

ВСТУП

Одним з найважливіших питань безпеки держави є працездатність РЕТ. Сучасний етап розвитку елементної бази вимагає оновлення парку РЕТ, але незважаючи на це, в умовах сьогоденного складного воєнно-політичного стану і скрутного фінансового становища України модернізація об'єктів РЕТ (радіолокаційні станції, комплексні засоби автоматизації, засоби зв'язку, засоби спеціального зв'язку, програмно-керовані засоби захисту інформації, аеродромне обладнання, обладнання атомних електричних станцій), вартість яких дуже висока, є ускладненою і проводиться повільно. Об'єкти РЕТ старого парку відпрацювали багато часу [1,2], а ресурс деяких вже закінчився, наслідком чого стають все частіші поступові виходи зі строю різних її елементів, що, в свою чергу, призводить до погіршення значень основних показників надійності РЕТ.

З іншої сторони, вимоги, що висуваються до об'єктів РЕТ, передбачають високу їх надійність, яка кількісно визначається коефіцієнтом готовності, що є відношенням середнього наробітку на відмову до сумарного часу [3,4], який складається із середнього наробітку на відмову та середнього часу відновлення, складовою якого є середній час діагностування. Середній час відновлення характеризує ремонтпридатність РЕТ та ефективність СТОіР. Необхідною умовою реалізації заданого значення часу відновлення РЕТ є наявність сучасної автоматизованої системи технічної діагностики (СТД) РЕТ, з використанням якої буде визначатись реальний технічний стан (ТС) на рівні цифрового пристрою (ЦП), а в деяких випадках радіоелектронного компоненту, прогнозувати його та визначати залишковий ресурс з заданою ймовірністю.

Актуальність теми

Стримкий розвиток елементної бази, на якій будуються сучасні об'єкти РЕТ, потребує нових підходів до вирішення актуальної проблеми її діагностування. Аналіз стану розвитку перспективних зразків РЕТ і засобів зв'язку в Україні і за кордоном показав, що їх діагностичне забезпечення (ДЗ)

є комплексом методів діагностування, засобів, побудованих на їх основі і використання яких дозволяє визначати з заданою достовірністю ТС, а також проводити локалізацію дефектних елементів. Останнім часом вимоги щодо підтримки значення коефіцієнта готовності в заданих межах як основного з показників надійності стають більш жорсткими.

Тематиці технічного діагностування присвячені роботи таких вчених як Артюшин Л.М., Байда М.П., Барабаш О.В., Бендлер Дж. У., Волочій Б.Ю., Гессель М., Глазунов Л.П., Граф Ш., Гуляєв В.А., Давидов П.С., Жердев М.К., Карр Дж., Ксенз С.П., Кравченко Ю.В., Креденцер Б.П., Козлов Б.А., Кононов В.Б., Ліхтциндер Б.Я., Локазюк В.М., Маслов А.Я., Машков О.А., Мозгалевський А.В., Меннинг Е., Метц Г., Острейковський В.А., Пархоменко П.П., Савченко В.А., Самохвалов Ю.Я., Сакович Л.М., Согомоян Є.С., Толюпа С.В., Тоценко В.Г., Ушаков І.А., Худов Г.В., Яковлев М.Ю. та інші.

Втім, зміст робіт зазначених авторів в основному спрямований на рішення задач, пов'язаних з пошуком несправностей, які виникли, а не на упередження них. У відомих авторів роботах недостатньо повно викладені методологічні питання отримання та обробки ДІ для автоматизованих систем технічної діагностики (АСТД) РЕТ.

Багато робіт було присвячено розробці методів діагностування, впровадження яких дозволило покращити показники надійності РЕТ. У вітчизняній і закордонній технічній літературі з конструювання та модернізації СТД [5-7] основна увага приділяється дослідженню можливості мінімізації середнього часу відновлення й вартості контролю технічного стану (КТС) об'єктів РЕТ. Варто відмітити те, що для визначення ТС об'єктів РЕТ в існуючій СТД, яка є елементом системи технічного обслуговування і ремонту РЕТ, широко використовуються методи функціонального діагностування [8]. При їх застосуванні на входи ЦП блоків РЕТ надходять перевірочні тестові послідовності (ТП), а визначення ТС проводиться на основі порівняння вихідних реакцій з еталонними. У випадках відповідності даних реакцій приймається рішення про справний ТС, в інших випадках - про

несправний. Зважаючи на те, що сигнали у цифрових схемах являють собою комбінації “нулів” та “одиниць”, реакції на їх виходах будуть відповідати справному стану навіть при критичних станах РЕК, з яких складаються ЦП як елементи блоків РЕТ. Це ускладнює визначення реального ТС, часу експлуатації, залишкового ресурсу, прогнозування відмов ЦП блоків РЕТ. Після проведення діагностування методами функціонального та тестового контролю ЦП, стан якого визначений як справний, через непередбачуваний час може вийти зі строю, що є неприпустимим і, особливо, для об'єктів критичної інфраструктури, для яких наслідки можуть бути катастрофічними. Тому виникає необхідність розробки нових методів отримання та обробки ДІ на основі інформаційних технологій, які дозволили б визначати реальний ТС складових об'єктів РЕТ, збільшити середній час наробітку на відмову за рахунок своєчасної заміни ЦП, характеристики яких наближуються до критичних, визначати час наступної перевірки ТС на основі результатів попередніх перевірок, скоротити середній час та вартість діагностування. У [9-11] був проведений аналіз методів фізичного діагностування, до яких відносяться енергодинамічний, енергостатичний та електромагнітний. Було показано, що впровадження цих методів дозволяє покращити показники надійності РЕТ, а саме зменшити середній час відновлення, і, як наслідок, збільшити КГ, а також досягти збільшення ймовірності укомплектованості комплекту запасних інструментів і приладдя (ЗІП) об'єкта РЕТ. Зменшення середнього часу відновлення досягалось за рахунок зменшення середнього часу діагностування як його складової.

Для побудови нової АСТД, яка дозволила б уникнути зазначених негативних наслідків, необхідна методологія, в основу якої будуть покладені методи фізичного діагностування з результатами форсованих випробувань ЦП (радіоелектронних компонентів) на надійність з використанням інформаційних технологій, що дозволить підтримувати показники надійності зразків РЕТ на заданому рівні.

З огляду на те, що останнім часом вимоги щодо підтримки належного рівня показників надійності стають більш жорсткими, а також недоліки, притаманні існуючим СТД, **загострилося протиріччя** між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних засобів діагностування, значного збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних засобів діагностики, оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації.

Для вирішення вказаного протиріччя в дисертації поставлена та вирішена актуальна **науково-прикладна проблема**, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування PET на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій.

Отже, тематика дисертаційної роботи, яка направлена на наукове обґрунтування методології побудови автоматизованої системи технічної діагностики PET на основі фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій, є актуальною і має науковий та практичний інтерес.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Зміст роботи, її основні завдання відповідають державним науково-технічним програмам, які були сформульовані в Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність», «Про Національну програму інформатизації», а також планами найважливіших науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України.

Відображені в дисертації результати досліджень були використані в планових науково-дослідних роботах, які виконувались у Військовому інституті Київського національного університету імені Тараса Шевченка «Удосконалення контролю технічного стану цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння безпосередньо на першому рівні

(рівні експлуатації) об'єкта” № держреєстрації 01010002028, “Розробка моделей і методик визначення оптимальних параметрів системи технічного обслуговування складних об'єктів радіоелектронної техніки” № держреєстрації 0118U004378, “Розробка методик і моделей контролю та визначення процесів витрачання та поповнення технічного ресурсу угруповання складних об'єктів військової техніки” № держреєстрації 0120U100314 та на факультеті інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка “Інформаційна технологія синтезу функціонально стійкої сенсорної мережі” (державний реєстраційний номер 0117U002598), в яких автор брав та бере участь як виконавець і в яких основні наукові результати дисертаційної роботи використані в повному обсязі.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні достовірності діагностування радіоелектронної техніки шляхом застосування фізичного діагностування.

Для досягнення поставленої мети визначені наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасний стан відомих систем технічної діагностики РЕТ та розробити концептуальні основи отримання ДІ з використанням методів фізичного діагностування, а саме, енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного.

2. Розробити математичну модель та комплексний метод діагностування на основі енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного методів та метод отримання та обробки ДІ та блок-схему для комплексного використання методів фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій.

3. Розробити метод та алгоритм для визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування.

4. Удосконалити метод локалізації дефектних цифрових елементів і розробити блок-схему на основі електромагнітного методу діагностування та

результатів форсованих випробувань з використанням інформаційних технологій.

5. Удосконалити метод прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв РЕТ та розробити математичну модель на основі обробки ДІ з використанням інформаційних технологій.

6. Удосконалити метод діагностування ЦП об'єктів РЕТ з використанням методів фізичного діагностування та розробити алгоритм реалізації комплексного методу діагностування ЦП об'єктів РЕТ з використанням зазначених методів.

7. Розробити структурну схему автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ та провести оцінювання її ефективності.

Об'єктом дослідження є процес комплексного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки з використанням інформаційних технологій.

Предметом дослідження є методи і моделі отримання та обробки діагностичної інформації в автоматизованій системі технічної діагностики радіоелектронної техніки.

Методи дослідження. При вирішенні науково-прикладної проблеми було використано наступні методи:

- побудови сучасних інформаційних технологій для розробки алгоритмів обробки даних та діагностування;
- теорії технічної діагностики для аналізу існуючих методів і засобів контролю технічного стану цифрових пристроїв;
- теорії надійності для визначення показників надійності об'єктів РЕТ;
- теорії ймовірностей для визначення достовірності діагнозу;
- теорії електричних кіл для обґрунтування можливості використання в якості джерела діагностичної інформації різних контрольних точок цифрового пристрою;
- математичної статистики для перевірки статистичного зв'язку сигналів на виході і на пристрої контролю технічного стану;

- теорії прогнозування для визначення часу наступної перевірки та залишкового ресурсу цифрового пристрою.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному.

Вперше розроблені:

- концептуальні основи отримання діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та її обробки в автоматизованій системі технічної діагностики з урахуванням результатів форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, а також прогнозування залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі інформаційних технологій;

- комплексний метод діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування, що дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування;

- метод отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, що дозволяє підвищити значення комплексного показника надійності;

- метод визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції, що дозволяє підвищити точність оцінки технічного стану цифрових пристроїв.

Удосконалено:

- метод локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань, що дозволяє заздалегідь визначати комплектуючий компонент з критичними характеристиками;

- метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі запропонованої діагностичної моделі та розробленого алгоритму отримання та обробки діагностичної інформації,

що дозволяє підвищити достовірність прогнозу технічного стану та покращити точність визначення залишкового ресурсу цифрового пристрою;

- метод діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань, що забезпечує отримання необхідної достовірності визначення технічного стану.

Практичне значення роботи роботи полягає в розробці технології отримання та обробки діагностичної інформації та обґрунтуванні рекомендацій щодо створення нової автоматизованої системи технічної діагностики, алгоритмів для систем підтримки прийняття рішень для існуючих та перспективних зразків РЕТ, що дозволить покращити значення показників надійності та зменшити фінансові витрати на їх досягнення.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані у Державному підприємстві “Науково-дослідний інститут “КВАНТ” (акт від 22.03.2019 р.) при розробці пристроїв діагностування зразків РЕТ, обробки діагностичної інформації, локалізації дефектних радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв та прогнозування їх стану; у Державному науково-дослідному інституті хімічних продуктів (акт від 20.05.2019 р.) при розробці модулів діагностування цифрових пристроїв, а також центрів обробки діагностичної інформації як елементів нової АСТД радіоелектронної техніки; у ТОВ науково-виробничій фірмі “АДРОН” (акт від 28.04.2020 р.) при розробці засобів діагностування цифрових пристроїв та обробки діагностичної інформації для побудови АСТД. Отримані нові науково-обґрунтовані практичні рекомендації щодо побудови нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ на основі фізичного діагностування, впровадження якої дозволить підвищити показники якості діагностування та значення показників надійності об'єктів РЕТ.

Особистий внесок здобувача. В роботах, які опубліковані в співавторстві, особисто здобувачу належать: у [2] - порядок пошуку несправного цифрового РЕК зі складу ЦП з використанням

електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування, у [3] - порядок побудови універсального ремонтного модуля для локалізації дефектних цифрових РЕК зі складу ЦП з використанням електромагнітного методу діагностування, у [4] - техніко-економічний аналіз доцільності впровадження універсального ремонтного модуля на основі електромагнітного методу діагностування, у [5] - удосконалений електромагнітний метод визначення працездатності ЦП, у [6] - математична модель процесів відмов електромеханічних складових частин сучасних радіоелектронних систем, у [7] - діагностична модель цифрового РЕК техніки зв'язку при використанні електромагнітного методу діагностування, у [11] - модель інтеграції даних від різних інформаційних джерел на основі теорії свідочств, у [15] - порядок проведення перевірки адекватності діагностичної моделі РЕК при використанні електромагнітного методу діагностування, у [16] - методика розробки діагностичного забезпечення РЕТ на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій, у [17] - методика діагностування РЕТ на основі енергодинамічного методу, у [18] - методика обробки ДІ для АСТД радіоелектронної техніки, у [23] - особливості використання фізичного діагностування при побудові інтелектуальної системи діагностики РЕТ, у [24] - прогнозування залишкового ресурсу інформаційних систем з використанням інтелектуальної системи діагностування, у [25] - математичні моделі та алгоритм обробки ДІ для побудови інтелектуальної системи діагностування РЕТ, у [26] - техніко-економічне обґрунтування побудови АСТД радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування, у [27] - методика фізичного діагностування ЦП об'єктів РЕТ для випадків поодинокого та комплексного використання методів фізичного діагностування, у [28] - пропозиції щодо побудови АСТД радіоелектронного обладнання на прикладі радіолокаційних станцій, у [29] - використання АСТД та процедура комплексного використання діагностичних методів при роботі комплексу обробки інформації з бортових систем дистанційного

зондування Землі, у [30] - схема діагностики в АСТД на випадок комплексного використання енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів, наведено порядок комплексного використання зазначених методів, у [31] - пропозиції щодо застосування енергодинамічного методу діагностування для більш широкого класу РЕТ, у [32] - діагностична модель цифрового радіоелектронного компонента техніки, у [24] - застосування технології МІМО при побудові базових станцій систем мобільного зв'язку, у [33] - діагностична модель транзистора для режиму відсічки при використанні енергодинамічного методу діагностування, у [35] - теплофізичні властивості у композитах на основі поруватого кремнію фотоакустичними методами, у [35] - методика діагностування сучасних цифрових пристроїв на основі електромагнітного методу, у [36] - узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів, у [37] - використання універсального ремонтного модуля для діагностування цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу на рівні експлуатації об'єкта.

Усі результати, що складають наукову і практичну значущість дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто, статті без співавторів виконані самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на воєнно-наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах: V, VII, VIII, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI міжнародних наук.-практ. конференціях “Військова освіта і наука: сьогодення та майбутнє” (м. Київ, 2009, 2011, 2012, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019); Науково-практичному семінарі “Інформаційні технології у військовій сфері: матеріали науково-практичного семінару”, (м. Київ, 2012); IX наук. Конференції “Новітні технології – для захисту повітряного простору” Харківського університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба, (м. Харків, 2013); Всеукраїнській наук.-практ. конференції молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів “Сучасні проблеми розбудови

ЗСУ”, (м. Київ, 2013); Всеукраїнській наук.-практ. конференції молодих вчених, ад’юнктів, слухачів, курсантів і студентів “Актуальні завдання гуманітарного, фінансово-економічного, правового, матеріально-технічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин”, (м. Київ, 2014); Всеукраїнських наук.-практ. конференціях “Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка”, (м. Київ, 2015, 2017); Наук.-практ. конференції “Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності”, (м. Львів, 2017); XXII Всеукраїнській наук.-практ. конференції “Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції”, (м. Житомир, 2018); Наук.-техн. конференції “Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ”, (м. Львів, 2018, 2019); Наук.-практ. конференціях “Сучасні інформаційні технології та кібербезпека”, (м. Київ, 2018, 2019); Міжнародній наук.-практ. конференції “Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи”, (м. Одеса, 2020); Науково-практичній конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, (м. Київ, 2020).

Публікації. Результати дисертації опубліковані в 68 наукових роботах, серед яких 38 наукових статей, з них 11 наукових статей написані без співавторів, 27 наукових статей у фахових наукових періодичних виданнях з технічних наук, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних Scopus та іншими, з них 4 статті проіндексовані у міжнародній базі Scopus, 23 тез доповідей у матеріалах науково-технічних, науково-практичних конференцій та наукових семінарів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, списку прийнятих скорочень, вступу, п’яťох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 378 сторінок, у тому числі 330 сторінок основного тексту, 103 рисунків, 18 таблиць, 9 фото, список використаних джерел з 170 найменувань

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

У даному розділі в результаті проведеного аналізу роботи СТД як елемента СТОіР радіоелектронної техніки виявлений ряд недоліків, які негативно впливають на показники надійності РЕТ. Проведений аналіз стану об'єктів РЕТ, що експлуатується, який показав їх конструктивні недоліки з точки зору проведення діагностування.

Показано, що методи функціонального діагностування, які сьогодні використовуються для проведення контролю ТС і діагностування цифрових пристроїв РЕТ, дозволяють визначати їх ТС у певний момент часу, а через непередбачуваний час після проведення перевірки цифровий пристрій може вийти та виходить зі строю, наслідком чого стають поступові відмови блоків РЕТ. Ці причини обумовлюють підвищення надійності печатних вузлів блоків РЕТ шляхом резервування, наслідком чого стає значне збільшення фінансових витрат на етапах проектування та виробництва об'єктів РЕТ.

Показано недостатнє використання інформаційних технологій, а в деяких системах їх відсутність, що негативно впливає на показники надійності РЕТ.

Розглянуті основні види дефектів цифрових РЕК, а також причини їх виникнення, основними з яких є деградаційні процеси у кристалах ІМС. Показано, що для зменшення негативного впливу суб'єктивного фактору обслуговуючого персоналу, виникла необхідність автоматизування більшої кількості операцій при діагностуванні РЕТ. Проведений аналіз сучасних засобів діагностування (ЗД), який показав їх дорожнечу та низьку ефективність з точки зору основних характеристик та ПД.

Проведений аналіз вбудованих систем контролю (ВСК) об'єктів РЕТ, в результаті якого виявлені принципові недоліки, усунення яких неможливо

шляхом удосконалення цих систем. Аналіз сучасних систем технічної діагностики РЕТ показав не тільки їх переваги, а і ряд суттєвих недоліків, основним з яких є неможливість виявлення прихованих дефектів радіоелектронних компонентів ЦП при проведенні функціонального діагностування, що негативно впливає на показники надійності РЕТ.

Показано, що тематика більшості наукових робіт останніх років спрямована на визначення несправностей, які виникли, а не на упередження їх. З цієї причини були розроблені нові методи діагностування, алгоритми технічного діагностування та локалізації дефектів.

З огляду на те, що останнім часом вимоги щодо підтримки належного рівня показників надійності стають більш жорсткими, а також недоліки, притаманні існуючим СТД, **загострилося протиріччя** між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних засобів діагностування, значного збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних засобів діагностики, оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації.

Для вирішення вказаного протиріччя в дисертації поставлена та вирішена актуальна **науково-прикладна проблема**, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування РЕТ на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій.

Визначена мета роботи, яка полягає у підвищенні достовірності діагностування радіоелектронної техніки шляхом застосування фізичного діагностування.

Розглянемо стан і перспективи розвитку інформаційних технологій для АСТД об'єктів РЕТ.

1.1. Стан і перспективи розвитку інформаційних технологій для автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки

Аналіз стану об'єктів радіоелектронної техніки, що експлуатується. Зважаючи на те, що надійність об'єктів РЕТ визначається якістю елементної бази, ДЗ, рівнем розвитку інформаційних технологій, умовами експлуатації, метрологічним забезпеченням, кваліфікацією персоналу (рис.1.1), закладається на етапах проектування та забезпечується на етапі виробництва, підтримується на етапі експлуатації, підвищення значень показників надійності стає можливим за умови упередження відмов шляхом проведення своєчасного діагностування з заданою достовірністю та завчасної заміни складових блоків РЕТ - ЦПІ з критичними характеристиками при впровадженні інформаційних технологій в новій АСТД [161].

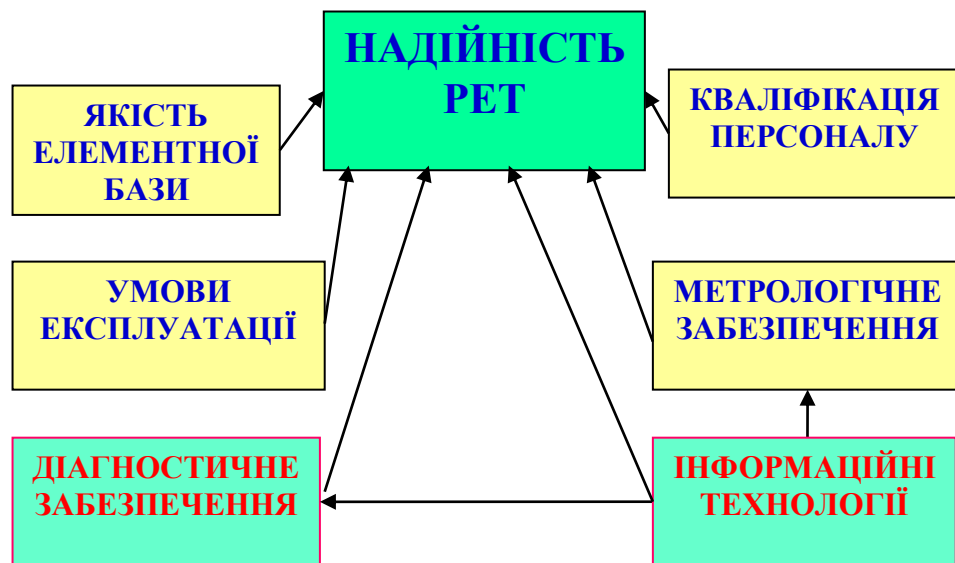


Рис.1.1. Залежність надійності РЕТ від основних чинників

До об'єктів РЕТ відносяться (рис.1.2.) РЛС, комплексні засоби автоматизації, пересувні лабораторії вимірювальної техніки, майстерні

радіотехнічного обладнання, техніка зв'язку та спеціального зв'язку, аеродромне обладнання, атомні електричні станції тощо.



Рис.1.2. Об'єкти радіоелектронної техніки на території України

У таблиці 1.1. представлені дані років випуску, нормативних строків експлуатації, середнього наробітку на відмову різних об'єктів РЕТ, а саме РЛС, комплексних засобів автоматизації, каналотворювальної апаратури техніки зв'язку. Дані таблиці свідчать, що нормативні строки експлуатації для об'єктів РЕТ, в переважній більшості, складають 10-15 років [1,2]. Незважаючи на це, терміни експлуатації зразків, і зокрема, представлених у таблиці, перевищують 30-40 років. Це стосується зразків РЕТ як цивільного, так і військового призначення.

Таблиця 1.1.

Характеристики деяких об'єктів РЕТ

Назва об'єкту РЕТ	РЛС 19Ж6	Комплексний засіб автоматизації 86 Ж6	Каналоутворювальна апаратура П-357-24К «ТОПАЗ»
Рік випуску	1981	1984	1974
Нормативні строки експлуатації	15 років	10 років	10 років
Середній наробіток на відмову То, (год.)	74	90	3000
Роки серійного виробництва	До т.п (модифікації)	1984-1993	1985-1993

Під час початкового періоду експлуатації, в залежності від зразку, кількість відмов ЦП складає п'ять-десять на рік, у період нормальної експлуатації у межах десяти на рік 1-3 (за даними військової частини А1880). При цьому гарантійний термін експлуатації складає від одного до трьох років, а наробіток до першого капітального ремонту - десять тисяч годин.

Для РЛС 19Ж6 проводиться щоденне технічне обслуговування, ТО-2, період якого складає один раз на місяць без виводу її з чергування, ТО-3 (сезонне обслуговування), яке проводиться протягом декількох днів один раз на шість місяців з виводом її з чергування [17-19]. Кількість ЦП різних РЛС складає від ста п'ятидесяти до двохсот, середній наробіток на відмову деяких станцій складає 84 години [17-19]. Велика кількість ЦП як складових блоків РЕТ, а також терміни експлуатації, які перевищили встановлені, негативно

впливають на кількість відмов, що відображено у таблиці 1.2, дані якої отримані особисто автором з джерел військової частини А 1880.

Таблиця 1.2.

Кількість відмов в об'єктах РЕТ у військовій частині А 1880 по роках			
Рік	2018	2019	2020
Кількість відмов в об'єктах РЕТ	198	247	289

Крім того, додаткове обладнання зразків, а саме вторинні джерела електроживлення в своєму складі, крім трансформаторів, мають ЦП стабілізації, які треба діагностувати.

Важливим є те, що шлях забезпечення завдань, покладених на дані зразки, полягає у продовженні строків експлуатації, що у сучасних умовах стає можливим тільки за рахунок створення нового ДЗ та використання сучасних інформаційних технологій. Це обумовлено як економічними, так і технічними обставинами. Засоби та методи діагностування, які було розроблені та впроваджені на етапах розробки та на початкових етапах їх експлуатації, стають сьогодні непристосованими до використання. В переважній більшості їх можливості дозволяють визначати несправності, а не упереджувати їх.

Далі розглянемо існуючі автоматизовані системи технічної діагностики РЕТ з огляду на їх можливості та вимоги до них.

Основні характеристики автоматизованих систем технічної діагностики радіоелектронної техніки та вимоги до них. АСТД радіоелектронної техніки дозволяють вирішувати задачі, пов'язані з виконанням функцій технічної діагностики, а саме: проводити діагностування, локалізацію несправних компонентів, моніторинг ТС, а також його прогнозування. Забезпеченню виконання першої функції

приділяється багато уваги, що відображено в роботах вчених [15, 20-23;137-139,161]. В них представлені рішення, які дозволяють підвищити КГ як основний показник надійності РЕТ за рахунок скорочення часу діагностування як складової часу відновлення. Важливість діагностування і постановка правильного діагнозу зумовлені декількома причинами:

- по-перше, у випадку визначення стану об'єкта непрацездатним він відновлюється агрегатним способом, при цьому досягається мінімум часових витрат; визначення причини відмови проводиться під час виконання другої функції технічної діагностики – локалізації дефектів, що потребує залучення додаткових сил і засобів, часових витрат;

- по-друге, витрати на проведення діагностування засобу, який відмовив, набагато більше витрат на його діагностування в працездатному стані;

- по-третє, вимоги керівних документів спрямовані на підвищення ефективності діагностування, втім його проведення для складних систем РЕТ потребує значних матеріальних та часових витрат.

Покращення показників надійності за рахунок підвищення якості ДЗ передбачає розробку нових та удосконалення існуючих методів діагностування, що є основою для побудови нових високоефективних ЗД. При розробці нової АСТД [161], і зокрема, ЗД, мають бути враховані не тільки тенденції розвитку елементної бази для перспективних зразків РЕТ, а і причини несправностей в існуючих зразках, їх характер, а також характеристики об'єктів РЕТ, частина яких представлена у таблиці 1.1.

Аналіз ДЗ існуючої СТОіР показав, що на рівні експлуатації об'єктів РЕТ діагностування проводиться за допомогою ВСК [12-19;163-164], недоліки яких будуть розглянуті нижче. ВСК визначає несправність на рівні блоку шафи зразка РЕТ, при цьому їх більшість виникає на рівні РЕК. Подальше удосконалення ВСК не дозволяє змінити глибину діагностування з декількох точок зору - свого призначення, конструктивних особливостей та

економічної недоцільності. На фото 1.1. представлена шафа 195ПВ01 РЛС 19Ж6 (ВСК), що демонструє зазначене.

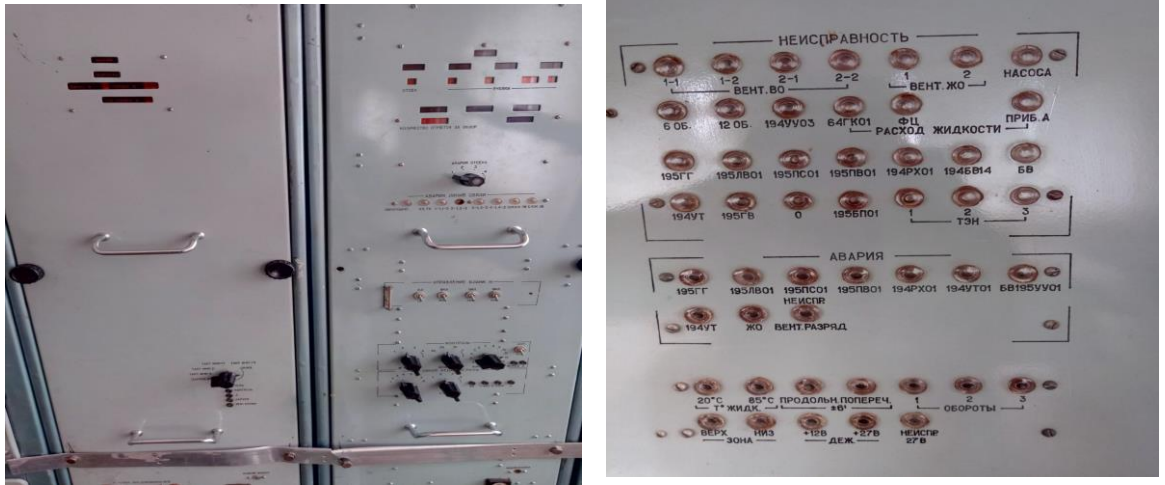


Фото 1.1. Шафа 195ПВ01 РЛС 19Ж6 зі знятою панеллю

Ці причини обумовлюють розробку та використання методів діагностування, які дозволять визначати несправність на рівні РЕК, застосування чого в новій АСТД [161] дозволить покращити показники надійності РЕТ та зменшити фінансові витрати. Тому розробка та впровадження АСТД [161] є заходом, що дозволяє виконувати сучасні вимоги до зразків РЕТ і поширюється в практиці експлуатації СТіОР РЕТ.

Поширення стосується функцій, які накладаються на сучасні АСТД [161]: фіксація функціонування основних трактів, проведення перевірки працездатності зразків РЕТ за основними технічними параметрами; здійснення контрольних функцій; здійснення пошуку дефекту на глибині діагностування на рівні РЕК з індикацією.

До показників та характеристик, які визначають ряд властивостей існуючих СТД, відносять [8,24,25]: достовірність, глибину та повноту діагностування, час готовності та швидкодію ЗД, точність виміру та загальне число ДП, форму представлення ДІ, наявність ВСК, надійність, масо-габаритні показники, вартість.

Далі представимо принципи [15,26,27,140,141], якими керуються при розробці автоматизованих систем технічної діагностики РЕТ.

До них відносяться:

- забезпечення максимуму інформації про ТС об'єкта РЕТ при мінімальному числі ДП;
- забезпечення заданої достовірності діагностування шляхом відповідного вибору допусків на ДП;
- одержання заданої надійності ЗД;
- максимальне скорочення габаритів і ваги ЗД в цілому;
- максимальна перешкодостійкість всіх елементів ЗД; самоконтроль всіх функціональних блоків і загальний самоконтроль ЗД;
- автоматичний режим роботи ЗД; відображення результатів діагностування на індикаторних пристроях системи;
- універсальність діагностування широкого спектра різних за структурою й призначенням аналогових і цифрових блоків об'єктів РЕТ;
- уніфікація всіх функціональних вузлів і блоків ЗД;
- виявлення елементів об'єктів РЕТ, що перебувають у передвідмовному стані.

Ці основні принципи побудови ЗД враховуються через конкретні вимоги до їх технічних і експлуатаційних характеристик. Розглянемо більш докладно кожний із зазначених принципів і можливі шляхи їхньої реалізації, які знаходять застосування на практиці.

Для того, щоб одержати задану достовірність при перевірці працездатності апаратури, насамперед, необхідно: правильно визначити всі ознаки, що характеризують її справний і несправний стан; вибрати узагальнені ДП, які однозначно визначають ці ознаки; знайти оптимальне співвідношення між точністю вимірювань, експлуатаційними й контрольними полями допусків з урахуванням характеристик статистичних законів розподілу значень ДП і погрішністю вимірів. Необхідно забезпечити перевірку правильності виконання логічних операцій. Для цього вводять спеціальні контрольні завдання, а помилки за рахунок випадкових збоїв виключають шляхом повтора перевірок того самого параметра. Однак, як би

точно не були проведені зазначені розрахунки, забезпечити врахування всіх можливих змін у ЗД й у контрольованій апаратурі в процесі експлуатації практично неможливо. Тому будь-який ЗД повинен обов'язково мати засоби самоконтролю, які б забезпечували в першу чергу перевірку точності вимірювань і правильності виконання всіх логічних операцій.

Працездатність радіоелектронних блоків об'єктів РЕТ характеризується декількома визначальними параметрами, які оцінюють можливість виконання заданих функцій у цілому. У цьому випадку контролюють невелику кількість визначальних і допоміжних параметрів [22, 28]. Кількість ДП об'єктів РЕТ раніше визначалася практично, без урахування завдань діагностування. При цьому частина параметрів ніякої інформації про ТС об'єкта не несла. Такий порядок вибору параметрів задовольняв тільки при порівняно нескладному схемному й конструктивному виконанні радіоелектронних блоків, коли апаратура діагностування була простою і час проведення діагностування був невеликий.

З ростом складності об'єктів РЕТ зростає й кількість ДП, що приводить до ускладнення ЗД. При виборі параметрів діагностування об'єктів РЕТ виникають серйозні труднощі у зв'язку з відсутністю розробленої теорії, що дозволяє однозначно визначити необхідні параметри для діагностування конкретних типів об'єктів РЕТ. Однак є роботи, які дозволяють визначити методику підходу до вибору ДП в найбільш простих випадках [27-29].

Щоб зменшити розміри й вартість ЗД, завжди прагнуть скоротити число ДП і вибрати такий мінімум параметрів, які б однозначно характеризували всі стани апаратури й величину яких можна було б контролювати найбільш простими й дешевими засобами вимірювань (ЗВ). Насамперед, вибирають всі незалежні параметри, що характеризують ТС апаратури в цілому й окремих її блоків. Для обраної сукупності параметрів визначають поля допусків, припустиму погрішність вимірювань для кожного параметра, а також імовірність хибної тривоги й невиявленого відходу параметрів за поле допусків при діагностуванні. Після цього визначається

достовірність діагностування для обраної сукупності ДП. Якщо в результаті розрахунку буде встановлено, що дана достовірність діагностування не забезпечує необхідної ефективності ЗД, то вибирають іншу групу параметрів і повторюють розрахунок спочатку. При цьому завжди прагнуть вибрати для діагностування ті параметри, які можна перевіряти з меншою точністю, оскільки, як правило, при меншій точності вимірювань вдається значно зменшити габарити датчиків, їх вартість і підвищити надійність ЗД.

Групування параметрів може здійснюватися з урахуванням типів, конструктивного виконання аналогових і цифрових блоків об'єкта РЕТ, а також з урахуванням особливостей режимів роботи.

Розглянемо один з підходів до скорочення обсягу діагностування [27-29].

Нехай є n ДП, що залежать від часу $x_j = x_j(t)$, де $i = \overline{1, n}$; $0 \leq t \leq T$, які описують зміну параметрів у часі в кожній точці i . В умовах даної задачі t приймає дискретні значення $t_p = t_1, t_2, \dots, t_k$; $t_1 = 0$; $t_k = T$, $p = 1, 2, \dots, k$. Параметр x_i можна представити у вигляді вектора $x_i = \{x_i(t_1), x_i(t_2), \dots, x_i(t_k)\}$, де кожний компонент вектора x_i представляє значення i -го параметра у фіксовані моменти часу.

Параметри об'єкта в різному ступені зв'язані між собою, і цей зв'язок може бути більш-менш тісним. При цьому вважають (якщо параметри не є функціонально залежними), що параметри мають кореляційний зв'язок або параметри корельовані.

Отже, якщо з аналізу фізичної природи об'єкта РЕТ випливає, що існують зв'язки між параметрами, то звідси можна зробити висновок про те, що існують і деякі сукупності (групи) пов'язаних між собою параметрів. Тому можна зробити припущення, що параметри найбільш сильно пов'язані один з одним у тому випадку, коли на них діють однакові впливи.

Прийнявши гіпотезу, по якій параметри, що належать до однієї групи сильно зв'язані між собою, і параметри, що належать різним групам, зв'язані відносно слабо, можна проводити розбивку всієї сукупності параметрів на

групи. Якщо такі групи визначені, виникає завдання скорочення числа ДП без втрати необхідного рівня достовірності діагностування. Запропонована розбивка дозволить скоротити число вимірюваних параметрів, зберігши лише один або кілька параметрів з кожної групи, які будуть достатніми для діагностування й управління об'єктом РЕТ [27-29].

Для підвищення експлуатаційної надійності ЗД в основному приймаються ті ж самі заходи, що й у контрольованій апаратури (використовуються більш надійні елементи, резервування, полегшені режими роботи елементів і ін.). Крім того, щоб одержати більш високу надійність ЗД в порівнянні з контрольованою апаратурою, прагнуть підвищити ефективність самоконтролю й до мінімуму скоротити число функціональних вузлів у самому ЗД. При цьому зменшуються габарити й вага апаратури діагностування.

Особлива увага приділяється підвищенню перешкодостійкості систем діагностування. Для цього, насамперед, застосовують екранування з'єднувальних ліній і окремих блоків засобу. По можливості прагнуть підвищити рівень сигналів, що передають інформацію від датчиків до логічних блоків ЗД.

Отже, в умовах недостатнього фінансування й відсутності на території України підприємств-виробників великої кількості номенклатури об'єктів РЕТ одним з найбільш ефективних напрямків удосконалення СТiOP є застосування нових АСТД [161] з використанням інформаційних технологій, які дозволять забезпечити заданий КГ об'єктів РЕТ, що експлуатуються, при зменшенні вартості таких систем. Аналіз вимог, якими визначається структура АСТД [161], показав, що вони не завжди виконуються. Суперечливість окремих вимог у ряді випадків визначає необхідність пошуку оптимальних рішень на основі аналізу узагальнених параметрів ЗД.

Все це обумовлено тим, що на сьогоднішній день відсутня єдина методологія, яка визначала б принципи та вимоги для розробки нових методів отримання та обробки ДІ на основі інформаційних технологій для

побудови на їх основі вискоефективних автономних АСТД [161].

Аналіз стану діагностичного забезпечення об'єктів радіоелектронної техніки рівнів системи технічного обслуговування і ремонту. У даному підрозділі проведений аналіз стану ДЗ, яке складають правила, методи, ЗД та алгоритми [29-32]. Аналіз стану ЗД трьох рівнів СТОіР [163,164] радіоелектронної техніки дає можливість виявити недоліки, притаманні кожному з них, що і дозволить визначити шляхи покращення його стану.

Існуюча СТОіР радіоелектронної техніки представлена на рис. 1.3.

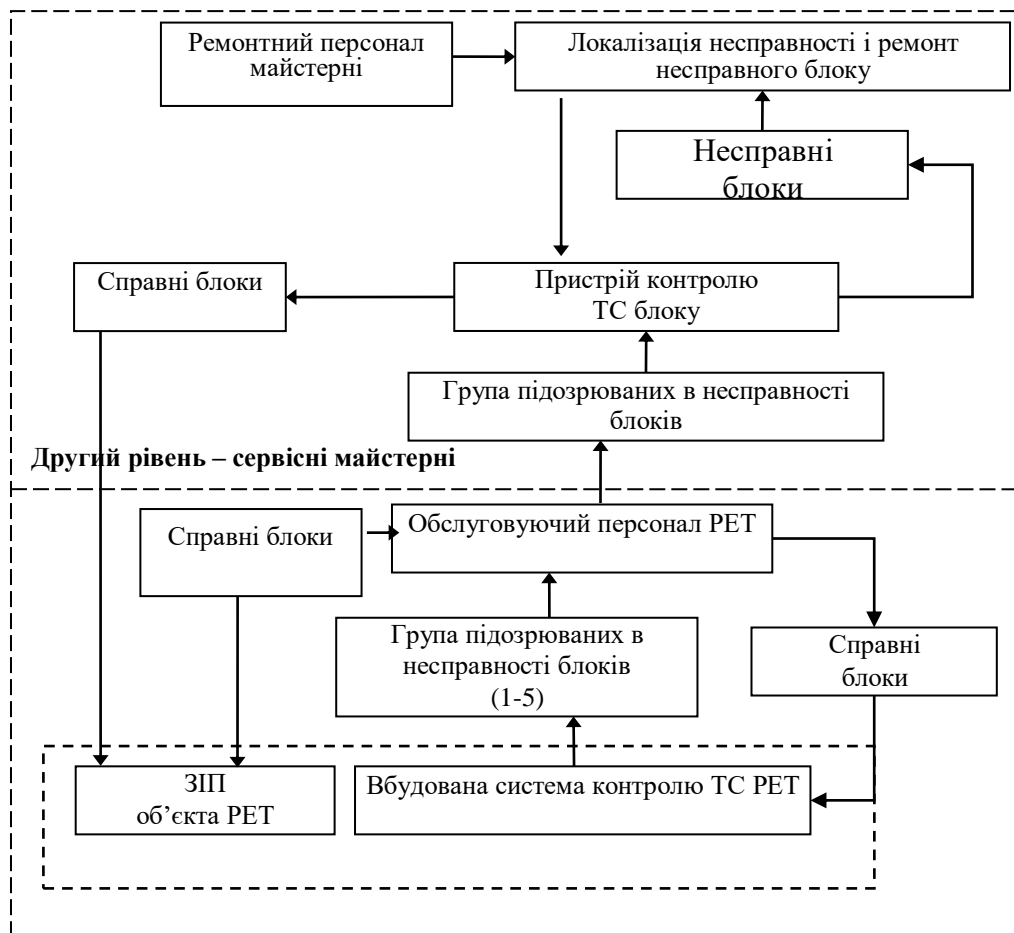


Рис. 1.3. Існуюча система технічного обслуговування і ремонту об'єктів радіоелектронної техніки

Перший рівень СТОіР [163,164] (рис. 1.3) є рівнем експлуатації об'єкта РЕТ, де контроль ТС здійснюється за допомогою ВСК, що детально буде розглянуте нижче.

Другий рівень СТОіР [163,164] являє собою ремонтні підприємства і дозволяє здійснювати ремонт ЦП, які на першому рівні СТОіР за допомогою ВСК були визначеними несправними. На данному рівні за допомогою універсальних ремонтних модулів [29-31] здійснювалось визначення дійсно несправного ЦП з групи підозрюваних та несправність, кількість яких дорівнює 1-5. Треба зазначити те, що у об'єктах РЕТ більш старого парку ВСК дозволяли визначати кількість підозрюваних у несправності ЦП на рівні 15-20. ЦП у даній кількості відправлялися на другий рівень СТОіР [163,164], при цьому несправними реально були 1-2. Такі дії значно зменшували укомплектованість комплекту ЗІП, що негативно впливало на своєчасну заміну відповідного ЦП із комплекту ЗІП [24,25,32] у випадку необхідності.

Третій рівень СТОіР [163,164] представляють підприємства промисловості, які крім виробництва РЕТ, здійснюють ремонт пристроїв, який не в змозі провести на другому рівні СТОіР. Особливістю сьогодення є те, що здійснення ремонту стає більш актуальним, внаслідок відсутності на території держави підприємств, які виготовляють комплектуючі блоків об'єктів РЕТ.

Зважаючи на тематику дослідження, а також те, що СТД є елементом СТОіР, питання ремонту в дисертаційній роботі не розглядалися.

Розглянемо більш детально стан діагностичного забезпечення першого рівня СТОіР [163,164].

Аналіз стану діагностичного забезпечення першого рівня системи технічного обслуговування і ремонту. Аналіз стану першого рівня СТОіР – рівня експлуатації РЕТ показав ряд конкретних недоліків в експлуатації, організації технічного обслуговування та проведенні ремонту цифрових об'єктів [32-34; 163,164].

По-перше, відновлення працездатності цифрових пристроїв РЕТ можливо тільки за наявності на них комплекту одиночного ЗІП, оскільки існуючі засоби вбудованого КТС можуть виявити тільки групу (15-20) підозрюваних в несправності ЦП [35, 36]. Серед ЦП цієї групи реально несправними є 1-2 ЦП, виявлення яких за допомогою ВСК є неможливим, а пристрої діагностування, які пристосовані для виконання діагностування з заданою достовірністю, відсутні. Варто відмітити і те, що при вимиканні електроживлення робота ВСК стає неможливою.

По-друге, збільшення термінів експлуатації існуючого парку РЕТ призводить до зниження окремих показників експлуатаційної надійності. З іншого боку, директивною вимогою і однією з основних задач, що стоять перед інженерно-технічним складом, є забезпечення середнього часу відновлення техніки на заданому рівні [32]. Виходячи з аналізу середнього часу відновлення РЕТ встановлено, що серед інших складових часу найбільшу “вагу” має час діагностування складових елементів РЕТ $t_{\text{діаг}}$, який визначається наступним виразом:

$$t_{\text{діаг}} = t_{\text{КТС}} + t_{\text{лок}},$$

де $t_{\text{КТС}}$ - час КТС,

$t_{\text{лок}}$ - час локалізації дефектів.

В основу побудови об’єктів РЕТ покладений модульний принцип на базі ЦП, кількість яких зростає і в деяких зразках сягає 80% від загальної кількості [30; 32-34]. Виходячи із принципів побудови апаратури й наявності ДЗ об’єктів РЕТ на рівні експлуатації, ВСК може виявити відмову з точністю до групи (15-20) ЦП підозрюваних у несправності, яка включає в себе працездатні і непрацездатні, а ремонт об’єкта РЕТ здійснюється агрегатним методом з використанням запасних ЦП із комплекту одиночного ЗІП, при цьому ЗІП об’єкта протягом тривалого часу залишається недостатньо укомплектованим, що призводить до збільшення середнього часу відновлення. В роботах [36,37] запропоновано проведення селекції ЦП на

справні і несправні на рівні експлуатації РЕТ за рахунок укомплектування об'єкту РЕТ відносно простим і недорогим діагностичним пристроєм УРМ-1. За рахунок впровадження нового УРМ-2 у ремонтних органах (РО) пропонується здійснювати локалізацію дефектних цифрових РЕК тих ЦП, які на першому рівні за допомогою УРМ-1 були визнані несправними. При впровадженні УРМ-2 у РО, на відміну від існуючої СТОіР, здійснення ремонту несправних ЦП у більшості випадків стане можливим на цьому ж рівні, що призведе до зменшення середнього часу відновлення, і як наслідок, до збільшення коефіцієнту готовності РЕТ. З метою доцільності впровадження УРМ-2 у РО у наступному підрозділі роботи проведемо більш детальний аналіз їх стану.

Найважливішим завданням ВСК об'єктів РЕТ є забезпечення заданої повноти діагностування з визначеною достовірністю [16,17,20] Розглянемо існуючі ВСК об'єктів РЕТ.

Для проведення вбудованого контролю сьогодні використовується велика кількість типів ВСК, які діляться на (рис. 1.4): вбудовані, автономні; не автоматизовані, автоматизовані; універсальні, спеціалізовані і т.п.

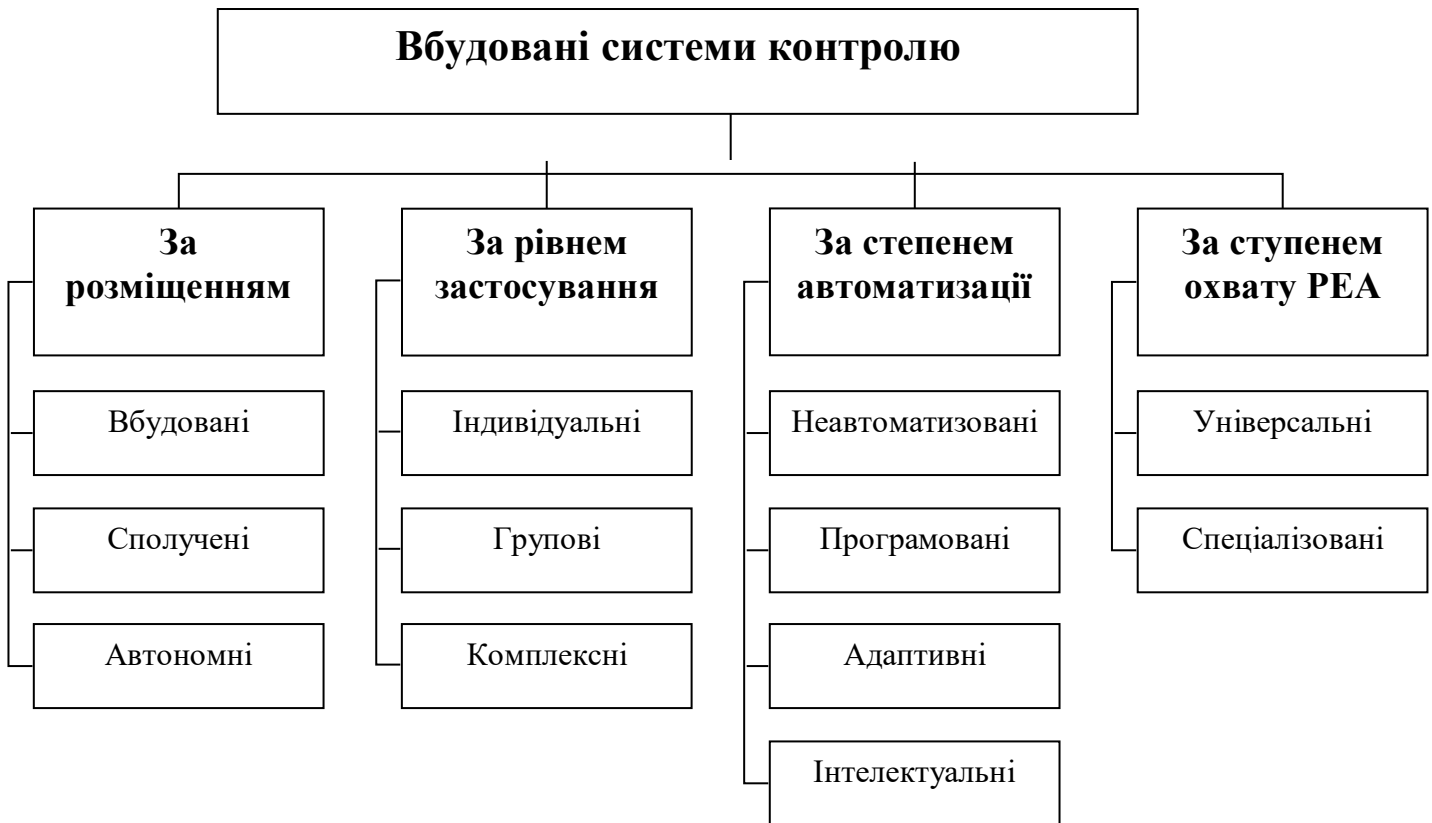


Рис. 1.4. Класифікація вбудованих засобів діагностування

До складу цих ЗД входять автономні вбудовані прилади із власними індикаторними пристроями для контролю узагальнених параметрів апаратури або параметрів, що вимагають періодичного підстроювання. Іноді використовується загальний індикатор для декількох вбудованих приладів. Комутація вихідних сигналів від вбудованих приладів здійснюється найчастіше вручну. У таких системах широко використовуються стрілочні електровимірювальні прилади й стрілочні індикатори для контролю режимів роботи блоків і окремих елементів, а також для контролю напруг електроживлення. Нерідко для візуального контролю форми імпульсних напруг використовуються вбудовані осцилографи. Характерною рисою цих систем є велика кількість світлових індикаторів (сигнальних лампочок) для контролю напруг електроживлення і справності запобіжників у ланцюгах електроживлення [21; 38,39].

Часто в якості автономних вмонтованих приладів використовують

звичайні прилади загального застосування, які жорстко пов'язані з контрольною апаратурою (вимірювачі потужності, частотоміри, осцилографи й ін.). ЗД з автономними вбудованими приладами широко використовуються, але в основному для перевірки нескладної апаратури, особливо в тих випадках, коли вона виконана на пересувних об'єктах РЕТ. Обладнання ВСК існуючих зразків об'єктів РЕТ приведено в таблиці 1.3. Завдяки вузькому цільовому призначенню окремих вбудованих приладів і наявності жорстких зв'язків з контрольною апаратурою вдається значно зменшити їхні габарити й вагу, зберігши при цьому ту ж саму точність вимірювань.

Існуючі вбудовані прилади значно скорочують час загальної перевірки працездатності апаратури. Але пошук несправності в апаратурі цими ЗД в основному як і раніше проводиться з використанням приладів загального застосування. Наприклад, в РЛС 19Ж6 реалізована система управління захисту і контролю для діагностування основних систем. Вона призначена для вмикання світлової сигналізації при виникненні несправностей або аварійних режимів при роботі виробу, забезпечення визначеної послідовності вмикання систем, місцевого і дистанційного управління виробом і вмикання виконавчих органів деяких систем.

Ця система контролю визначає несправність з точністю до шафи РЛС. За допомогою вбудованих щитових приладів, світлових індикаторів, контрольних гнізд і контрольно-вимірювальної апаратури, які розміщені на шафах та блоках, екіпаж може визначити несправність з точністю до 2-15 ЦП [40-44], а деякі її системи взагалі не охоплені вбудованим контролем. РЛС оснащена наступними контрольно-вимірювальними приладами: міліамперметр ВЮ2-717.017, осцилограф СІ-99, частотомір електронний ЧЗ-54, мілівольтметр ВЗ-48А, перетворювач частоти ЯЗ4-72, прилад комбінований Ц4352, квадрант КО-60, пристрій контролю величини потужності 194ВВ05.

Оснащення засобами діагностування зразків техніки

Тип виробу	Вбудовані системи контролю			Вимірювальні прилади
	Щитові прилади	Світлові індикатори	Контрольні точки	
Радіостанція Р-161 А2М	9	163	88	П-321, Ц-4315
Збуджувач “Лазурь”	16	18	35	П-321, Ц-4315
Радіоприймач Р-160П	21	14	59	П-321, Ц-4315
Апаратура П-330-24-О	3	146	336	П-326, Ц-4315
Апаратна АТО-23	–	–	–	П-326 (П-322), Ц-4315, П-323, С1-65, Р5-10, П-324М
Апаратура П-327-3	–	14	–	ЭТИ-69, БП-27
Радіорелейна станція Р-419	2	73	316	П-321М, Ц-4315

Так, в підсистемі обробки сигналів РЛС (шафа 195 ПВ 01), який складається з 4 трактів по 15-20 ЦП, несправність може бути визначена з точністю до 1-5 ЦП. З такою ж точністю визначається ТС в апаратурі автоматичного виявлення цілей, яка складається з 4 трактів по 15-20 ЦП.

Характеристики ВСК деяких систем цієї РЛС приведені в таблиці 1.4.

Характеристики вбудованих систем контролю РЛС 19Ж6

Конструкція				Вбудовані системи контролю		
Шкаф		Блок		Щитові прилади	Світлові індикатори	Контрольні гнізда
Тип	Кіл.	Тип	Кіл.			
195 ПВ 01	1	Тракт обробки сигналів	4	1	13	8
195 ПС 02 Апаратура автоматичного виявлення цілей	1	Апаратура автоматичного виявлення цілей	1	1	32	8
195 ЛВ 01 Апаратура автоматичного визначення координат	1	Тракт автоматичного визначення координат	4	1	37	9
195 ПУ 01 Блоки приймача	1	195 ПУ-13	2		6	5
		195 ПУ-15	2	1	1	
		195 ПУ-16	2			7
		195 ПУ-17	2		23	10

Аналіз конструкції, умов експлуатації існуючих ВСК показує, що ступінь автоматизації контролю низький, щитовими приладами апаратура оснащена недостатньо, контроль параметрів здійснюється найчастіше вручну за допомогою обмеженого числа ЗВ. Блочно-модульне ієрархічне компонування апаратури, наявність однотипних агрегатів дозволяє автоматизувати контроль ТС блоків, удосконалити існуючі ВСК.

У перспективних об'єктах РЕТ, які мають у своєму складі велику інтегральну схему (ВІС) і надвеликій ВІС для забезпечення їх надійності були впровадженні ВСК із виводом інформації на центральні пульти, що оснащені ПК. При цьому обов'язковим компонентом ЗД повинен бути мікропроцесор. Це буде сприяти значному скороченню габаритно-вагових характеристик, що, у свою чергу, приведе до спрощення структури ВСК, зменшить капітальні витрати і собівартість ремонту.

На сьогоднішній день розвиток ВСК має стійкі тенденції й напрямки по яких здійснюється їхнє вдосконалювання:

- впровадження ВСК для контролю працездатності (тому що більшість впроваджених у практику засобів призначені для контролю функціонування);
- автоматизація режимів роботи ВСК (зменшення часу діагностування й звільнення обслуговуючого персоналу від найбільш рутинних і трудомістких операцій);
- універсалізація ВСК, тобто діагностування різних за структурою й призначенням об'єктів РЕТ;
- низька вартість і невисокі вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу при забезпеченні необхідної ймовірності виявлення несправності;
- збільшення повноти контролю;
- підвищення достовірності інформації про ТС об'єктів РЕТ;
- наявність пам'яті й сполучення із зовнішніми діагностичними комплексами;
- використання мікропроцесорів;
- застосування комп'ютерної техніки;
- можливість зняття ДІ без конструктивних змін контрольованого елемента.

Отже, проведений аналіз ВСК існуючих об'єктів РЕТ показав, що нові перспективні ВСК будуються так, щоб задовольнити основні напрямки для їхнього розвитку. Незважаючи на це, їм властиві наступні недоліки [16-20]:

- велика кількість контрольованих параметрів при діагностуванні складної апаратури;
- низька пропускна здатність засобів контролю;
- мала швидкість виконання операції;
- невелика швидкість переробки ДІ;
- велика надмірність контрольовано-вимірювальної апаратури;
- недостатньо високий ступінь автоматизації використовуваної контрольовано-вимірювальної апаратури;
- відсутність чітко організованої системи збору достовірних даних про несправності об'єктів РЕТ;

- висока вартість отриманої ДІ про ТС об'єкта РЕТ;
- неможливість удосконалення ВСК;
- неможливість виявлення з групи ЦП дійсно несправних, тобто низька достовірність діагностування;
- недостатнє використання інформаційних технологій, а в деяких системах їх відсутність, що негативно впливає на показники надійності РЕТ;
- неможливість її роботи при вимиканні електроживлення.

Зважаючи на недоліки, притаманні ВСК, фактор неможливості їх усунення з точки зору глибини діагностування, для забезпечення принципу одиничної відмови, з метою підвищення показників надійності об'єктів РЕТ при їх побудові використовується резервування. Відомо, що резервування є методом підвищення надійності систем, об'єктів і універсальним принципом забезпечення надійності, що широко застосовується в природі, техніці та технології, а згодом поширився і на інші сторони людського життя.

Системи, які забезпечують безпеку об'єктів критичної інфраструктури, зокрема, атомних електростанцій, мають, як правило, триразове резервування, а в останніх проектах, наприклад, реалізованих при будівництві Тяньваньської атомної електростанції в Китаї - чотириразове резервування [45,46,51].

Відомо, що відповідно до принципу одиничної відмови, за яким система повинна виконувати свої функції безперебійно навіть при відмові будь-якого її елемента, всі системи мають дво- або триразове резервування.

Проведений аналіз резервованих систем показав, що її інтенсивність відмов швидко зростає з плином часу, хоча інтенсивність відмов нерезерованої системи іноді від цього не залежить, з чого випливає, що настає такий момент часу, після якого використання резервованої системи себе не виправдовує. Тому, якщо не враховувати особливості профілактики систем, то резервування вигідно застосовувати для систем короткочасного використання, а для критично важливих систем і систем тривалого використання використовувати інші методи підвищення надійності. Методи

резервування, ефективні для цифрових систем безперервного типу, можуть виявитися малопридатними для систем з пристроями аналогового типу, для яких внаслідок відсутності взаємного впливу основного і резервного каналу краща схема резервування заміщенням. Отже, існуючі відмінності систем обумовлюють труднощі побудови загальних конструктивних підходів і єдиних вимог надійності.

Аналіз стану діагностичного забезпечення другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту. Отримані результати аналізу стану СТОіР [163,164] відповідають тенденціям розвитку РО передових держав світу [47-49]. В США ремонт РЕТ проводиться на трьох рівнях: агрегатним методом, детальним методом відновлення ЦП і ремонт на підприємствах тих модулів, відновлення яких неможливо у інших умовах. Базова майстерня В&ТF має в своєму складі переносні мікропроцесорні тестери СТ&, D&ET&, &TE-X, яка реалізує 875 діагностичних програм.

Головним завданням, покладеним на РО, є підтримка експлуатаційної надійності на заданому рівні, а також продовження призначених термінів служби виробів шляхом проведення ремонту [38-44]. РО являють собою майстерні, які оснащені мобільними ремонтними станціями й рухливими або стаціонарними ремонтними засобами, технологічними постами (рухливими або стаціонарними), укомплектованими інструментом і ЗВ; контрольно-ремонтними іспитовими лабораторіями, рухливими складами технічного майна [38-44].

На другому рівні існуючої СТОіР [163,164] - у РО проводиться селекція підозрюваних у несправності ЦП на справні й несправні. Справні повертаються назад на об'єкт і поповнюють комплект одиночного ЗП, а несправні, як правило, це (1-2) ЦП відправляються для проведення ремонту на третій рівень СТОіР [163,164] – у ремонтні підприємства, які, як правило, знаходяться на значному віддаленні від другого. З цієї причини час доставки несправних ЦП у ремонтні підприємства, як складова середнього часу

відновлення, має значний показник. В результаті таких нераціональних переміщень зменшується імовірність достатності укомплектованості ЗПП, збільшується вартість і середній час відновлення цифрових об'єктів РЕТ.

Зростання середнього часу відновлення об'єкта РЕТ призводить до зниження його КГ [24]

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_b}, \quad (1.1)$$

де T_o – середній наробіток на відмову,

T_b – середній час відновлення.

На третьому рівні (на підприємствах промисловості) здійснюється відновлення працездатності ЦП. За допомогою відповідної апаратури відбувається локалізація несправних РЕК, заміна і контроль працездатності відремонтованого ЦП, після чого він повертається для поповнення ЗПП об'єкта. Для погодженої роботи ремонтних бригад використовуються команди управління і інформація про стан РЕТ. Отже, РО являють собою сукупність сил (особовий склад), засобів (ремонтні станції, рухливі й стаціонарні засоби ремонту), приміщень (ремонтні цехи й ділянки) і відповідної нормативно-технічної документації [38-44].

Ситуація останніх років характеризується тим, що проведення ремонту РЕТ першого й другого поколінь регламентовано й може виконуватися в повному обсязі у РО. Для об'єктів РЕТ, побудованих на елементній базі третього та четвертого поколінь, продовження призначених термінів служби шляхом проведення ремонту у РО утруднено, що обумовлено рядом об'єктивних причин:

- використання функціональних методів діагностування,
- недостатня укомплектованість сучасними засобами діагностики, ремонту та комп'ютерної техніки,
- недосконалість існуючих робіт, що не забезпечують задану якість і своєчасність при проведенні діагностування та є неадаптованими для нових зразків РЕТ,

- непристосованість нормативно-технічної документації виробів до задач технічної діагностики,

- низький рівень професійної підготовки особового складу термінової служби, строк якої у теперішній час становить 12-18 місяців, ускладнює можливість проведення технічного діагностування цифрових пристроїв РЕТ згідно висунутих вимог,

- реалізація можливостей РО ускладнена через відсутність постачання експлуатаційно-витратних матеріалів в належному обсязі,

- відсутність інформаційних технологій при проведенні діагностування та прийнятті рішень щодо ТС, прогнозування, визначення залишкового ресурсу складових об'єктів РЕТ.

Все це є причиною недостатньої ефективності работ РО [38-44].

Поряд з цим у теперішній час спостерігається стійка тенденція збільшення кількості сучасних РЕТ. В 2010 році “вага” РЕТ третього та четвертого поколінь досягала 90% [38-40]. У зв'язку зі скороченням кількості РЕТ першого й другого поколінь і одночасним ростом кількості сучасних РЕТ виникає необхідність перегляду принципів і підходів в організації й проведенні різних видів ремонтів, метою яких є продовження призначених термінів служби сучасних РЕТ, що відповідає вимогам керівних документів [38-40]. Отже, скорочення часових і матеріальних витрат на проведення робіт, спрямованих на продовження призначеного терміну служби РЕТ, є сьогодні важливою науково-практичною задачею, рішення якої спрямовано на підвищення надійності РЕТ і можливо за умови модернізації існуючих РО, а також за умови розробки й створення нових, що відповідають сучасним вимогам РО. У сучасних умовах рішення цієї задачі можливо за умови створення нових СТД, орієнтованих на нову елементну базу. Розробка нових методів і на їх основі ЗД, більш адаптованих до нових РЕТ, дозволять отримати кращі показники, ніж при існуючій СТД.

Структура взаємодії РО і майстерень з органами управління і постачання, а також з підприємствами-виробниками успадкована від СРСР і

не повною мірою відповідає сучасним вимогам [38-40]. У ній практично відсутня автоматизація отримання та обробки ДІ, що є невід'ємною складовою функцій технічної діагностики.

Для підтримки необхідного рівня експлуатаційної надійності об'єктів РЕТ доцільно оптимізувати компонування апаратури при її проектуванні, розробляти і широко застосовувати якісні СТД, які дозволять збільшити ступінь охоплення апаратури і глибину локалізації несправних ЦП, мінімізувати номенклатуру ЗВ, а також усебічно застосовувати уніфікацію і автоматизацію СТД (у першу чергу безпосередньо на самих об'єктах РЕТ). При реалізації запропонованої структури (рис. 1.2) на першому рівні пошук і локалізація дефектів буде здійснюватися спочатку ВСК, яка дозволяє виявити лише групу (15-20) підозрюваних у несправності ЦП. Потім, УРМ-1 локалізує працездатні ЦП, які будуть повертатися для поповнення одиночного ЗІП, і непрацездатні, котрі будуть передаватися на другий рівень – у РО, де ремонтною бригадою з використанням УРМ-2 буде здійснюватися пошук і локалізація дефектного цифрового РЕК того ЦП, який на першому рівні за допомогою УРМ-1 був визнаний несправним. На цьому рівні пропонується здійснювати відновлення працездатності ЦП, після чого він буде повертатися на перший рівень СТОіР - рівень експлуатації для поповнення ЗІП об'єкту РЕТ. Застосування УРМ-2 пропонується здійснювати у РО і ремонтних підприємствах, що дозволить скоротити середній час відновлення цифрових пристроїв РЕТ і підвищити її КГ за рахунок виключення необхідності відправки несправного ЦП з другого на третій рівень для відновлення працездатності, як це робиться при існуючій СТОіР. У деяких випадках, коли відновлення ЦП на рівні РО утруднено, його відправляють у ремонтні підприємства, і після здійснення ремонту повертають на рівень експлуатації для поповнення ЗІП об'єкту РЕТ. Це дозволить збільшити імовірність достатності укомплектованості ЗІП при використанні запропонованої структури СТОіР [163,164], що приведе до підвищення боєготовності об'єкту РЕТ. Для підтвердження даного висновку

в табл. 1.1 на прикладі РЛС приведені результати розрахунків по формулах (1.1) і (1.2) середнього часу відновлення і КГ цифрової частини РЕТ в залежності від достатності одиночного ЗП при використанні існуючої і запропонованої СТОіР [163,164].

Аналіз стану діагностичного забезпечення об'єктів радіоелектронної техніки. Гострота питання обумовлена тим, що близько половини об'єктів РЕТ, що експлуатуються в Україні, відпрацювали свій ресурс [51]. З цієї причини кількість відмов об'єктів РЕТ збільшилась. В силу економічних обставин нашої держави, незважаючи на стримкий розвиток елементної бази, заміна зразків РЕТ, які виконані на старій елементній базі, буде проводитись повільно, тому постало питання продовження ресурсу об'єктів РЕТ, що експлуатуються.

Дані фактори визначають необхідність застосування нових підходів до існуючої СТД, які виконані на старій елементній базі, а також перспективних виробів. Зважаючи на складність побудови зразків РЕТ середній час наробітку є відносно невеликим, при цьому середній час відновлення є порівнянно значним. Варто зазначити, що незначне зменшення кількості відмов має наслідком суттєве зменшення вартості життєвого циклу даних виробів.

З викладеного вище, а також того факту, що вартість діагностування та ремонту на наступному етапі по відношенню до попереднього виявляється дорожчею на порядок [52,53], витікає необхідність вирішення завдань виявлення дефектів на всіх етапах “життєвого циклу” зразків РЕТ.

На другому етапі “життєвого циклу” зразків РЕТ – етапі експлуатації це завдання вирішується за допомогою ДЗ, яке являє собою методи, засоби, обслуговуючий персонал, а також технічну документацію [52,53,158]. З об'єктивних причин середній час діагностування, як складова середнього часу відновлення зразків РЕТ, є досить великим. Крім того, для збільшення КГ як комплексного показника надійності, треба розглядати і другий шлях,

який полягає у збільшенні середнього часу наробітку на відмову, на що впливають декілька факторів. Один з них зумовлений рівнем розвитку елементної бази та якістю виробництва пристроїв на її основі. Другий відображає своє рішення під час експлуатації об'єктів РЕТ і полягає в проведенні діагностування ТС, локалізації несправностей, а також проведенні прогнозування ТС.

З зазначених причин діагностичне забезпечення РЕТ, призначене для підвищення показників надійності, повинне закладатися на стадії проектування об'єкта РЕТ, забезпечуватися на стадії виробництва і підтримуватися на стадії експлуатації. Але незважаючи на те, що за якість ДЗ відповідає розробник об'єкту РЕТ, ця вимога виконується не завжди. З цієї причини об'єкти РЕТ виявляються погано пристосованими до діагностування, а персонал з експлуатації вимушений займатися не властивими функціями до їх функціональних обов'язків, а саме, розробкою і створенням ЗД для його проведення у процесі експлуатації зразка.

З викладеного витікає необхідність удосконалення ДЗ для створення нової автоматизованої системи технічного діагностування РЕТ.

Розглянемо існуючі ЗД та їх основні характеристики.

Аналіз існуючих засобів діагностування та їх основні характеристики. Для здійснення функцій, покладених на СТОІР РЕТ, використовуються УРМ, а також СТД, роботу яких представлено у даному підрозділі. З огляду на характеристики зазначених об'єктів визначимо недоліки, притаманні ним та напрямки вдосконалення ДЗ.

Розглянемо основні характеристики УРМ 97Л6 [15;32,49,55].

1. **Призначений** для проведення технічного обслуговування, контролю працездатності, діагностування аналогових і цифрових змінних елементів (ЦП, комірок, субблоків) виробів РЕТ.

2. **Обмеження:** високочастотні, а також ті, що містять мікропроцесорні елементи, високовольтні субблоки, ЦП самого УРМ.

3. **Глибина діагностування** – РЕК.

4. **Імовірність правильного контролю** не нижче 0,8.

5. **Імовірність правильного діагностування** не нижче 0,9.

6. **Середня продуктивність УРМ** по обслуговуванню елементів заміни: контроль працездатності – $5 \div 6$ од/год; діагностування – $4 \div 5$ од/год.

Далі розглянемо основні характеристики УРМ 57П6.

1. **Призначений** для проведення технічного обслуговування, контролю, діагностування і поточного ремонту аналогових і цифрових змінних елементів (ЦП, комірок, субблоків) виробів РЕТ.

2. **Середня продуктивність УРМ** по обслуговуванню елементів заміни: контроль – $5 \div 6$ од/год.; діагностування – $4 \div 5$ од/год.; ремонт – $1 \div 3$ од/год.

3. До УРМ доданий ремонтний ЗІП, який дозволяє забезпечити одночасний ремонт до 24 елементів заміни.

Перевагою УРМ 57П6 є можливість проведення як автоматизованого, так і ручного контролю і діагностування ЦП пристроїв РЕТ.

До недоліків даних УРМ відноситься неможливість проведення діагностування високочастотних блоків, ЦП, які містять у своєму складі мікропроцесори, а також високовольтні субблоки вторинних джерел електроживлення, складність, дорожнеча, наявність у персоналу високої кваліфікації.

Аналіз існуючих засобів діагностування іноземного виробництва.

Засоби внутрішньосхемного тестування „ІСТ – In-Circuit Testing” забезпечують глибину пошуку дефекту до номіналів РЕК (резисторів, конденсаторів, індуктивностей, ІМС і т.п.). Для внутрішньосхемного тестування характерні два способи підключення до ОД. Перший, найбільш розповсюджений, – використання змінних адаптерів типу „поле контактів”. Другий спосіб – пересувні пробники. Тестові головки з пробниками переміщуються в трьох площинах, що забезпечує послідовний доступ до контрольних точок об’єкт діагностування (ОД). До засобів

внутрішньосхемного тестування відносяться PFL 780 (Великобританія), GR PILOT (США), STINGER 2281a (США), S90 (Росія), S110 (Росія), ELX6146 (Японія) [52,53]. Метод внутрішньосхемного тестування дозволяє знайти до 80% дефектів. Огляд зарубіжної літератури показав, що для забезпечення життєвого циклу об'єктів РЕТ у США необхідно майже 70% витрат на етапах розробки та виробництва, а близько 30% - на діагностику та відновлення працездатності під час експлуатації [52].

Важливо зазначити те, що застосування даних систем для проведення КТС практично неможливо у період експлуатації, з причини високої вартості (від 100000 доларів на базі контакторів, від 100000 до 250000 доларів на базі пересувних зондів).

Отже, проведений аналіз існуючих засобів технічного діагностування дозволяє зробити **наступні висновки**:

- існуючі засоби технічного діагностування не спроможні забезпечити виконання задач діагностування за показниками часу та вартості;
- темпи розвитку елементної бази набагато випереджають методи і ЗД;
- РЕТ не комплектуються простими в експлуатації і недорогими УРМ, які спроможні проводити локалізацію дефектних цифрових РЕК зі складу ЦП.

1.2. Аналіз існуючих методів отримання та обробки діагностичної інформації

Аналіз методів функціонального та внутрішньосхемного діагностування. На етапі експлуатації найбільше поширення одержали електрофізичні методи діагностування [8,55]. Серед цієї групи найбільше розповсюдження, для діагностування ЦП, одержали методи тестового контролю. Донедавна, одними з основних методів КТС були детерміновані методи діагностування. Дані методи (метод активізації одномірного шляху, дедуктивний метод, *d*-алгоритм, метод еквівалентних нормальних форм і

т.п.) орієнтовані на контроль не функціонального призначення ЦП, а його структури та заданого класу несправностей [8,55]. У таблиці 1.5. представлені значення на виходах елементів 2І-НІ, з'єднаних послідовно (рис. 2.28).

Таблиця 1.5

Значення на виходах елементів 2І-НІ, з'єднаних послідовно

X1(1)	X2(1)	У(1)	X1(2)	X2(2)	У(2)
0	0	1	1	1	0
0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1

При використанні даних методів контролю і діагностування формується обмежений клас константних одиночних несправностей, що обумовлено складністю їх перерахування і опису для ЦП з великою кількістю інтегральних мікросхем (ІМС) з високим ступенем інтеграції і функціональних зв'язків. Тому особливий інтерес для удосконалення систем технічного контролю представляє використання методів випадкового і псевдовипадкового тестувань, оскільки вони не мають властивих детермінованим методам недоліків, таких як необхідність проведення дуже складних розрахунків моделей несправних ОД, великих обсягів зберігання інформації та витрат часу на їх подачу, знімання і обробку. Однак дані методи вимагають деяких уточнень. Однією з найважливіших задач при перевірці працездатності ОД з використанням псевдовипадкового тестування є визначення повноти перебору входних комбінацій [56–58], так як невідомо, скільки псевдовипадкових чисел необхідно подати на ОД для перевірки його з заданою імовірністю. За повноту перебору входних комбінацій за V_m тактів приймається відношення математичного сподівання M кількості реально перебраних різних комбінацій до кількості всіх можливих комбінацій, тобто

$$\alpha(n, P_{(1)}, V_m) = \frac{M(W, P_{(1)}, V_m)}{2^n}, \quad (1.2)$$

де W – кількість входів об'єкта діагностування (контролю);

$P_{(1)}$ – імовірність появи одиниці на кожному з його входів.

Дана задача розв'язується визначенням залежності повноти перебору α від довжини тесту (числа тактів V_m) при заданих n і $P_{(1)}$. Однак при використанні показника α для оцінки достовірності контролю виникає ряд труднощів. Зокрема, при перевірці працездатності багатьох типів ЦП необхідно мати на їх входах різні імовірності появи логічної одиниці. Крім того, зазначений підхід не може бути застосований до схем з пам'яттю, оскільки для таких ОД буває недостатньо тривіальної послідовності, що складає з 2^n різних комбінацій [35; 59]. Крім того, статистичний (імовірнісний) спосіб визначення повноти перебору не гарантує подачу перевірного тесту (ПТ) на кожен логічний елемент ОД (імовірність діагностування ЦП складає $P_d = 0,75$), а також не дозволяє виявити ті логічні елементи (ЛЕ), які даною послідовністю псевдовипадкових чисел не перевіряються.

Порівняльний аналіз детермінованих і псевдовипадкових методів діагностування ЦП був проведений в роботах [59, 60]. Розраховувалась кількість тактів перевірки, необхідних для КТС об'єктів діагностування з заданими показниками достовірності. Кількість тактів перевірки для детермінованих методів визначається згідно виразу [61]:

$$V_m = \frac{P_d}{\frac{M}{L} - \frac{k_m \times n_{\text{ТЕЗ}}}{L(L-1)}} \times C_{\text{ТЕЗ}} \times n_{\text{ТЕЗ}} \quad ; \quad (1.3)$$

де P_d – достовірність діагностування;

M – кількість несправних ІМС на ЦП;

L – кількість ІМС на ЦП;

k_m – кількість контрольних точок

$C_{\text{ЦП}}$ – кількість команд ЦП;

$n_{\text{ЦП}}$ – розрядність елементів ЦП.

Кількість тактів перевірки (V_m) при використанні імовірнісних методів визначається згідно виразу [60]:

$$V_m = \frac{\ln(1 - P_d)}{\ln\left(1 - \frac{1}{2^W}\right)}. \quad (1.4)$$

Аналіз приведених виразів (1.3) і (1.4) показав, що при здійсненні КТС з заданою достовірністю, детермінована ТП в порівнянні з псевдовипадковою має меншу довжину. При цьому частота тактів діагностування детермінованими ТП може бути значно менша, аніж при діагностуванні псевдовипадковими. Це, насамперед, залежить від алгоритму діагностування (умовний або безумовний). З іншої сторони, пристрої діагностування (ПД), які реалізують детермінований метод [49, 61], містять в своєму складі ПК. Однією з функцій ПК є зберігання детермінованих тестів та вихідних реакцій ОД, об'єм яких може бути значно великим. ПД, який базується на псевдовипадковому методі, не потребує залучення до свого складу ПК, тому, що в даному випадку відсутня потреба в зберіганні великої кількості ДІ, тому вартість УРМ може бути зменшена на вартість ПК.

При використанні методу сигнатурного аналізу знімання послідовності даних з виходів ОД здійснюється протягом часу між фронтами імпульсів “пуск” і “стоп”, які визначають тривалість перевірки ОД t_{diag} [62]. Довжина ТП може регулюватися. Як правило, для формування службових сигналів “пуск” і “стоп” використовуються сигнали, які знімаються з заданих точок схеми і визначають початок та кінець якогось процесу в ОД, при якому спрацьовує максимальне число ЛЕ. Вибір точок в схемі, з яких проводиться знімання даних сигналів, здійснюється або розроблювачем пристрою, або інженером-діагностом (якщо ОД при проектуванні не був орієнтований на перевірку сигнатурним методом), виходячи з аналізу його принципової схеми і роботи. Однак це вносить суб'єктивність в оцінку довжини ТП. Перераховані особливості діагностування цифрових схем дозволяють

зробити висновок, що при використанні методу сигнатурного аналізу не гарантується подача ПТ на входи всіх ЛЕ, а також відсутня можливість заздалегідь визначити, які ЛЕ при даній довжині ТП не перевіряються з заданою імовірністю.

Методи контролю, засновані на порівнянні з еталоном [59, 62], мають практично такі самі недоліки, що і сигнатурний метод.

Найбільш точні відомості про повноту перевірки дає моделювання з використанням комп'ютерної техніки генератора псевдовипадкових чисел і ОД, який перевіряється [56,57;163,198]. Однак реалізація способу моделювання мереж несправних модифікацій ОД на ПК вимагає великих матеріальних і часових витрат на підготовку і налагодження програмного забезпечення, а також машинного часу і пам'яті ПК. Тому побудову ТП доцільно спростити. Одним з найбільш прийнятних способів є апаратне підключення комірок реєстрації частинних перевірочних тестів (ЧПТ).

Одним із сучасних методів КТС цифрових пристроїв є периферійне сканування (Boundary Scan), сутність якого складається в устаткуванні кожної ІМС спеціалізованим тестовим портом, який включає чотири канали, що призначені для наступних операцій: подачі тестового впливу, визначенні режиму тестування, визначенні тактової частоти тестування, одержанні реакцій на тест. Спрощений алгоритм КТС має вид наступної послідовності: на ОД подається сигнал переключення в режим тестування; тестове слово послідовно передається в регістри зсуву по каналу передачі тестового впливу; на канал визначення режиму тестування приходить управляючий вплив і виконується перевірка ОД, запис результатів тестування в регістри зсуву і виведення результатів по каналу одержання реакції на тестовий вплив через роз'єм друкованої плати. Периферійне сканування дозволяє контролювати ТС практично будь-якого РЕК ОД. Недоліком методу є необхідність використання модернізованих РЕК, що призводить до додаткових матеріальних витрат і збільшення вартості електронного устаткування на 30-40% [56,57]. Деякі з даних методів були технічно

реалізовані у вигляді УРМ і СТД, які використовуються в РО.

Отже, проведений аналіз існуючих методів технічного діагностування дозволяє зробити висновок, що вони не забезпечують якісне діагностування ЦП при заданих показниках часу і вартості.

Аналіз труднощів діагностування цифрових пристроїв. З кожним роком питома вага ЦП (фото 1.2) при застосуванні інтегральна схема (ІС) середнього ступеню інтеграції збільшилась трудомісткість діагностування. Це відобразилось на розробці діагностичних програм, що призвело до стримання розвитку ЗД та контролю. Ситуація ускладнилась після серійного випуску ВІС, оскільки диспропорція між рівнями ЗД та технології виробництва цифрової техніки, яка сьогодні являє собою мікропроцесори, пристрої пам'яті, засоби інтерфейсу, тощо. Ускладнення техніки знаходить відображення не тільки у рівні інтеграції ІС, а і у їх кількості у складі ЦП. З цієї причини кількість ЛЕ мікропроцесора сягає за сотні тисяч [63]. Діаграма, яка ілюструє питому вагу різних поколінь радіоелектронних компонентів, представлена на рис. 1.5.

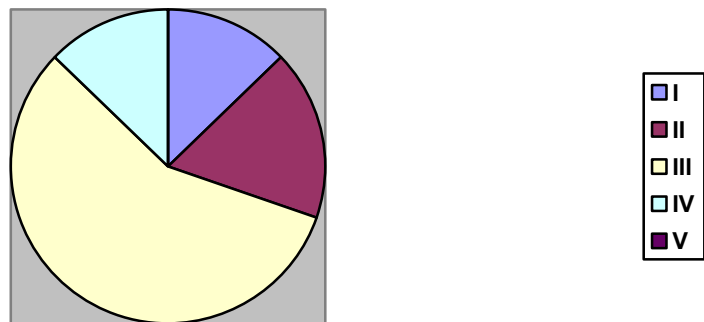


Рис.1.5. Діаграма, яка ілюструє питому вагу різних поколінь радіоелектронних компонентів

Важливо те, що з одного боку збільшується об'єм інформації, яка зберігається на одному ЦП (фото 1.2). З іншого боку, це ускладнює проведення діагностування. З цієї причини, для підвищення ефективності

діагностування ЦП, до складу яких входять ВІС, було запропоновано разом з функціональним діагностуванням проводити внутрішньосхемну перевірку.

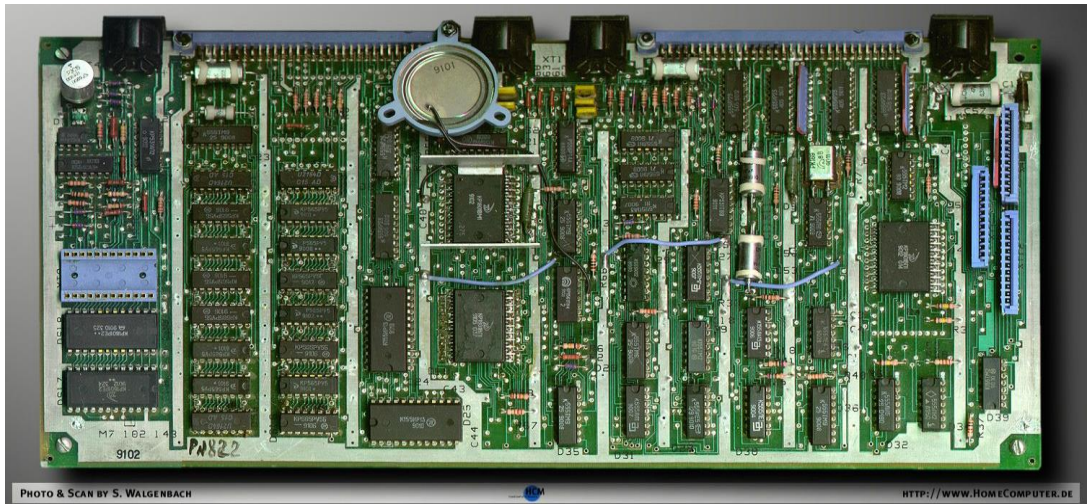


Фото 1.2. Цифровий пристрій



Фото 1.3. Стационарна радіолокаційна станція



Фото. 1. 4. Аеродромне обладнання



Фото 1.5. Обладнання атомної електричної станції

Розрахунок надійності з урахуванням режимів роботи елементів (остаточний). Остаточний розрахунок надійності виробу виконується тоді, коли відомі реальні режими роботи елементів після випробування в лабораторних умовах макетів і основних вузлів виробу [64-66].

Елементи виробу знаходяться зазвичай в різних режимах роботи та суттєво відрізняються від номінальної величини. Це впливає на надійність як виробу в цілому, так і окремих його складових частин. Виконання остаточного розрахунку надійності можливо тільки при наявності даних про коефіцієнти навантаження окремих елементів і при наявності графіків залежності інтенсивності відмов елементів від їх електричного навантаження, температури навколишнього середовища та інших факторів, тобто для остаточного розрахунку необхідно знати залежності

$$\lambda_c = f(K_n, T_0, \dots).$$

Ці залежності наводяться у вигляді графіків або їх можна розраховувати за допомогою так званих поправочних коефіцієнтів інтенсивності відмов, що дозволяють врахувати вплив різних чинників на надійність виробу.

Для визначення надійності виробу необхідно знати:

- число елементів з розбивкою їх за типами і режимам роботи;

- залежності інтенсивності відмов елементів λ_i від електричного режиму роботи і заданих зовнішніх умов;
- структуру системи.

У загальному випадку λ_i залежить від наступних факторів, що впливають: електричного режиму роботи даного елемента; навколишньої температури; вібраційних впливів; механічних ударів; лінійних прискорень; вологості; впливу біологічних факторів (грибок, цвіль, комахи); тиску; опромінення і ряду інших можливих чинників. При розробці і виготовленні елементів зазвичай передбачаються певні «нормальні» умови роботи: температура $+ 25^\circ \pm 100^\circ\text{C}$, номінальний електричний режим, відносна вологість $60 \pm 20\%$, відсутність механічних перевантажень і т.д. Інтенсивність відмов елементів в номінальному режимі експлуатації називається номінальною інтенсивністю відмов λ_{0i} . Інтенсивність відмов елементів при експлуатації в реальних умовах λ_i дорівнює номінальній інтенсивності відмов λ_{0i} , помноженої на поправочні коефіцієнти α_i і k_i . Поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов $\alpha_i = f(t_0, K_n)$ враховує вплив навколишньої температури і електричного навантаження, поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов $k_i = f(j, \varphi)$ - тип впливу, головним чином механічні перевантаження і відносну вологість навколишнього повітря[64-66].

Аналіз причин відмов інтегральних схем. ІС являє собою сукупність декількох взаємопов'язаних компонентів (діодів, транзисторів, конденсаторів, резисторів), які виготовлені у єдиному технологічному циклі на одній несучій конструкції – підкладці та виконують певні функції перетворення інформації.

Розвиток електроніки передбачає безперервне ускладнення функцій, які виконуються електронною апаратурою. На певних етапах вирішення нових задач з використанням засобів, побудованих на застарілій елементній базі, стає ускладненим, а в деяких випадках і неможливим. Основними

факторами, які визначають зміну елементної бази, є надійність, маса, габарити, потужність та вартість.

Надійність визначається кількісними характеристиками, які у сукупності характеризують якість ІС. Показником надійності є безвідмовність виконання заданих функцій у визначених режимах роботи та протягом певного інтервалу часу.

Відмовою ІС є повне порушення працездатності або вихід деяких параметрів за межі допустимих. З цієї точки зору розрізняють катастрофічні (повні) та умовні (поступові) відмови. В основі перших є короткі замикання або обриви в різних частинах ІС, причини яких будуть детально розглянуті нижче.

Умовні є наслідком повільної зміни електропровідності та інших електрофізичних властивостей ІС.

Важливо відмітити, що короткі замикання або обриви, які мають місце під час контролю, виявляються у вигляді браку під час його проведення. Якщо такі дефекти знаходяться у стадії “зародження”, то контроль їх не виявить і в подальшому вони будуть факторами ненадійності.

Розглянемо процеси, які є причиною коротких замикань та обривів.

Коротке замикання виникає внаслідок зіткнення з'єднувальних провідників між собою або корпусом внаслідок механічних ударів або вібрацій. Другою причиною є локальний перегрів ланки та її проплавлення, або в результаті проникнення провідної речовини через пори у діелектрику.

Обриви можуть виникати не тільки внаслідок механічних сил, а і в результаті електрохімічних та хімічних процесів. У першому випадку порушуються електричні зв'язки з'єднувальних провідників з контактними площинами на кристалі або з контактами корпусу.

Електрохімічні та хімічні процеси виявляються у різних варіантах.

По-перше, має місце електрохімічна корозія металевих плівок та контактних з'єднань.

По-друге, створюються інтерметалеві з'єднання, що особливо характерно для контактів різнорідних металів.

По-третє, має місце електроміграція, яка являє собою переміщення атомів металу у прилеглі області під дією електричного поля та підвищеної температури. В результаті електроміграції товщина металевої доріжки зменшується і виникає обрив як наслідок локального перегріву та перегорання доріжки.

Далі розглянемо процеси, які лежать в основі поступових відмов.

Їх основною причиною є процеси на границі кремнія з захисним окислом, який являє собою утворення інверсійних та збагачених слоїв – каналів – під дією іонів, розташованих у окислі. Утворені канали безпосередньо впливають на зворотні струми $p-n$ – переходів та величину пробивної напруги. Нестабільність параметрів обумовлена міграцією іонів у окислі. Причиною останнього є дифузія іонів та дрейф у електричних полях.

На виробництві РЕК є велика кількість джерел забруднення поверхні кристала іонами домішок (забруднення, що попадають у результаті обробки пластин, атмосфера, у якій проводиться герметизація, конструкційні деталі корпусу, клейові маси, застосовувані для посадки кристалу, пластмаса, для герметизації РЕК). Найнебезпечнішими для алюмінію є іони натрію, калію та хлору. Алюміній може корозіювати як у кислотному, так і у лужному середовищі.

Більшою мірою піддаються корозії металеві електроди, які перебувають під негативним потенціалом (катодна корозія). Вони руйнуються під дією позитивно заряджених іонів. Такому ж впливу піддаються позитивно заряджені електроди, взаємодіючи з негативними іонами. Однак швидкість корозії позитивно заряджених ділянок нижче, тому що на них одночасно з корозією діє активний процес утворення шару окису алюмінію, який перешкоджає подальшому руйнуванню. При наявності на поверхні кристала іонів хлору корозія позитивних ділянок металізації значно

прискорюється внаслідок великої проникаючої здатності іонів хлору крізь плівку окису алюмінію.

Аналіз показав, що корозія виникає і розвивається на границях зерен з утворенням суцільних мікротріщин та призводить до зростання внутрішнього опору та обриву металізації.

Механізм деградації металевих плівок діє паралельно з механізмами електродифузії і електрохімічної корозії та пов'язаний з окислюванням алюмінію і призводить до збільшення омичного опору струмоведучих елементів [67].

Механізм відмови в цьому випадку обумовлений взаємодією кисню з поверхнею зерен в обсязі кристалу напівпровідника. У результаті росту окисної плівки на поверхні провідних доріжок і утворення окисних міжзернових прошарків зменшується обсяг і ефективний поперечний перетин провідника і, як наслідок, збільшується його опір.

Погіршення умов проходження електричного струму по струмоведучих доріжках порушує температурний режим приладу, приводячи до локальних перегрівів, посиленню електродифузії і росту ймовірності відмови за рахунок обриву металізації через більші розтяжні зусилля, які виникають у місцях розростання зерен.

У конструкції напівпровідникових приладів широко застосовується алюмінієве розведення для створення між елементних з'єднань на кристалі, золотий і алюмінієвий дріт для створення внутрішніх з'єднань між контактними площадками на кристалі і корпусі приладу. Приєднання внутрішніх виводів із золотого дроту до контактних площадок на кристалі здійснюється термокомпресійним зварюванням при температурі підкладки порядку 30⁰С. У процесі термокомпресії відбувається взаємна дифузія металів, і створюється міцне з'єднання в місці контакту. Однак одночасно з дифузією в місці контакту алюміній і золото вступають у хімічну реакцію з утворенням інтерметалічних з'єднань або інтерметалідів. Залежно від температури, тиску, концентрації золота і алюмінію в місці їхнього контакту

можуть утворитися наступні з'єднання: $AuAl_2$, $AuAl$, Au_2Al , Au_5Al_3 , Au_4Al , які суттєво відрізняються по питомому опору, термічному розширенню, твердості.

При температурах вище $300^\circ C$ утворюється надзвичайно пористе з'єднання $AuAl_2$ (пурпурна чума). Цей різновид інтерметаліда найнебезпечніший при формуванні термокомпресійного з'єднання.

На рис. 1.6. представлена структура контакту золотого дроту з алюмінієвою контактною площадкою. Вся контактна галузь складається з різних модифікацій інтерметалідів, які поширюються на всю глибину алюмінієвої плівки. По периметру контакту через розходження в коефіцієнтах термічного розширення інтерметалічних фаз утворюються мікротріщини.

Отже, процеси утворення шарів інтерметалідів, порожнеч і тріщин по периметру контакту знижують його міцність, підвищують контактний опір, що призводить до відмови контакту (поступовому або раптовому).

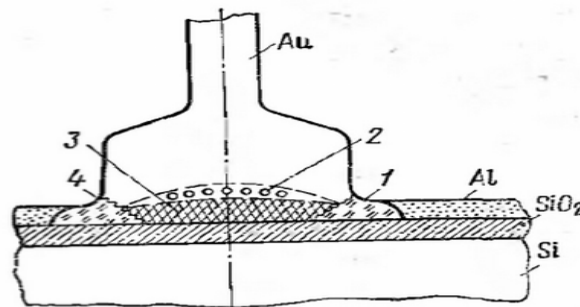


Рис. 1.6. Структура термокомпресійного контакту $AuAl$: 1- Au_2Al , 2- Au_4Al , 3- Au_5Al , 4-мікротріщини

Висновок. Аналіз причин відмов ІС, проведений в підрозділі, показав, що в їх основі лежать “природні” фактори, пов’язані з процесами, які протікають у ІС. Урахування особливостей побудови та причин відмов ІС необхідно для розробки методів діагностування, а також обробки ДІ.

Аналіз фізичних процесів у кристалах інтегральних схем. Основу сучасної мікроелектроніки складають напівпровідникові матеріали, які, як правило, являють собою тверді тіла з регулярною кристалічною структурою

– монокристали, питомий опір яких складає $10^{-3}-10^9$ Ом [68]. Ця характеристика у першому наближенні є тією, що відрізняє напівпровідники від інших матеріалів.

З фізичної точки зору, структура кристалу ніколи не буває ідеальною - завжди є дефекти двох типів: кристалічної решітки та дислокації (рис. 1.7).

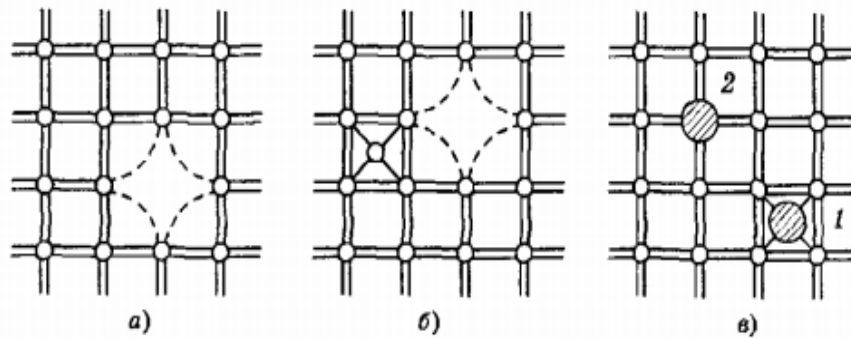


Рис. 1.7. Точкові дефекти кристалічної структури

Перші можуть мати вид порожнього вузла (дефект Шоттки) або сукупності такого вузла та міжвузлового атома (дефект Френкеля). Крім того, у складі будь-якого напівпровідника є домішки, від яких неможливо позбутися, або ті, що вводяться для отримання потрібних властивостей кристалу. При цьому кожний атом домішки може розташовуватись або у міжвузловому просторі, або замість основного атому – у таких випадках проявляються властивості точкового дефекту. Другі представляють собою дислокації - зміщення площин кристалічної решітки та можуть бути лінійними або гвинтовими. Наявність дислокацій призводить до неконтрольованих розмірів елементів ІС.

Крім дислокацій, у пластинах напівпровідника є макроскопічні дефекти, до яких відносяться мікротріщини і пори, що є потенційними причинами браку ІС.

Висновок. Проведений аналіз фізичних процесів у кристалах ІС показав, що їх структура не буває ідеальною. Ця причина обумовлює виникнення дефектів ЦП, які розглянуті у попередньому підрозділі.

З часом відбувається погіршення властивостей напівпровідника, причиною чого є виродження кристалу, тобто напівпровідник починає виявляти властивості металів - опір напівпровідникових елементів з часом зменшується.

Складність визначення реального ТС цифрових пристроїв (РЕК) визначається тим, що вони спрацьовують як справні навіть при критичних станах кристалів напівпровідника. У таких випадках методи функціонального діагностування визначають ТС цифрового пристрою справним, при цьому через невизначений та непередбачуваний час після проведення діагностування він виходить зі строю.

Врахування даних, отриманих з аналізу фізичних причин відмов та наявність їх статистики, дозволить при побудові АСТД [161] виконувати такі функції технічної діагностики як визначення ТС та його прогнозування з високою достовірністю, а також локалізацію дефектних елементів.

1.3. Постановка наукової проблеми

Завдання побудови високоефективної АСТД [161] радіоелектронної техніки виникає на ранніх етапах розробки об'єктів РЕТ: на етапах науково-дослідних і технічних пропозицій, коли здійснюється перше обґрунтування вигляду складної системи в цілому. Відносно висока вартість такої системи вимагає на етапі її проектування необхідність обґрунтування структури і складу системи в цілому, алгоритмів функціонування, конструктивних і технічних параметрів.

З огляду на те, що останнім часом вимоги щодо підтримки належного рівня показників надійності стають більш жорсткими, а також недоліки, притаманні існуючим СТД, **загострилося протириччя** між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних засобів діагностування, значного збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної

інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних засобів діагностики, оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації.

Для вирішення вказаного протиріччя в дисертації поставлена та вирішена актуальна **науково-прикладна проблема**, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування PET на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій.

Мета роботи полягає у підвищенні достовірності діагностування радіоелектронної техніки шляхом застосування фізичного діагностування.

Забезпечення достовірного автоматичного діагностування PET стало можливим завдяки розробленим рішенням, що ґрунтуються на фізичному діагностуванні на основі комплексації енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів з врахуванням залежностей значень діагностичних параметрів від наробітку на відмову з використанням інформаційних технологій та розроблених алгоритмів, яке, на відміну від функціонального, дозволяє визначати реальний технічний стан складових об'єктів PET, упереджувати відмови шляхом завчасного визначення елементів, характеристики яких наближуються до критичних, а також проводити прогнозування технічного стану ЦП та визначати їх залишковий ресурс з заданою достовірністю.

Виходячи зі сформульованої постановки науково-прикладної проблеми, з метою розв'язання наукових завдань для побудови і впровадження автоматизованої системи технічної діагностики PET, розроблена структурно-логічна схема дисертаційного дослідження, основні етапи якої представлені нижче.

СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНА СХЕМА ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Проаналізувати сучасний стан відомих систем технічної діагностики РЕТ та розробити концептуальні основи отримання діагностичної інформації з використанням методів фізичного діагностування, а саме, енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного.

2. Розробити математичну модель та комплексний метод діагностування на основі енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного методів та метод отримання та обробки діагностичної інформації та блок-схему для комплексного використання методів фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій.

3. Розробити метод та алгоритм для визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування.

4. Удосконалити метод локалізації дефектних цифрових елементів і розробити блок-схему на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань з використанням інформаційних технологій.

5. Удосконалити метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв РЕТ та розробити математичну модель на основі обробки діагностичної інформації з використанням інформаційних технологій.

6. Удосконалити метод діагностування цифрових пристроїв об'єктів РЕТ з використанням методів фізичного діагностування та розробити алгоритм реалізації комплексного методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки з використанням зазначених методів.

7. Розробити структурну схему автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ та провести оцінювання її ефективності.

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз стану діагностичного забезпечення показав, що засоби діагностування, які використовуються, не забезпечують визначення реального технічного стану з заданою достовірністю за необхідний час ЦП як складових об'єктів РЕТ. Зважаючи на терміни експлуатації та високу вартість об'єктів РЕТ, а також фінансове становище держави, подальшу реалізацію можливостей РЕТ можна забезпечити за умови модернізації діагностичного забезпечення та використання інформаційних технологій.

2. Проведений аналіз методів функціонального та тестового діагностування показав, що їх використання дозволяє проводити визначення технічного стану в реальному часі, при цьому проведення прогнозування та визначення залишкового ресурсу є ускладненим. Після проведення діагностування зазначеними методами через непередбачуваний час ЦП виходять зі строю, що негативно впливає на показники надійності РЕТ.

3. Проведені дослідження визначили **протиріччя** між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних засобів діагностування, значного збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних засобів діагностування, оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації.

4. Для усунення даного протиріччя необхідно вирішити актуальну **науково-прикладну проблему**, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування РЕТ на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій.

Для вирішення проблеми необхідно розв'язати сукупність взаємозв'язаних наукових задач, які представлені структурно-логічною схемою.

Науково-методичний апарат, який використаний для вирішення науково-прикладної проблеми, представлений у наступному вигляді (рис.1.8).

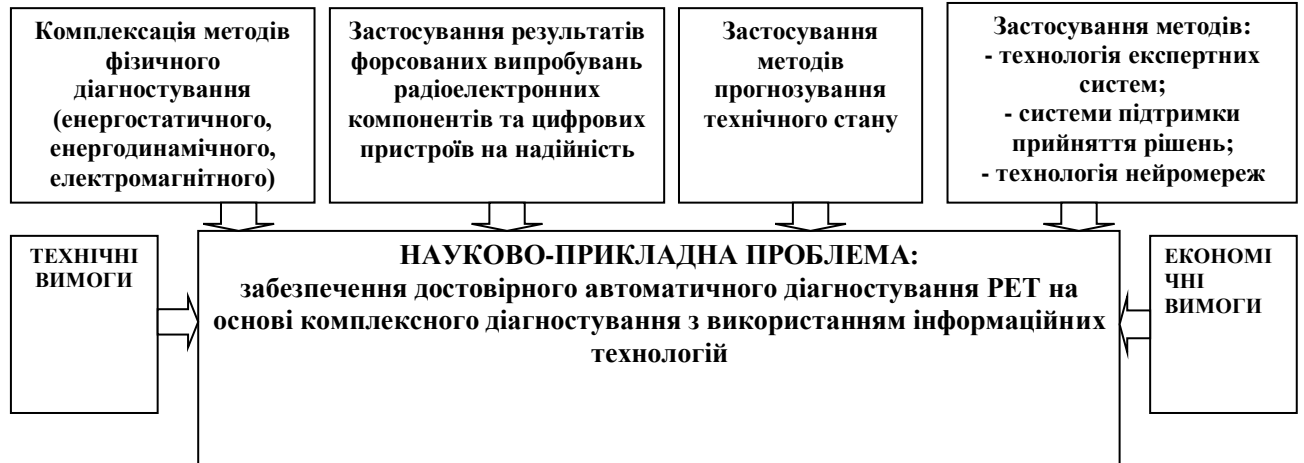


Рис. 1.8. Науково-методичний апарат, використаний для вирішення науково-прикладної проблеми

Рішення вказаних вище задач і складає основний зміст наступних розділів дисертації.

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Розділ присвячений обґрунтуванню теоретичних та практичних принципів, покладених в основу вирішення проблеми розробки АСТД [161] об'єктів РЕТ на основі інформаційних технологій.

Обґрунтовані нові принципи побудови автоматизованих систем технічного діагностики РЕТ та загальний підхід до отримання ДП, які базуються на фізичних особливостях цифрових РЕК.

Доведено доцільність застосування методів фізичного діагностування ЦП, до яких відносяться енергодинамічний, енергостатичний і електромагнітний методи.

Показано, що при застосуванні запропонованих методів відбиваються дефекти у контрольних точках (КТ) на значенні ДП. Діагностичні моделі, отримані для кожного з методів, дозволяють визначати значення ДП, які порівнюються з отриманими в результаті проведених прискорених випробувань ЦП на надійність, що дозволяє не тільки визначати їх реальний ТС, а і проводити прогнозування залишкового ресурсу, що є однією з важливих функцій технічної діагностики.

Порівняння значень ДП, отриманих завдяки використанню методів фізичного діагностування, та вихідних реакцій ЦП, доводить адекватність розроблених ДМ. Втім, показано, що при використанні методів функціонального діагностування визначення реального ТС цифрових пристроїв є утрудненим, що стає причиною їх непередбачуваних відмов.

Проведений аналіз проблем форсованих випробувань РЕК на надійність, в результаті яких були отримані залежності ДП від часу, а також

обґрунтоване їх використання для визначення та прогнозування технічного стану ЦП блоків РЕТ.

Обґрунтовані концептуальні основи отримання діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та її обробки в автоматизованій системі технічної діагностики з урахуванням результатів форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність.

2.1. Обґрунтування нових принципів розробки автономних автоматизованих систем технічної діагностики радіоелектронних блоків

Широке застосування останніх досягнень в області мікроелектроніки та інформаційних технологій в сучасній РЕТ одночасно передбачає розробку і використання сучасних ефективних АСТД радіоелектронних блоків. Проте, сьогодні немає єдиних підходів до створення таких систем. Крім того, не в повній мірі розроблені принципи отримання ДІ для автономних АСТД радіоелектронних блоків [72—76;161].

Забезпечення заданих експлуатаційно-технічних характеристик РЕТ засобами діагностування представляє собою єдиний процес, який охоплює всі основні етапи їх життя: проектування, виробництво і експлуатацію, а саме:

при розробці РЕТ надається можливість забезпечити його АСТД, яка повиненна відповідати висунутим вимогам;

при проектуванні встановлюється теоретична, а в процесі виготовлення і випробувань – фактична відповідність параметрів АСТД заданим вимогам;

після виготовлення параметри АСТД підтримуються правильною організацією експлуатації.

Отже, забезпечення заданих параметрів АСТД – це комплексна проблема, що охоплює широкий круг гносеологічних, наукових (математичних, фізико-хімічних, біологічних), інженерних (проектно-конструкторських, виробничо-технологічних, експлуатаційних) і

економічних аспектів. Вирішення цієї проблеми пов'язане з реалізацією численних організаційних і технічних, а часто і фундаментальних наукових досліджень, які вимагають великих витрат часу і коштів, а також стосується різних галузей науки і техніки.

Об'єкти РЕТ, для контролю яких призначена АСТД, складаються з широкого кола різноманітних радіоелектронних блоків, які побудовані за різними принципами та технологіями. Тому першим ефективним шляхом досягнення заданих характеристик АСТД є забезпечення єдиних підходів до методології отримання та обробки ДІ про ТС різних типів аналогових і цифрових блоків. Другий ефективний шлях забезпечення характеристик АСТД – це вдосконалення принципів організації і структури АСТД в процесі експлуатації.

У меншій мірі досліджені питання отримання ДІ для різних типів цифрових блоків. Проте ці питання повністю визначають контролепридатність РЕТ під якою відповідно до [71,72] розумітимемо пристосованість об'єкта до діагностування і здатність АСТД до оперативного виявлення відмов. Разом з тим, забезпечення контролепридатності апаратури при конструюванні і експлуатації за рахунок побудови оптимальної структури АСТД і організації її роботи приводить не тільки до скорочення простоїв, але і істотно підвищує ефективність РЕТ. Саме тому дослідження питань отримання та обробки ДІ повинно проводитися спільно з вивченням різних способів побудови АСТД і підвищення контролепридатності РЕТ.

Отже, можна зробити висновок про необхідність застосування системного підходу до забезпечення заданих параметрів АСТД радіоелектронної техніки. Тому цей підхід необхідно покласти в основу досліджень проблеми розробки методології отримання ДІ для автоматизованих систем технічної діагностики РЕТ. Такий підхід означає практичну реалізацію загального діалектичного методу пізнання стосовно вивчення складних технічних об'єктів. Системний підхід в широкому сенсі – це комплексний взаємозв'язаний розгляд всіх сторін і аспектів, етапів і

напрямів при рішенні різних задач практики, яким притаманні високий ступінь складності, невизначеності, багатоваріантності і цілісності [23,28].

З точки зору проблеми розробки методології отримання та обробки ДІ для АСТД радіоелектронної техніки, реалізація системного підходу означає комплексне використання методів, ДМ і тестів діагностування, вивчення загальних і часткових властивостей різних видів АСТД для отримання та обробки ДІ про стан різних типів аналогових і цифрових блоків.

Основні принципи системного підходу при розробці методології отримання ДІ для автономних АСТД в РЕТ можна сформулювати наступним чином [23,28].:

1. Принцип системного підходу.

Принцип дає змогу розглядати АСТД у комплексі з РЕТ, що дозволяє забезпечити максимум показника ефективності експлуатації РЕТ.

2. Принцип універсальності.

Він передбачає можливість отримання та обробки ДІ для різних типів схем (аналогових, аналогово-цифрових і цифрових) з визначеними часом і періодом контролю і приводити інформацію про їх ТС до одного вигляду.

3. Принцип ієрархічності.

Він визначає порядок отримання та обробки ДІ від загальних систем до окремих блоків та елементів в залежності від структури РЕТ та методів побудови АСТД.

4. Принцип неперервного розвитку системи.

Він передбачає можливість швидкої заміни алгоритмів роботи, постійного поповнення баз даних АСТД, а також введення нових критеріїв при прийнятті рішень.

5. Принцип адаптивності.

Він передбачає можливість змінювати структуру АСТД у визначених межах при їх реалізації у різних РЕТ.

6. Принцип забезпечення взаємного узгодження основних характеристик автономних АСТД з показниками надійності РЕТ, у яких ці АСТД застосовуються.

Він означає, що вимоги, які пред'являються до автономних АСТД обґрунтовуються, виходячи із забезпечення заданого рівня надійності РЕТ в цілому.

7. Принцип пропорційно-послідовного рішення всього комплексу взаємозалежних задач, що входять у досліджувану проблему.

Принцип передбачає рішення задач у строго визначеній логічній послідовності. При цьому більша увага приділяється найбільш важливим і найменш дослідженим питанням.

8. Принцип забезпечення цілісності щодо окремих етапів і задач.

Дослідження, які проводяться на різних етапах у рамках рішення загальної проблеми (вивчення властивостей аналогових і цифрових схем, спільний їх розгляд, дослідження методів отримання та обробки ДІ, експериментальна перевірка й практичне впровадження основних наукових результатів), підпорядковані єдиній меті. Отримані на окремих етапах результати, відіграючи підпорядковану роль із погляду досягнення загальної мети, разом з тим можуть становити й самостійний інтерес і впливати на процес дослідження.

9. Принцип зважених зусиль.

Він передбачає раціональний (оптимальний) розподіл зусиль (обмежених засобів) між методами отримання та обробки ДІ про ТС аналогових і цифрових блоків відповідно до реальних умов і допусків, при яких вирішуються задачі.

Як відомо, процес пізнання нової якості складного явища (інтеграція) нерозривно переплітається з процесом диференціації (декомпозиції), вивчення окремих сторін і властивостей цього явища з застосуванням найбільш ефективних засобів для його пізнання. Тому в основу комплексного дослідження процесу діагностування РЕТ вбудованих систем контролю

покладено метод окремого дослідження і аналізу складових задач в відповідності до викладених вище принципів і узагальнюючого синтезу отриманих результатів.

Виходячи з принципів, на яких повинні ґрунтуватись дослідження з вирішення проблеми, яка полягає у забезпеченні достовірного автоматичного діагностування РЕТ на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем технічного діагностики РЕТ, необхідно визначити загальний підхід до її рішення.

Об'єктами контролю АСТД є ЦП об'єктів РЕТ, які виконані у вигляді вузлів, плат і т.п. Їх основними РЕК є напівпровідникові прилади, ІМС третього та четвертого покоління, тощо.

Пропонується використовувати для діагностування енергодинамічний, енергостатичний і електромагнітний методи діагностування. Розробка цих методів стала можливою завдяки застосуванню інформаційних технологій до побудови ДМ, які враховують не тільки електрофізичні, але й фізико-хімічні властивості ЦП (РЕК), що відображають залежності ДП цифрових пристроїв в залежності від часу їх наробітку.

Розглянемо особливості використання методів фізичного діагностування.

2.2. Аналіз енергодинамічного методу діагностування цифрових пристроїв

Проведений аналіз методу показує, що він передбачає використання двох джерел ДІ [36,160]. Першим з них є параметр енергодинамічного процесу, другим - реакції на виході ЦП. При розробці метода була доведена можливість та доцільність використання спектральних характеристик значень параметрів енергодинамічного процесу в якості джерела ДІ, а також розроблена методика прийняття рішення про ТС цифрового пристрою, при цьому була використана теорія нечітких множин.

Представимо основні положення методу, при розробці якого були вирішені наступні задачі:

- вибір джерел та параметрів ДІ;
- розробка ДМ об'єкта діагностування;
- синтез методики формування ТП;
- вибір та обґрунтування механізму аналізу та оцінки ДІ за результатами впливу ТП;
- розробка методики, яка дозволяє визначати ТС об'єкта діагностування,
- дати характеристику ТС об'єкта діагностування та здійснити локалізацію елемента, який відмовив.

До параметрів ДІ відносяться амплітуда та тривалість імпульсів струму квазікороткого замикання, які характеризують перехідні процеси у шині електроживлення [36,77,78,160]. Вони виникають при перемиканні ЛЕ при їх переході з одного стану у протилежний.

Різномірність ДІ, з одного боку, дозволяє підвищити достовірність діагнозу, з іншого, ускладнює обробку ДІ. Зважаючи на це було запропоновано здійснювати обробку ДІ у частотній, а не часовій області. Розглянемо це детальніше у наступному підрозділі.

Аналіз параметрів енергодинамічного процесу у часовій області.

Проведені експерименти, результати яких представлені у роботах [36,77,78,160], показали, що визначення ТС об'єкта діагностування з використанням енергодинамічного методу діагностування у часовій області є ускладненим з деяких причин.

По-перше, коротка тривалість імпульсів енергодинамічного процесу ($\tau_u = 2...4$ нс), обумовлює необхідність наявності достатньо широкої смуги частот (до $2 \cdot 10^8$ Гц), що ускладнює побудову пристроїв селекції та підсилення для цього діапазону з рівномірною амплітудно-частотною та лінійною фазочастотною характеристиками.

По-друге, ємності, які встановлюють у ланцюгах електроживлення з метою придушення високочастотних імпульсних завад, викривляють форму сигналів, зменшуючи їх амплітуду, що в деяких випадках робить неможливим застосування даного метода.

По-третє, зважаючи на недосконалість приладів вимірювань з точки зору похибки при спрацьовуванні навіть 10 ЛЕ є великою ймовірність пропуску несправності.

Крім того, наявність імпульсів кратного спрацьовування знижує достовірність діагностування, що суттєво ускладнює ЗД та обробки ДІ.

Зазначені причини обумовлюють проведення отримання та обробки ДІ у частотній області [36,69], що дозволяє підвищити достовірність діагностування за рахунок наявності у кожній лінії спектра інформації про функцію на всьому періоді її зміни, що повністю відображає діагностичну “картину” у шині електроживлення.

Параметри енергодинамічного процесу при перемиканні елементів, виготовлених за різними технологіями, а саме транзисторно-транзисторній логіки, компліментарної метал-діелектрик-напівпровідник розглянуті у роботах [36,77,78,160].

Параметри енергодинамічного процесу при перемиканні ТТЛ-елементів.

В якості прикладу розглядається схема базового логічного ТТЛ-елементу “2 І-НІ” [36,70,79] (рис 2.1).

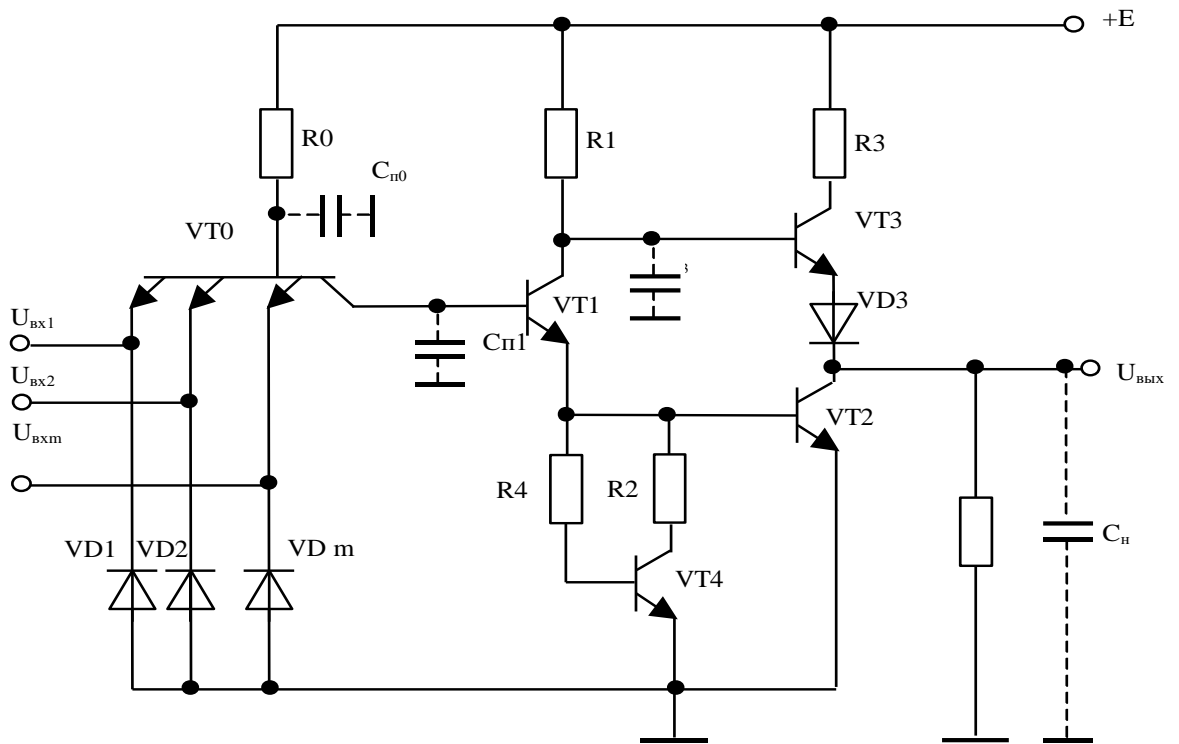


Рис. 2.1. Схема базового логічного ТТЛ-елемента “2I-НІ”

Аналітична модель сигналу у шині електроживлення має вигляд:

$$i(t) = \begin{cases} I^0_{\text{пот}}, & t < t_3; \\ \beta I_{\text{бз}} \frac{t}{\tau} + I^0_{\text{пот}}, & t_3 \leq t \leq t_4; \\ I_{\text{кн2}} \left(1 - 2,5 \frac{t}{\tau}\right) + I^1_{\text{пот}}, & t_4 < t \leq t_5; \\ I^1_{\text{пот}}, & t > t_5, \end{cases} \quad (2.1)$$

де β – коефіцієнт передачі струму для схем з загальним емітером;

$\tau = R1 \cdot C3$ – постійна часу наростання.

На першому етапі струм електроживлення дорівнює $I^0_{\text{пот}}$, в цей час елемент знаходиться у стані логічного нуля. На другому етапі відбувається відкриття транзистора $VT3$, а струм електроживлення збільшується за квазілінійним законом.

Відсутність третього етапу обумовлена тим, що транзистор $VT3$ не встигає увійти у режим насичення. Четвертий етап характеризується падінням значення струму за квазілінійним законом, а п'ятий етап встановившеся значення $I_{\text{пот.}}^1$.

Параметри енергодинамічного процесу при перемиканні логічного комплементарний метал діелектрик напівпровідник-елемента.

В якості прикладу [36,77,78] розглядається схема базового логічного комплементарний метал діелектрик напівпровідник-елемента “3 ІЛІ-НІ”, (рис 2.2). Епюри, які пояснюють роботу справного та несправного ЛЕ “3 ІЛІ-НІ” представлені на рис. 2.3 та рис. 2.4.

На рис. 2.5. представлена апроксимація імпульса струму у шині електроживлення ЛЕ “І-НІ”.

Аналітична модель сигналу у шині електроживлення має вигляд:

$$i(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } U_{\text{вх}} < U_{\text{оп}}; \\ \frac{b}{2}(U_{\text{вх}} - U_{\text{оп}})^2, & \text{при } U_{\text{оп}} \leq U_{\text{вх}} \leq U_{\text{кр}}; \\ I_{\text{мах}} - \frac{b}{2}(U_{\text{вх}} - U_{\text{оп}})^2, & \text{при } U_{\text{кр}} < U_{\text{вх}} \leq E - U_{\text{ор}}; \\ 0, & \text{при } U_{\text{вх}} > E - U_{\text{ор}}. \end{cases} \quad (2.2)$$

де

З представленого можна зробити висновок, що в комплементарних металах діелектриках напівпровідниках-елемента відбувається енергодинамічний процес, який полягає у короткотривалому збільшенні струму при перемиканні ЛЕ. Важливим є те, що імпульс струму існує як при перемиканні елементів із стану логічної “1” до стану логічного “0”, так і при зворотньому перемиканні, що доводить можливість використання енергодинамічного методу для визначення ТС цифрових пристроїв.

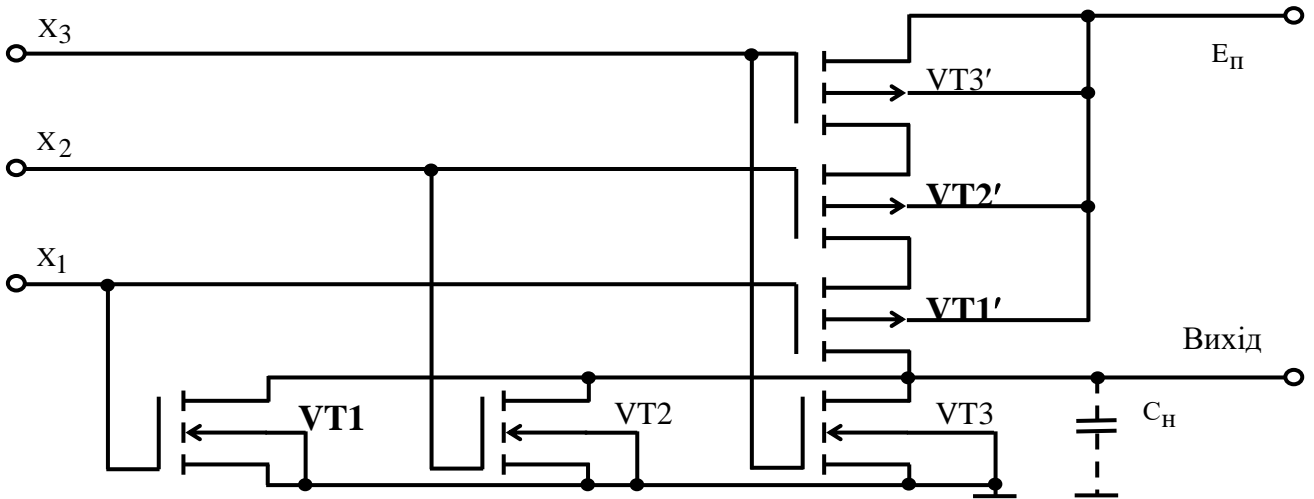


Рис. 2.2. Схема МДП-елемента “3 ІЛІ-НІ”

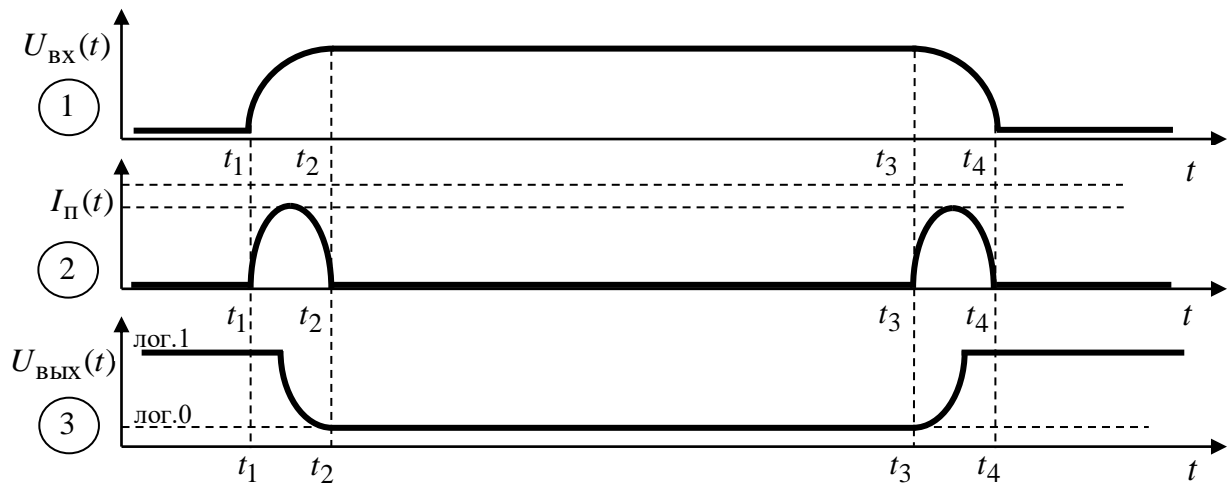


Рис. 2.3. Епюри, які пояснюють роботу справного ЛЕ “3 ІЛІ-НІ”

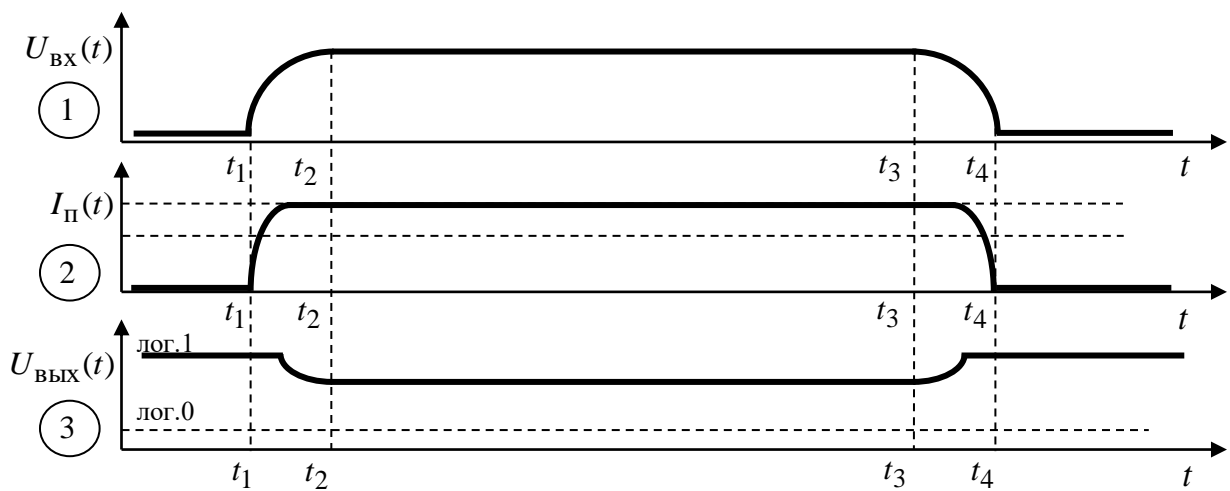


Рис. 2.4. Епюри, які пояснюють роботу несправного ЛЕ “3 ІЛІ-НІ”

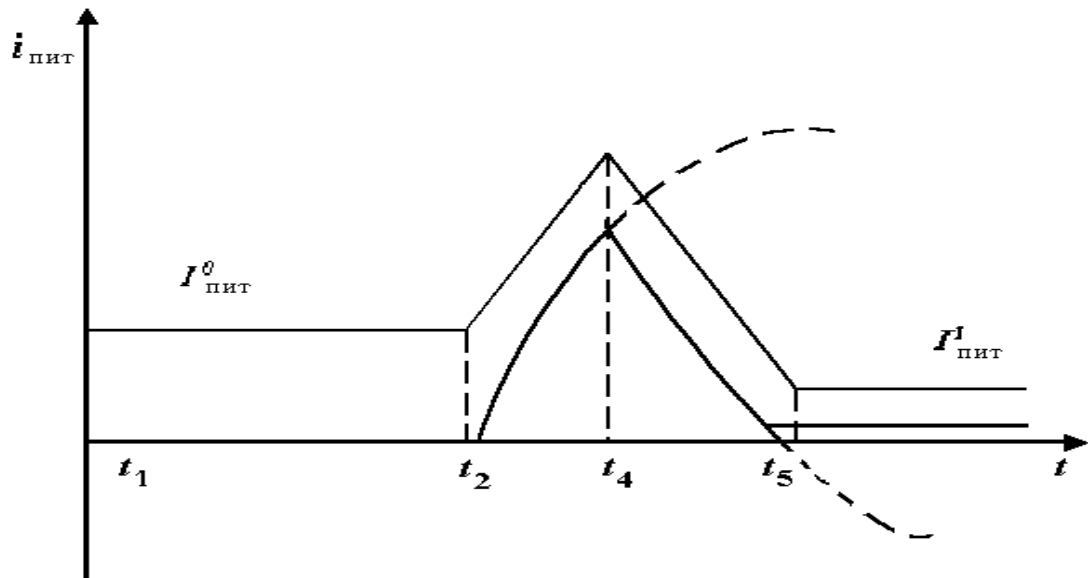


Рис. 2.5. Апроксимація імпульса струму у шині електроживлення ЛЕ “І-НІ”.

Пояснення роботи схем було представлено у роботі [36]. Далі представимо загальну модель поодинокого енергодинамічного імпульсу.

Загальна модель поодинокого енергодинамічного імпульсу. В роботі [36] було розглянуто пульсації струму у шині електроживлення, яка представлена на рис. 2.5. Для цього була використана еквівалентна схема ланцюга (рис. 2.6), в якому джерело електроживлення являє собою генератор струму з внутрішнім опором $R_{вн}$, баластним внутрішнім опором $R_{б.вн}$, індуктивністю $L_{вн}$, ємністю $C_{вн}$.

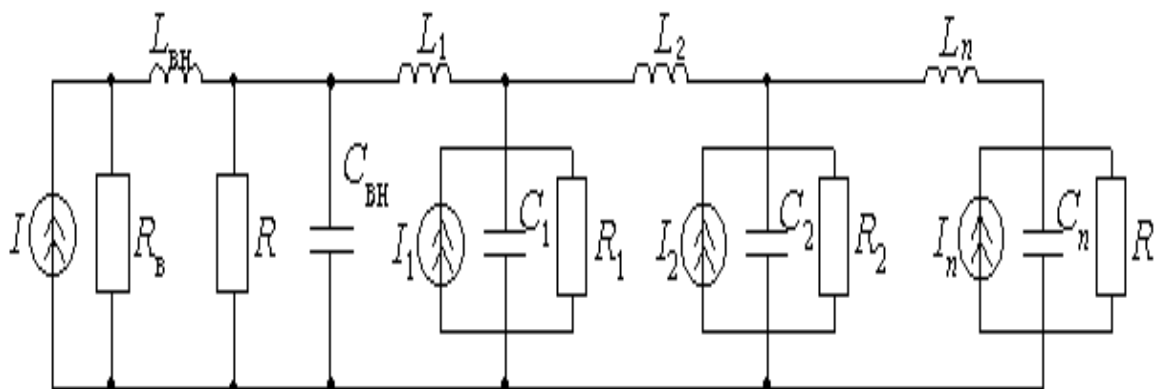


Рис. 2.6. Еквівалентна схема ланцюга

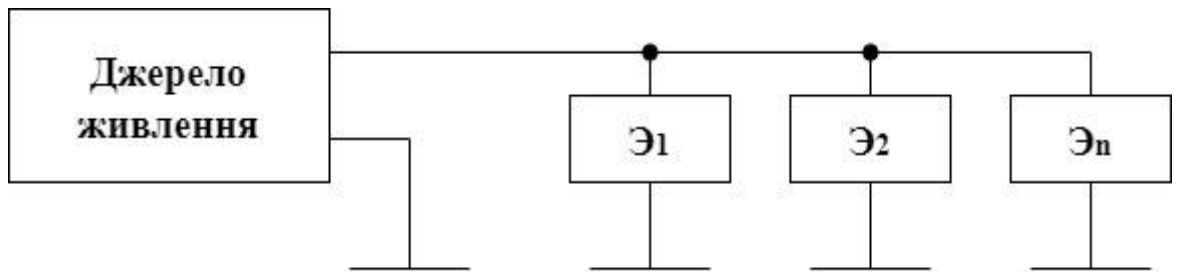


Рис. 2.7. Еквівалентна схема електроживлення

З аналізу рис. 2.7. видно, що елементи \mathcal{E}_i являють джерела електроживлення, які паралельно включені з контурами на основі R_i - C_i елементів. При цьому струми генераторів рівні імпульсам струму квазікороткого замикання (СККЗ). Опори, значення яких в загальному випадку є нелінійними і залежать від стану елементів, є внутрішніми опорами елементів відносно електроживлення. Призначення ємностей C_i полягає у придушенні високочастотних завад, а індуктивності L_i створені шинами електроживлення.

З огляду на викладене вище видно, що кожна комірка еквівалентної схеми - елемент \mathcal{E}_i являє собою коливальний контур (рис. 2.8) з залежним джерелом струму I_i . Частота власних коливань контуру визначається параметрами $L = L_{вн} + nL_i$; $C_j = C_i + C_{вн}$.

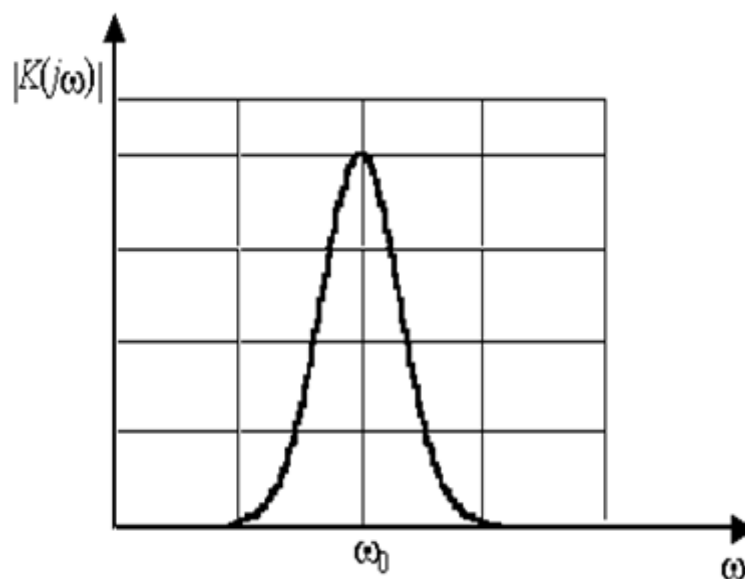


Рис. 2.8. Амплітудно-частотна характеристика контура

Амплітудно-частотна характеристика контура визначається за формулою (2.3):

$$|K_I(j\omega)| = \frac{I_m(\omega)}{I_m(\omega_0)} = \left[1 + Q^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}}, \quad (2.3)$$

має вигляд резонансної кривої, зображеної на рис. 2.8.

Зважаючи на коротку тривалість імпульси струму квазікороткого замикання, які виникають при перемиканні логічних елементів ТТЛ і комплементарних металах діелектриках напівпровідниках-елемента структур, займають широку смугу частот, приблизно до 120 МГц, при цьому форма амплітудно-частотного спектра приблизно однакова [36].

При надходженні імпульсів СККЗ на вхід коливального контуру з формою амплітудно-частотної характеристики, зображеної на рис. 2.7, їх форма буде згладжуватись та наближуватись до колоколоподібної. Аналітична модель імпульсів струму квазікороткого замикання може бути представлена у вигляді

$$S(t) = U_0 e^{-(at)^2}. \quad (2.4)$$

З викладеного можна зробити висновок, що графік функції співпадає з отриманими імпульсами енергодинамічного процесу при перемиканні логічних елементів ТТЛ і комплементарних металах діелектриках напівпровідниках-елементах структур та має вигляд, представлений на рис. 2.9. Визначення ТС логічних елементів, виготовлених за іншими технологіями, можливо з використанням енергодинамічного методу, що обумовлено аналогічною картиною, підтвердженою дослідженнями [36].

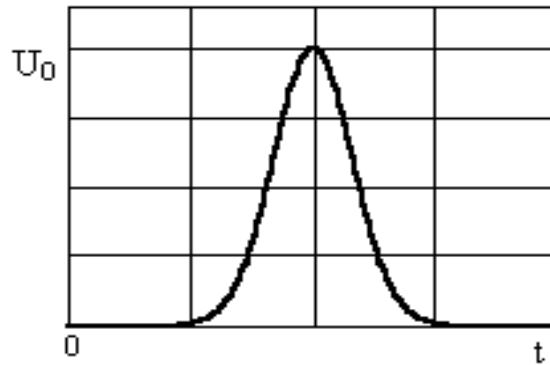


Рис. 2.9. Резонансна крива

Модель загального імпульсу енергодинамічного процесу [36;77,78] у шині електроживлення у часовій області має вигляд як на рис. 2.9. Така модель сигналу задовольняє умовам Дирихле та абсолютної інтегруємості, а спектральна щільність $S(j\omega)$ розраховується за допомогою прямого перетворення Фур'є:

$$S(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (2.5)$$

Спектральна щільність імпульсів струму квазікороткого замикання. Використовуючи перетворення Фур'є на основі моделі загального імпульсу енергодинамічного процесу у часовій області було отримано аналітичну модель імпульсу СККЗ у частотній області [36]:

$$S(t) = U_0 e^{-(\alpha t)^2};$$

$$S(j\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot e^{-j\omega t} dt = \frac{U_0}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\alpha t)^2} \cdot e^{-j\omega t} dt. \quad (2.6)$$

При заміні змінних $\alpha t = \tau$, отримаємо $t = \frac{\tau}{\alpha}$, $dt = \frac{1}{\alpha} d\tau$ та

$$S(j\omega) = \frac{U_0}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{\alpha} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\tau^2} \cdot e^{-j\frac{\omega}{\alpha}\tau} d\tau =$$

$$= \frac{U_0}{\alpha} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\tau^2} \cdot \cos\left(\frac{\omega}{\alpha}\tau\right) d\tau - j \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\tau^2} \sin\left(\frac{\omega}{\alpha}\tau\right) d\tau \right] = \frac{U_0}{\alpha} \cdot e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2}. \quad (2.7)$$

Цей вираз визначає спектральну щільність колоколоподібного імпульсу, яким апроксимується поодинокий імпульс енергодинамічного процесу. Імпульс впливу трансформується у ланцюг електроживлення, після чого диференціюється перехідними ланцюгами. Він є поодиноким сигналом, спектр якого розраховується за формулою [36]:

$$S(j\omega) = \frac{U \cdot \sqrt{\pi}}{2} \tau_{\text{и}} \cdot e^{\left(\frac{\omega\tau_{\text{и}}}{4}\right)^2} \cdot e^{j\pi}, \quad (2.8)$$

де множник $e^{j\pi}$ враховує від'ємну полярність імпульсів.

Імпульс СККЗ має значення на порядок більше, ніж максимальне значення модуля спектральної щільності імпульсу впливу. Крім того, ІС як напівпровідникові прилади, мають певний рівень шумів - теплові, дробові та низькочастотні.

Двум першим властивий рівномірний розподіл, тобто вони відносяться до “білого” шуму. Щільну частину його за значенням можна порівняти з імпульсами струму перемикавання логічного елемента.

Низькочастотні шуми займають дуже вузький спектр, їх фільтрація істотно не впливає на спектр імпульсів СККЗ.

З викладеного слідує, що між спектром імпульсів СККЗ, з одного боку, і спектрами імпульсів перемикавання, імпульсу впливу у шині електроживлення, та шумами, з іншого боку, є істотні відмінності, які дозволяють стійко селектувати імпульси СККЗ [36].

Практична ширина спектра імпульсів струму квазікороткого замикання. Зважаючи на те, що імпульси СККЗ мають нескінчений спектр [36,80], а пристрої селекції обмежену смугу пропускання, постало питання

селекції найбільш інформативної, з точки зору ДІ, частини спектра, яка визначається за двома критеріями: енергетичним та критерієм допустимих спотворень сигналу, що в більшості випадків приймають діапазон, в якому зосереджено 90% енергії. Це і обумовило використання першого критерію. Згідно [36,80,81] енергія сигналу у смузі частот від 0 до ω_1 , може бути визначена через спектральну щільність за формулою:

$$W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\omega_1} [S(j\omega)]^2 d\omega. \quad (2.9)$$

Спектральна щільність поодинокого колоколоподібного відеоімпульса, яким апроксимується енергодинамічний імпульс, має вигляд [36]:

$$S(j\omega) = \frac{U_0}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2}. \quad (2.10)$$

Підставивши вираз (2.10) в (2.9), отримаємо

$$W = \left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega. \quad (2.11)$$

Повна енергія поодинокого колоколоподібного відеоімпульса згідно рівності Парсеваля має вигляд:

$$W_0 = \int_{-\infty}^{\infty} [S(t)]^2 dt. \quad (2.12)$$

З урахуванням (2.12) маємо

$$W_0 = \int_{-\infty}^{\infty} [U_0(e^{-(\alpha t)^2})]^2 dt = U_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\sqrt{2}\alpha t)^2} dt = \frac{U_0^2}{\sqrt{2}\alpha} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(\sqrt{2}\alpha t)^2} d(\sqrt{2}\alpha t) = \frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}. \quad (2.13)$$

Функція $\Psi(\omega_1) = \frac{W}{W_0}$, визначає частину енергії колоколоподібного імпульсу, зосереджену у смузі частот від 0 до ω_1 , має вигляд

$$\Psi(\omega_1) = \frac{\left(\frac{U_0}{\alpha}\right)^2 \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega}{\frac{U_0^2}{\alpha} \sqrt{\frac{\pi}{2}}} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \int_0^{\omega_1} e^{-2 \cdot \left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2} d\omega. \quad (2.14)$$

При заміні $\frac{\omega}{\alpha} = z$, маємо $d\omega = \alpha \cdot dz$ та

$$\Psi(\omega_1) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \frac{\omega_1}{\alpha} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 2\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right), \quad (2.15)$$

де $\Phi\left(\frac{\omega_1}{\alpha}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\omega_1}{\alpha}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ – функція Лапласа.

На рівні 90% енергії імпульсу, яка відповідає тривалості колоколоподібного імпульсу, коефіцієнт форми визначається як [36]:

$$\alpha = \frac{1,65}{\tau_{\text{и}}}, \quad (2.16)$$

де $\tau_{\text{и}}$ – тривалість імпульсу.

Зважаючи на те, що тривалість імпульсів СККЗ у середньому складає 2,5 наносекунд, $\alpha = 4,71 \cdot 10^8$. Розрахунок показав, що у смузі частот от 0 до $\omega_1 = 756 \cdot 10^6$ рад/с зосереджено 90% енергії поодинокого колоколоподібного імпульсу, тому подальше збільшення практичної ширини спектра недоцільно [36]. Далі дана оцінка впливу зміни параметрів імпульсів СККЗ на їх амплітудно-частотний спектр, що необхідно для вибору діапазонів зміни ДП та налаштування функцій приналежності, та в подальшому буде використано в роботі інтелектуальної системи АСТД [161].

Аналіз впливу зміни тривалості імпульсів. Проведений аналіз спектра колоколоподібного імпульсу показав, що при збільшенні тривалості $\tau_{\text{и}}$ спектральна щільність при $\omega = 0$ збільшується, при цьому ширина спектра зменшується, а зменшення тривалості імпульсу призводить до зменшення

спектральної щільності при $\omega = 0$ та збільшенню ширини спектра [36]. Важливим є те, що в області довільно обраної частоти ω' є діапазон $\omega'' - \omega'''$, у межах якого зміна спектральної щільності в залежності від зміни $\tau_{и}$ є незначною. Цей діапазон має назву зони квазістаціонарності спектра і має практичний інтерес, що і обумовило його розрахунок.

Для визначення ширини зони квазістаціонарності в залежності від відносної зміни модуля спектральної щільності була знайдена частота ω' , на якій перетинаються огинаючі спектрів імпульсів з тривалостями $\tau_{и1}$ і $\tau_{и2}$ ($\tau_{и1} < \tau_{и2}$) [36]. З цією метою у вираз (2.16) була введена тривалість імпульса при умові, що вимірювання проводиться на рівні U_0/e . При цьому $\alpha = 2/\tau_{и}$, де α - масштабний коефіцієнт.

Вираз (2.16) буде перетворений у

$$S_1(j\omega) = \frac{U_0\tau_{и}}{2} e^{-\frac{\omega^2\tau^2}{16}}. \quad (2.17)$$

Для частоти ω' виконується умова

$$\frac{U_0\tau_{и1}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega'\tau_{и1})^2}{16}} = \frac{U_0\tau_{и2}}{2} \cdot e^{-\frac{(\omega'\tau_{и2})^2}{16}}. \quad (2.18)$$

Після перетворень, отримуємо:

$$\omega' = 4 \sqrt{\frac{\ln \frac{\tau_{и1}}{\tau_{и2}}}{\tau_{и2} - \tau_{и1}}}. \quad (2.19)$$

Абсолютне значення модулів спектральних щільностей

$$\Delta S(j\omega) = |S_2(j\omega)| - |S_1(j\omega)| = \frac{U_0}{2} \left[\tau_{и2} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и2})^2}{16}} - \tau_{и1} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и1})^2}{16}} \right]. \quad (2.20)$$

Далі представлений розрахунок [36] відношення $\Delta S(j\omega)$ до середнього арифметичного величин $S_1(j\omega)$ і $S_2(j\omega)$ за допомогою виразу:

$$\frac{\Delta S(j\omega)}{S_2(j\omega) + S_1(j\omega)} = 2 \cdot \frac{\tau_{и2} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и2})^2}{16}} - \tau_{и1} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и1})^2}{16}}}{\tau_{и2} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и2})^2}{16}} + \tau_{и1} e^{-\frac{(\omega'\tau_{и1})^2}{16}}} = \xi. \quad (2.21)$$

Після перетворень останнього виразу, отримаємо

$$\frac{1 - \frac{\tau_{и1}}{\tau_{и2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{и1}^2 - \tau_{и2}^2)}{16}}}{1 + \frac{\tau_{и1}}{\tau_{и2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{и1}^2 - \tau_{и2}^2)}{16}}} = \frac{\xi}{2}. \quad (2.22)$$

Прийнявши $x = \frac{\tau_{и1}}{\tau_{и2}} \cdot e^{-\frac{\omega^2(\tau_{и1}^2 - \tau_{и2}^2)}{16}}$, отримаємо $\frac{1-x}{1+x} = \frac{\xi}{2}$.

Останній вираз відносно ω має вигляд

$$\omega'', \omega''' = \sqrt{\omega'^2 + 16 \frac{\ln\left(\frac{2+\xi}{2-\xi}\right)^{\pm 1}}{\tau_{и2}^2 - \tau_{и1}^2}}. \quad (2.23)$$

Він дозволяє оцінити діапазон частот $\omega'' - \omega'''$, в межах якого зміна тривалості імпульсу від $\tau_{и1}$ до $\tau_{и2}$ призведе до відносної зміни модуля спектральної щільності на задане число відсотків [36].

Аналіз зміни амплітуди імпульсів. Для реалізації енергодинамічного методу діагностування підсистеми селекції та кодування ДІ пристрої діагностування мають мати багаторівневу структуру [36,82], що дозволяє виявити паралельне спрацьовування декількох ЛЕ втім, але такі рішення ускладнюють побудову пристроїв.

Аналіз зміни спектрів сигналів у шині електроживлення при одночасному спрацьовуванні одного, двох або k ЛЕ, ввімкнутих паралельно (випадок накладання імпульсів) показав, що гранична частота розраховується за формулою

$$\omega_{гр} = 0,52 \cdot \pi \cdot \alpha.$$

Модуль спектральної щільності для границі спектра $\omega_{гр}$, визначається як [36]:

$$|S(\omega_{гр1})| = \frac{U}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{гр1}}{2\alpha}\right)^2} = \frac{U}{\alpha} e^{-(0,26 \cdot \pi)^2}. \quad (2.24)$$

Сумарний імпульс для випадку паралельного спрацьовуванні двох елементів визначається виразом:

$U_2(t) = 2Ue^{-(\alpha t)^2}$, а спектральна щільність його має вигляд:

$$S_2(j\omega) = 2 \frac{U}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega}{2\alpha}\right)^2}. \quad (2.25)$$

Даному рівню спектральної щільності (2.24) відповідає гранична частота, яка визначається за формулою:

$$\frac{U}{\alpha} e^{-(0,26 \cdot \pi)^2} = \frac{2U}{\alpha} e^{-\left(\frac{\omega_{гр2}}{2\alpha}\right)^2}. \quad (2.26)$$

Звідки

$$\omega_{гр2} = 2\alpha \sqrt{\ln 2 + (0,26 \cdot \pi)^2}. \quad (2.27),$$

а для одночасного спрацьовування k елементів (2.27) має вигляд:

$$\omega_{грk} = 2\alpha \sqrt{\ln k + (0,26 \cdot \pi)^2}. \quad (2.28)$$

У таблиці (2.1) представлені значення $\omega_{грk}$ для $\tau_u = 3,5$ [36].

Таблиця 2.1

Значення граничної частоти $\omega_{грk}$, в залежності від k

k	1	2	3	4	5	6	7
$\omega_{грk} \cdot 10^8$, рад/с	6,53	9,33	11,92	13,38	15,01	17,0	18,9

Дані розрахунків свідчать, що при зростанні k збільшується граничне значення $\omega_{грk}$, а різниця між сусідніми значеннями $\omega_{гр}$ складає не менше 20%, що дозволяє стійко розрізняти спектри для різних значень k . Така ДІ

дозволяє здійснити перехід від k -рівневої амплітудної обробки до однорівневої частотно-спектральної обробки сигналів у шині електроживлення.

Отже, зміна параметрів імпульсів СККЗ відображається на їх спектрі, що доцільно використовувати при виборі діапазонів зміни ДП і налаштувань функцій приналежності.

Далі представлений алгоритм визначення технічного стану ЦП [36,83]:

1. Формування матриці знань, яка містить експертну інформацію про ТС цифрового пристрою.

2. Фіксація значень параметрів ДІ $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$, в якості якої виступають параметри імпульсів СККЗ і значення вихідних реакцій для ЦП, що перевіряються (після надходження на вхід ЦП перевірочних тестів).

3. Визначення значень функцій приналежності при фіксованих значеннях параметрів x_i^* , $i = \overline{1, n}$.

4. Обчислення значень функцій приналежності $\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ за формулою (2.29) при векторі параметрів стану ЦП $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ для всіх рішень d_1, d_2, \dots, d_m .

5. Визначення рішення d^* , для якого

$$\mu^{d^*}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*) = \max_{j=1, m} [\mu^{d_j}(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)]. \quad (2.29)$$

6. Схвалення рішення, що вираз (2.29) відповідає ДІ про ТС цифрового пристрою з вектором параметрів $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$.

Алгоритм визначення значень $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ вихідної змінної d за заданим вектором значень вхідних параметрів $X^* = \langle x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^* \rangle$ і матрицею знань дозволяє знайти рішення $d = f_d(x_1, x_2, \dots, x_n)$, яке, у свою чергу, дозволяє визначити ТС цифрового пристрою і локалізувати дефектні елементи.

Метод дозволяє проводити КТС, виявляти та локалізувати дефектні

елементи ЦП на глибині не відновлювального елемента. Метод використовує два джерела ДІ на структурному і функціональному рівнях, що дозволяє спростити процес отримання ДІ, зменшити кількість КТ і, як наслідок, скоротити часові й апаратні витрати на локалізацію дефектних елементів ЦП. Прийняття рішення про технічний стан ЦП здійснюється на основі отриманої ДІ з використанням теорії нечітких множин, а обробка ДІ і локалізація дефектних елементів здійснюються з використанням спектрального аналізу.

Висновок

Проведений аналіз енергодинамічного методу діагностування показав, що значення ДП, яким є напруга в шині електроживлення ЦП, змінюється з часом, яка відбиває залежність ДП від часу, отримана у результаті проведених форсованих випробувань РЕК на надійність [49], що можна використовувати для визначення реального технічного стану ЦП на різних етапах його “життєвого циклу”. Крім того, за значенням ДП з достатньо високою достовірністю можна проводити прогнозування ТС та визначати залишковий ресурс ЦП.

Переваги енергодинамічного методу та обробки ДІ з урахуванням результатів форсованих випробувань РЕК (цифрових пристроїв) формують новий підхід до виконання функцій технічної діагностики та є потужним інструментом для неї. Він суттєво відрізняється від функціонального, застосування якого дозволяє визначати ТС в даний момент часу, після чого відмови відбуваються через непередбачуваний час, що ускладнює проведення прогнозування та визначення залишкового ресурсу ЦП.

Викладене вище, дозволяє зробити висновок про необхідність та доцільність використання енергодинамічного методу діагностування з результатами форсованих випробувань РЕК (цифрових пристроїв) та створює сприятливі умови для побудови АСТД [161], робота якої дозволяє забезпечити з заданою ймовірністю вимоги керівних документів щодо надійності та ремонтпридатності об'єктів РЕТ.

2.3. Аналіз енергостатичного методу діагностування цифрових пристроїв

Проведений аналіз енергостатичного методу [54;84-86;160-162] діагностування показав доцільність його використання для визначення технічного стану ЦП на різних етапах його “життєвого циклу”. Розглянемо детальніше сутність, призначення, особливості та переваги даного методу.

На рис. 2.9. представлена схема ЦП з додатковим опором, яка пояснює сутність енергостатичного методу. Вона полягає у оцінці значення ДП на зазначеному опорі, яке вимірюється у сталому режимі.

Структурно ЦП являє собою плату, на якій розміщена певна кількість ІС. Як приклад, на рис. 2.10. наведена схема цифрового пристрою, який складається з двох ІС. Кожен вихід ІС в сталому режимі формує сигнал певного рівня, логічного “0” – U^0 або логічної “1” – U^1 .

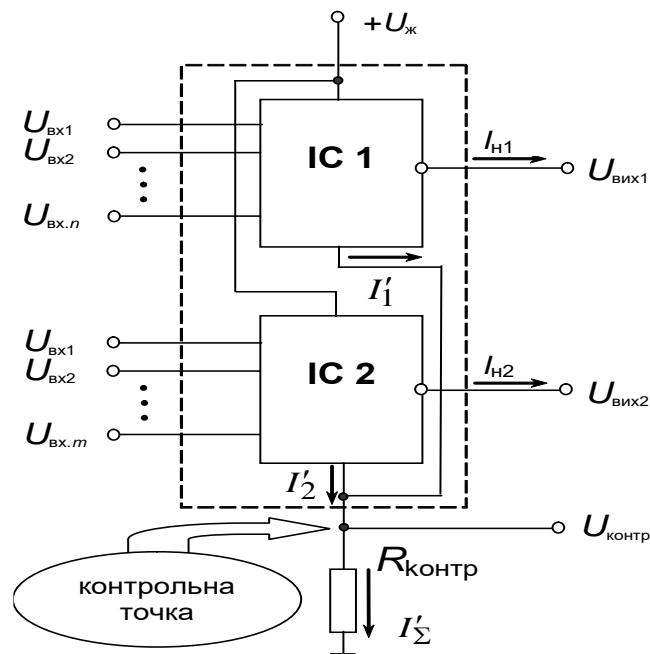


Рис. 2.10. Структурна схема цифрового пристрою.

При увімкненні в розрив корпусної шини електроживлення додаткового опору $R_{контр}$ дані значення сигналів транспортуються у відповідні значення сигналів у КТ [70]. Значення напруги на контрольному опорі

залежить від багатьох факторів, основними з яких є внутрішня структура ІС, структура самого ЦП та значення додаткового опору. Часові характеристики (тривалість і частота повторення) сигналів на додатковому опорі практично збігаються з часовими характеристиками сигналів на виході ІС.

При виході з ладу ІС зі складу ЦП або логічного елемента ІС вони перестають перемикатися (константна несправність) або змінюються їх перемикальні функції (несправності типів „коротке замикання”, „переплутування” та інверсні), на їх виходах рівні сигналів відрізняються від рівнів сигналів справної ІС або ЛЕ. Ці рівні з кожного виходу ІС транспортуються у визначений фіксований рівень у КТ. Це дає можливість контролювати працездатність ІС, подавши на її входи тестові впливи, оцінити значення напруги в КТ, порівняти ці значення з розрахованим для працездатного стану ІС та зробити висновок про її справність [70].

Отже, математично й експериментально доведено, що дефект у ЦП призводить до зміни значення параметрів сигналів на його виході і в КТ, тобто виконуються умови прояву та транспортування дефекту в КТ.

При розробці методу для виділення стійких коливань виникла суперечність при виборі значення $R_{\text{контр}}$. З однієї сторони, опір необхідно збільшувати для отримання якомога більшої амплітуди імпульсів та перевищення їх над шумами, а з другої – зменшувати, оскільки значне збільшення опору шини заземлення призводить до зниження завадостійкості цифрових ІС [70]. Ця задача була розв’язана при такому значенні $R_{\text{контр}}$:

$$R_{\text{контр}} \leq 0,1R_{\Sigma \text{ ЦП}},$$

де $R_{\Sigma \text{ ЦП}} = R_{\text{ЦП}} + R_{\text{контр}}$, $R_{\text{ЦП}}$ – динамічний опір цифрового пристрою (ЦП), а $R_{\Sigma \text{ ЦП}}$ – загальний опір ЦП, до корпусної шини якої підключений додатковий опір.

Далі представленні етапи розробки ДМ базового логічного елемента транслятора ВІС ТТЛ структури в сталому режимі, навантаженого на n елементів (навантажень) [70].

Аналіз фізичних процесів в елементі І-НІ з додатковим опором показав:

1. У випадку, коли на виході складного інвертора підтримується рівень U^1 , транзистори $VT1$, $VT2$, $VT4$ закриті, а транзистор $VT3$ відкритий. Через $R_{\text{контр}}$ протікають струми витоку транзисторів $VT2$, $VT4$, струми $I_{\text{к1}}$ і $I_{\text{н}}^1$. Струмом $I_{\text{к1}}$, що надходить у базу $VT3$, можна зневажити тому що $R1 \gg R3$. Струми витоку розраховуються за формулою [70,87]:

$$I_{\text{вит}} = I_{\text{к від}} \frac{1 - \alpha_N}{1 - \alpha_N \alpha_I} + I_{g0\text{із}}, \quad (2.30)$$

де $I_{\text{к від}}$ – струм відсічення колектора;

α_N – коефіцієнт передачі струму емітера транзистора в нормальному активному режимі ($\alpha_N \approx 0,95 \dots 0,98$);

α_I – коефіцієнт передачі струму колектора транзистора в нормальному активному режимі,

$I_{g0\text{із}}$ – струм генерації в ізолюючому переході [70,87]. Струми витоку транзисторів, які перебувають у відсіченні, дуже малі, тому ними також можна зневажити. Значення струму $I_{\text{н}}^1$ визначається [70,87]:

$$I_{\text{н}}^1 = \frac{\beta'_I (E - U^*)}{R0}. \quad (2.31)$$

Отже, з урахуванням (2.30), величина спадання напруги на опорі $R_{\text{контр}}$ визначається

$$U_{\text{контр}}^1 = (I_{\text{вит2}} + I_{\text{вит4}} + I_{\text{к}}^1) R_{\text{контр}} + I_{\text{н}}^1 R_{\text{контр}} \approx \frac{\beta'_I (E - U^*)}{R0} R_{\text{контр}}. \quad (2.32)$$

2. У випадку, коли на виході складного інвертора підтримується рівень U^0 , транзистори $VT1$, $VT2$, $VT4$ відкриті, а транзистор $VT3$ закритий. Через $R_{\text{контр}}$ протікають наступні струми: $I_{\text{бн2}}$, $I_{\text{кн4}}$, $I_{\text{бн4}}$ які визначається згідно (2.32), і струм $I_{\text{кн2}}$, що визначається виразом (2.31). Сумарний струм $I_{\text{контр}}$ дорівнює [70]:

$$I_{\text{контр}} = I_{\text{бн2}} + I_{\text{кн4}} + I_{\text{бн4}} + I_{\text{кн2}}.$$

Використовуючи вираз (2.32), величина спадання напруги на опорі

$R_{\text{контр}}$ дорівнює:

$$U_{\text{контр}}^0 = (I_{\text{бн1}} + I_{\text{кн1}} + I_{\text{н}}^0) R_{\text{контр}}. \quad (2.33)$$

Користуючись виразами (2.31, 2.32, 2.33) одержимо значення напруги в КТ, коли на виході ЛЕ підтримується значення U^0 , яке дорівнює

$$U_{\text{контр}}^0 = \left(\frac{(1 + m\beta_1')(E - 3U^*)}{R0} + \frac{E - U^*}{R1} + I_{\text{н}}^0 \right) R_{\text{контр}}. \quad (2.34)$$

На підставі розглянутих фізичних процесів можна визначити енергетичні характеристики вихідного каскаду на виході і в КТ $R_{\text{контр}}$ базового логічного елемента транслятора ВІС ТТЛ структури [70,84,88]. Логічні рівні вихідного каскаду на підставі (2.33, 2.34) визначаються наступним виразом

$$\begin{cases} U_{\text{вих}}^0 = U_{\text{ке2}} + I_{\text{н}}^0 r_{\text{кк}}, \\ U_{\text{вих}}^1 = E - 2U^*. \end{cases} \quad (2.35)$$

Значення напруги в КТ, на підставі (2.32, 2.35), які відповідають логічним рівням на виході ЛЕ дорівнюють:

$$\begin{cases} U_{\text{контр}}^0 = \left(\frac{(1 + m\beta_1')(E - 3U^*)}{R0} + \frac{E - U^*}{R1} + I_{\text{н}}^0 \right) R_{\text{контр}}, \\ U_{\text{контр}}^1 = \frac{\beta_1'(E - U^*)}{R0} R_{\text{контр}}. \end{cases} \quad (2.36)$$

Коли вихід базового елемента навантажений на декілька навантажень (рис. 2.12), (вихід приєднаний до декількох елементів – навантажень $DD1 - DDn$, де n - кількість навантажень) то, коли на виході елемента сигнал низького рівня U^0 в схему логічного елемента надходять струми $I_{\text{н}}^0$ від усіх n елементів – навантажень, (рис. 2.12 а), тоді

$$I_{\text{н}\Sigma}^0 = \sum_{i=1}^n I_{\text{н.і.}}^0 = \sum_{i=1}^n I_{\text{вх.і.}}^0, \quad (2.37)$$

де $I_{\text{вх}}^0$ – значення вхідного струму, що витікає з навантаження при $U_{\text{вх}} = U^0$ [48].

Значення $I_{\text{ВХ}}^0$, згідно [70], визначається

$$I_{\text{ВХ}}^0 = \frac{[1 + (m - m_0)\beta_I'](E - U^*)}{m_0 R_0}. \quad (2.38)$$

Коли на виході логічного елемента присутній рівень сигналу високого рівня U^1 , (рис. 2.11 б), з схеми витікає струм високого рівня $I_{\text{Н}}^1$, що надходить на n входів елементів – навантажень, Отже,

$$I_{\text{Н}\Sigma}^1 = \sum_{i=1}^n I_{\text{Н}.i}^1 = \sum_{i=1}^n I_{\text{ВХ}.i}^1, \quad (2.39)$$

де $I_{\text{ВХ}}^1$ – значення вхідного струму, що втікає в навантаження при $U_{\text{ВХ}}=U^1$ [70, 89]. Значення $I_{\text{ВХ}}^1 = I_{\text{Н}}^1$ визначається згідно (2.38) [70,87].

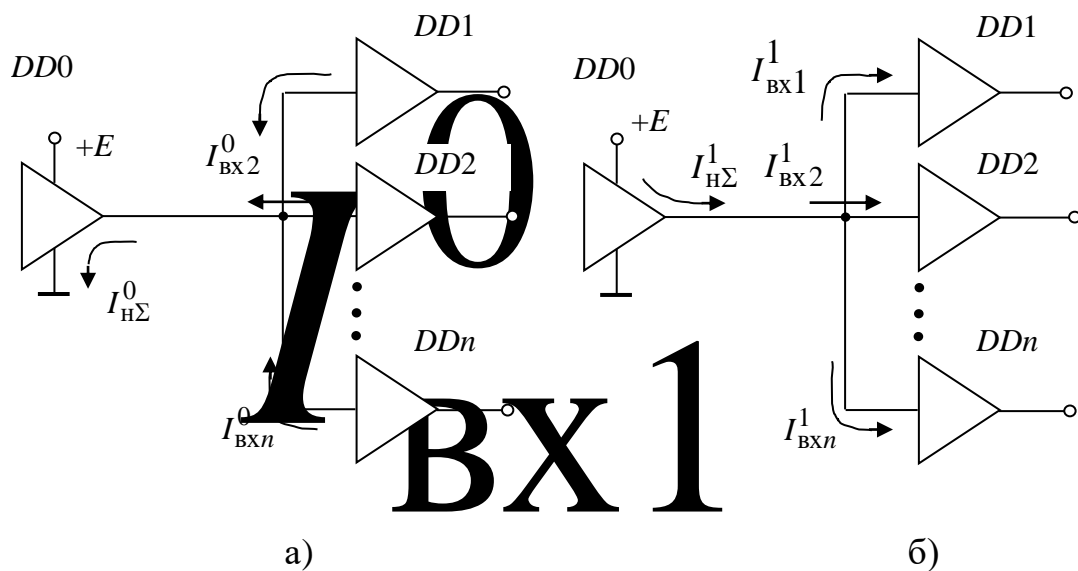


Рис.2.11. Розподіл струмів на виході транслятора:

а) при низькому вихідному логічному рівні; б) при високому логічному рівні.

На основі (2.41, 2.42, 2.43, 2.44) отримаємо значення напруги в КТ:

$$\left\{ \begin{aligned} U_{\text{контр}}^0 &= \left(\frac{(1+m\beta'_I)(E-3U^*)}{R0} + \frac{E-U^*}{R1} + \sum_{i=1}^n \frac{[1+(m_i-m_{0i})\beta'_{Ii}](E-U^*)}{m_{0i}R0_i} \right) R_{\text{контр}}; \\ U_{\text{контр}}^1 &= \left(\sum_{i=1}^n \frac{\beta'_{Ii}(E-U^*)}{R0_i} \right) R_{\text{контр}}. \end{aligned} \right. \quad (2.40)$$

Отже, вирази (2.40, 2.41) являють собою ДМ базового логічного елемента транслятора ВІС ТТЛ структури в сталому режимі, що навантажений на одне навантаження.

Вирази (2.40, 2.45) є ДМ базового логічного елемента транслятора ВІС ТТЛ структури в сталому режимі, навантаженого на n елементів (навантажень).

Дані ДМ описують взаємозв'язок рівнів сигналів на виході ЛЕ і рівня сигналу в КТ залежно від кількості навантажень з яким з'єднаний даний ЛЕ [90,91].

Вона необхідна для визначення ДП на етапі експлуатації. Кінцевою метою розробки даної моделі є отримання аналітичного виразу, за допомогою якого можна визначити значення ДП у КТ при тестовому впливі, коли ЦП знаходиться в сталому режимі.

При розробці ДМ був реалізований новий підхід до опису ЦП, сутність якого полягала в тому, що інформаційна частина ЦП була побудована на основі використання передавальних функцій алгоритмів перетворення інформації, а не на основі структурного методу. При цьому ЦП функціонально розглядався як цифрова система, яка реалізує певний алгоритм перетворення інформації. Структура ЦП подібна внутрішній структурі ВІС, тому спочатку була розроблена ДМ цифрової ВІС, а потім діагностична модель ЦП.

Побудова ДМ для ВІС була проведена в 3 етапи [70,84,88,90].:

- 1) проаналізовано внутрішню структуру ВІС і виділення її підсистем з точки зору енергетичних характеристик та визначення груп змінних;
- 2) проведення декомпозиції ВІС на модулі;
- 3) синтез ДМ.

На першому етапі на основі аналізу внутрішньої структури ВІС були виділені її підсистеми. З огляду на енергетичні характеристики найбільш енергонасиченими підсистемами є вхідні і вихідні транслятори, а найменш – елементи внутрішньої структури. З іншої сторони, вхідні і вихідні транслятори можуть бути представлені як аперіодичні динамічні ланки, а елементи внутрішньої структури – у вигляді функціонального перетворювача. У вигляді пропорційної динамічної ланки був представлений опір $R_{\text{контр}}$, примусово ввімкнений у корпусну шину і на якому транспортується значення напруги з виходів ВІС.

Змінні величини досліджуваної цифрової системи (ВІС) були представлені трьома групами:

- 1) вхідними змінними, які впливають на роботу системи; U_l ($l = 1, 2, \dots, s$),
- 2) змінними стану, що характеризують динаміку системи x_k ($k = 1, 2, \dots, r$);
- 3) вихідними змінними $y_{\text{контр}}$, яка виділялась на додатковому опорі, примусово ввімкненому у корпусну шину.

Змінні U_l , x_k , $y_{\text{контр}}$ є функціями часу, а оскільки в роботі розглядаються цифрові пристрої, а значення на їх входах і на виході змінюються тільки в дискретні моменти часу, які залежать від періоду дискретизації – T , то в даному випадку $U_l(t)|_{t=nT} = U_l[nT]$, $x_k(t)|_{t=nT} = x_k[nT]$ і $y_{\text{контр}}(t)|_{t=nT} = y_{\text{контр}}[nT]$, де n – відносний момент часу ($n = 0, 1, 2, \dots$), nT – дискретний час.

Множина всіх значень, які може прийняти вектор входу $\mathbf{U}(t_0, nT) = [U_1(t_0, nT), U_2(t_0, nT), U_s(t_0, nT)]$ у момент часу $t = nT$, утворює простір входу системи; множина всіх значень, які може прийняти вектор стану $\mathbf{x}(t_0, nT) = [x_1(t_0, nT), x_2(t_0, nT), x_r(t_0, nT)]$ в момент часу $t = nT$, утворює простір стану системи; а вихідна величина $y_{\text{контр}}(t) = y_{\text{контр}}[nT]$ у момент часу $t = nT$, утворює скаляр вектора виходу та являє собою простір виходу системи. В кожний момент часу $t = nT$ стан системи визначається вектором $\mathbf{x}(nT)$, який є функцією вектора початкового стану $\mathbf{x}(t_0)$ і вектора входу $\mathbf{U}(t_0, nT)$, а саме:

$$\mathbf{x}[nT] = F[\mathbf{x}(t_0); \mathbf{U}(t_0, nT)]. \quad (2.41)$$

Вектор виходу $y_{\text{контр}}[nT]$ також є функцією $\mathbf{x}(t_0)$ і вектора входу $\mathbf{u}(t_0, nT)$ і може бути визначений таким чином [70]:

$$y_{\text{контр}}[nT] = G[\mathbf{x}(t_0); \mathbf{U}(t_0, nT)]. \quad (2.42)$$

На другому етапі проводиться декомпозиція ВІС на модулі [70]. Однією з основних складових частин ВІС є функціональний перетворювач, який являє собою інформаційно-управляючу систему, що здійснює обробку даних згідно з заданим алгоритмом і передає результати на вихідні транслятори.

Отже, з одного боку, функціональний перетворювач доцільно умовно поділити на дві підсистеми: інформаційну і управляючу. За допомогою інформаційної підсистеми здійснюється передача, прийом, обробка і зберігання даних. Управляюча підсистема здійснює такі функції: каналізує інформаційні потоки згідно з алгоритмом обробки через модулі інформаційної підсистеми, генерує управляючі сигнали, необхідні для роботи інформаційної підсистеми, а також формує сигнали для взаємодії ВІС із зовнішнім середовищем.

З другої сторони, функціональний перетворювач можна представити у

вигляді сукупності функціонально-завершених вузлів [70]. В подальшому такі вузли разом з вхідними та вихідними трансляторами будемо називати *модулями*. Вони не взаємодіють один з одним безпосередньо, а функціонують у рамках чітко означеної структури міжмодульних зв'язків. Кожний модуль характеризується групою передавальних функцій $K_{Mi}(z, \varepsilon)$, де i – номер модуля. Вибір передавальної функції залежить від управляючих сигналів, які приходять по шині управління на управляючу підсистему.

Функціональний перетворювач можна розглядати як дискретний перетворювач, який перетворює вхідну послідовність чисел $u[n]$ у вихідну $y[n]$ відповідно до закладеної програми обчислень, що являє собою алгоритм перетворення інформації, який може бути описаний різницеvim рівнянням (2.43)

$$y[n] = a_0 u[n] + a_1 u[n-1] + \dots + a_m u[n-m] - b_1 y[n-1] - \dots - b_v y[n-v], \quad (2.43)$$

де $u[n]$ – відома дискретна функція у відносному масштабі часу;

$y[n]$ – шукана дискретна функція, яка є розв'язком різницевого рівняння, у відносному масштабі часу;

$a_0, a_1, \dots, a_m, b_1, b_2, \dots, b_v$ – коефіцієнти різницевого рівняння, що характеризують алгоритм, який виконує перетворювач.

В операторній формі різницеve рівняння (2.43) прийме вигляд [70]:

$$(1 + b_1 z^{-1} + \dots + b_v z^{-v}) Y(z) = (a_0 + a_1 z^{-1} + \dots + a_m z^{-m}) U(z). \quad (2.44)$$

З виразу (2.44) визначаємо передавальну функцію дискретного перетворювача:

$$K_D(z) = \frac{a_0 z^v + a_1 z^{v-1} + \dots + a_m z^{v-m}}{b_0 z^v + b_1 z^{v-1} + \dots + b_v}. \quad (2.45)$$

Для урахування часу проходження сигналу через дискретний перетворювач до складу функціонального перетворювача необхідно додати елемент запізнення з передавальною функцією;

$$K_3(p) = e^{-\tau p}, \quad (2.46)$$

де τ – величина запізнення.

Після декомпозиції функціонального перетворювача на модулі з урахуванням вхідних і вихідних трансляторів і додаткового опору алгоритмічна схема ВІС при діагностуванні енергостатичним методом [70] матиме вигляд, показаний на рис. 2.12.

На третьому етапі здійснюється синтез діагностичної моделі ВІС. По алгоритмічній схемі (рис. 2.13) визначаються передавальні функції (ПФ) модулів. З урахуванням ПФ вхідних і вихідних трансляторів, дискретного перетворювача (2.46) та елемента запізнення (2.45) узагальнена передавальна функція ВІС, яка є об'єднанням ПФ усіх модулів по реалізації певного алгоритму, визначається згідно з виразом (2.47).

Для рішення системи рівнянь (2.47) побудуємо схему ВІС у змінних стану (рис. 2.12.).

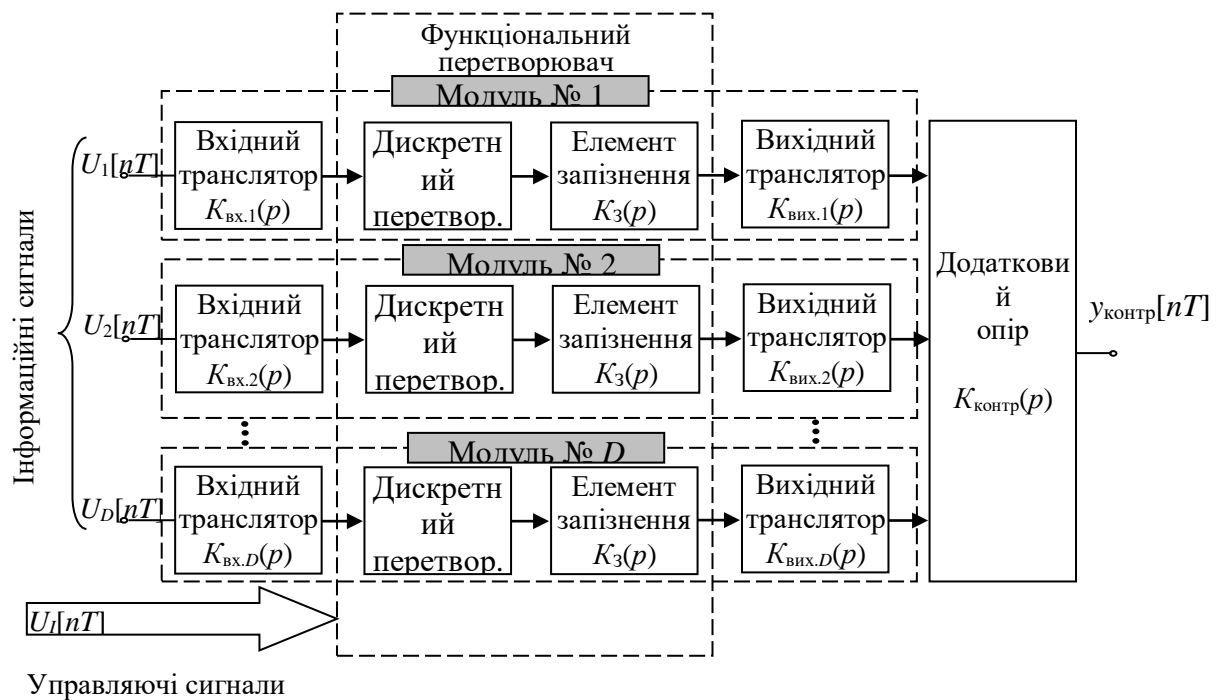


Рис. 2.12. Алгоритмічна схема ВІС при діагностуванні енергостатичним методом

$$K_{\text{BIC}}(z, \varepsilon) = \begin{cases} K_{\text{M1}}(z, \varepsilon) = \frac{A_0^{(1)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+2} + A_1^{(1)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+1} + A_2^{(1)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^v + \dots + A_m^{(1)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+2} + A_{m+1}^{(1)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+1}}{B_0^{(1)}z^{v+2} + B_1^{(1)}z^{v+1} + B_2^{(1)}z^v + \dots + B_{v+1}^{(1)}z + B_{v+2}^{(1)}}, \\ K_{\text{M2}}(z, \varepsilon) = \frac{A_0^{(2)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+2} + A_1^{(2)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+1} + A_2^{(2)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^v + \dots + A_m^{(2)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+2} + A_{m+1}^{(2)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+1}}{B_0^{(2)}z^{v+2} + B_1^{(2)}z^{v+1} + B_2^{(2)}z^v + \dots + B_{v+1}^{(2)}z + B_{v+2}^{(2)}}, \\ \vdots \\ K_{\text{Mi}}(z, \varepsilon) = \frac{A_0^{(i)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+2} + A_1^{(i)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+1} + A_2^{(i)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^v + \dots + A_m^{(i)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+2} + A_{m+1}^{(i)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+1}}{B_0^{(i)}z^{v+2} + B_1^{(i)}z^{v+1} + B_2^{(i)}z^v + \dots + B_{v+1}^{(i)}z + B_{v+2}^{(i)}}, \\ \vdots \\ K_{\text{MD}}(z, \varepsilon) = \frac{A_0^{(D)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+2} + A_1^{(D)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v+1} + A_2^{(D)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^v + \dots + A_m^{(D)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+2} + A_{m+1}^{(D)}(\varepsilon, \bar{\tau})z^{v-m+1}}{B_0^{(D)}z^{v+2} + B_1^{(D)}z^{v+1} + B_2^{(D)}z^v + \dots + B_{v+1}^{(D)}z + B_{v+2}^{(D)}}. \end{cases} \quad (2.47)$$

Рівняння стану даної ВІС [70] було знайдено із схеми у змінних стану (рис.2.12). В якості змінних стану оберемо виходи елементів затримки та позначимо їх через $x_q^{(i)}$, де i – номер модуля. У матричній формі ці рівняння матимуть вигляд:

$$\mathbf{x}[nT + T] = \mathbf{A}\mathbf{x}[nT] + \mathbf{B}\mathbf{U}[nT], \quad (2.48)$$

$$\mathbf{y}_{\text{контр}}[nT] = \mathbf{C}\mathbf{x}[nT] + \mathbf{D}\mathbf{U}[nT], \quad (2.49)$$

де \mathbf{A} – матриця коефіцієнтів; \mathbf{B} – матриця управління входу; \mathbf{C} – матриця спостереження; \mathbf{D} – матриця обходу системи.

Рівняння (2.48, 2.49) – це система неоднорідних різницьових рівнянь першого порядку. Їх рішення містять дві складові – вільну та змушену. Перша залежить від динаміки системи і початкового значення вектора змінних стану $\mathbf{x}[n_0T]$. Друга залежить також від матриці \mathbf{A} і вектора вхідних діянь $\mathbf{U}[nT]$. Необхідно перетворити систему неоднорідних різницьових рівнянь (2.48, 2.49) в однорідну. Для цього вхідні впливи були представлені у змінних стану та схема ВІС була розглянута сумісно із схемою в змінних стану вхідних впливів. Тоді, з урахуванням передавальної функції $K_{\Phi}(p)$ формувального елемента, вихідний сигнал якого являє собою послідовність прямокутних імпульсів, система однорідних різницьових рівнянь визначається [70]:

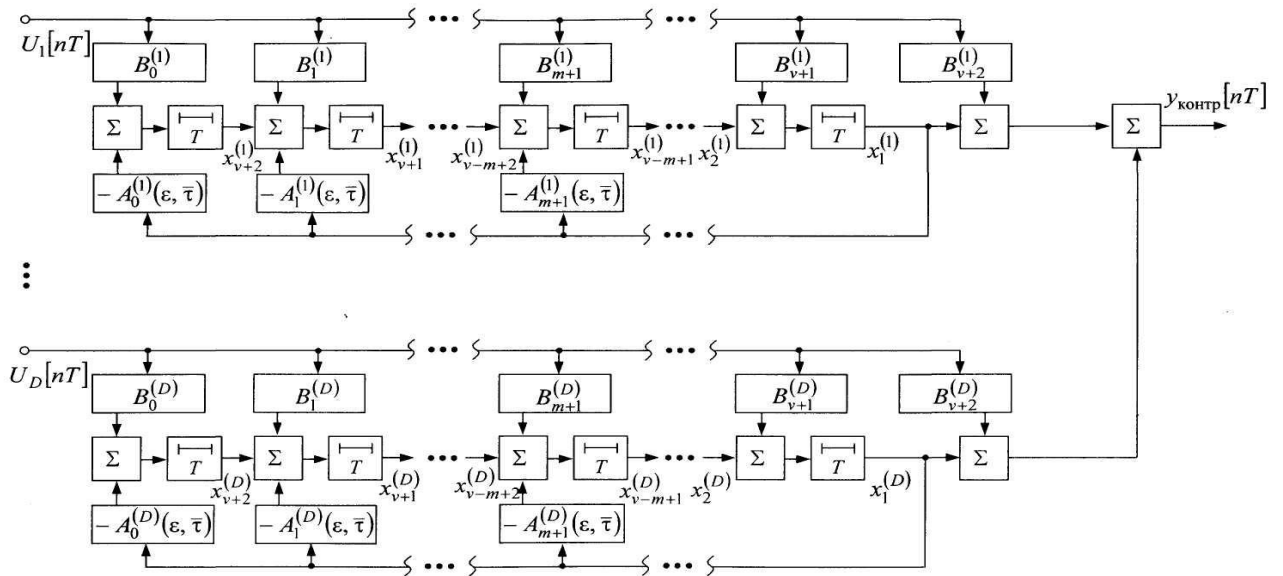


Рис. 2.13. Велика інтегральна схема у змінних стану

$$\mathbf{x}[nT + T] = \mathbf{A}_p \mathbf{x}[nT], \tag{2.50}$$

$$\mathbf{y}_{\text{контр}}[nT] = \mathbf{C}_p \mathbf{x}[nT], \tag{2.51}$$

де \mathbf{A}_p – розширена матриця коефіцієнтів, \mathbf{C}_p – розширена матриця виходу,

$$\mathbf{A}_p = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 & B_{v+1}^{(1)} & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ -A_0^{(1)} & 0 & \dots & 0 & B_0^{(1)} & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & \dots & 0 & B_{v+1}^{(D)} & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & -A_0^{(D)} & 0 & \dots & 0 & B_0^{(D)} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & -e^{-\tau_i p} & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & -e^{-\tau_i p} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{C}_p = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & B_{v+2}^{(1)} & 0 & \dots & 1 & 0 & \dots & 0 & B_{v+2}^{(D)} & 0 \end{pmatrix}$$

Рішення рівняння (2.50) при початкових умовах $\mathbf{x}[n_0T]$ знайдемо шляхом ітерацій і індукції. В результаті послідовного застосування ітерацій одержимо:

$$\mathbf{x}[nT] = \mathbf{A}_p^{(n-n_0)} \mathbf{x}[n_0T]; \quad n \geq n_0. \quad (2.52)$$

Позначимо $\mathbf{A}_p^{(n-n_0)} = \mathbf{\Phi}[(n-n_0)T]$, тоді рівняння (2.52) прийме такий

вигляд:

$$\mathbf{x}[nT] = \mathbf{\Phi}[(n-n_0)T] \mathbf{x}[n_0T]; \quad n \geq n_0. \quad (2.53)$$

Матриця $\mathbf{\Phi}[(n-n_0)T] = \mathbf{A}_p^{(n-n_0)}$ – це матриця переходу.

Використовуючи рівняння (2.51, 2.53), отримаємо вихідний вектор ВІС у КТ:

$$\mathbf{y}_{\text{контр}}[nT] = \mathbf{C}_p \mathbf{\Phi}[(n-n_0)T] \mathbf{x}[n_0T]; \quad n \geq n_0. \quad (2.54)$$

Вираз (2.54) – це діагностична модель ВІС, яка дозволяє аналітичним шляхом визначити напругу в КТ.

ЦП побудовані так, щоб вирішувати, встановлені для даного зразка ЦП задачі, шляхом виконання певної кількості команд з числа команд ЦП.

Складовими елементами ЦП можуть бути як прості логічні елементи (лічильники, дешифратори й інші), так і ВІС (мікропроцесори, мікроконтролери та інші). З іншого боку ЦП являє собою функціонально завершений вузол, і його структура подібна внутрішній структурі ВІС. Входи ЦП можна поділити на входи даних і входи управління. В залежності від вхідних сигналів, ЦП реалізує певний алгоритм перетворення інформації, яка прийшла на його входи даних. Отже, ДМ цифрового пристрою аналогічна діагностична модель ВІС, та її можна представити виразом [70]

$$\mathbf{y}_{\text{контр ТЕЗ}}[nT] = \mathbf{C}_{p \text{ ТЕЗ}} \mathbf{\Phi}_{\text{ТЕЗ}}[(n-n_0)T] \mathbf{x}[n_0T]; \quad n \geq n_0. \quad (2.55)$$

Для визначення значення напруги в КТ, була знайдена розширена матриця $\mathbf{C}_{p \text{ ТЕЗ}}$, матриця переходу $\mathbf{\Phi}_{\text{ТЕЗ}}[(n-n_0)T]$ і простір стану [70].

Ці матриці залежать від алгоритму перетворення інформації, від стану, в якому знаходився ЦП у попередні моменти часу та від інформації, яка надійшла на входи даних. Зважаючи на те, що дані матриці безпосередньо залежать від структури ЦП та змінюються з кожним тактом, для їх визначення був запропонований такий алгоритм [70]:

1. Декомпозиція ЦП на підвузли. Під підвузлом розуміємо мінімальну функціонально завершену складову частину ЦП (ЛЕ, ІС, ВІС).
2. Визначення всіх передавальних функцій підвузлів ЦП.
3. Складання алгоритмічної схеми ЦП.
4. Складання схеми ЦП у змінних стану.
5. Складання розширеної схеми ЦП у змінних стану.
6. Визначення системи різницевих рівнянь у змінних стану.
7. Визначення розширених матриць $\mathbf{A}_{p\text{ТЕЗ}}$ і $\mathbf{C}_{p\text{ТЕЗ}}$.
8. Визначення матриці переходу $\Phi_{\text{ТЕЗ}}[(n - n_0)T] = \mathbf{A}_{p\text{ТЕЗ}}^{(n - n_0)}$.
9. Визначення простору стану: $\mathbf{x}[nT] = \Phi[(n - n_0)T]\mathbf{x}[n_0T]$, $n \geq n_0$.

Зробивши розрахунки за наведеним алгоритмом, можна визначити реакцію ЦП у КТ на певний вхідний тестовий вплив.

Метод призначений для діагностування ЦП на першому рівні СТОіР – на рівні експлуатації об'єкту РЕТ. Глибина діагностування – ЦП.

Проте, це не виключає можливості його використання для уточнення ТС на другому рівні СТОіР – у РО.

Перевагами методу є:

- простота його реалізації,
- використання значення одного ДП,
- зменшення часу контролю технічного стану ЦП та об'єму апаратної частини,
- відносно невелика вартість ПД, який реалізує енергостатичний метод діагностування.

Висновок

Проведений аналіз енергостатичного методу діагностування показав, що значення ДП, яким є напруга на додатково включеному опорі у корпусну шину ЦП, змінюється з часом, що відбиває залежність ДП від часу, отримана у результаті проведених форсованих випробувань ЦП на надійність [84-87] та

може бути використана для визначення реального технічного стану ЦП на різних етапах його “життєвого циклу”. Крім того, значення ДП дозволяє проводити прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу ЦП.

Переваги енергостатичного методу та обробки ДП з урахуванням результатів форсованих випробувань ЦП формують новий підхід до виконання функцій технічної діагностики та є потужним інструментом для неї. Він суттєво відрізняється від функціонального, застосування якого дозволяє визначати ТС в даний момент часу, після чого відмови відбуваються через непередбачуваний час, що зумовлює складність проведення прогнозування та визначення залишкового ресурсу ЦП.

Викладене вище, дозволяє зробити висновок про необхідність та доцільність використання енергостатичного методу діагностування з результатами форсованих випробувань ЦП та створює сприятливі умови для побудови АСТД [161], робота якої дозволяє забезпечити з заданою ймовірністю вимоги керівних документів щодо надійності та ремонтпридатності об'єктів РЕТ.

Далі розглянемо електромагнітний метод діагностування.

2.4. Аналіз електромагнітного методу діагностування цифрових пристроїв

Проведений аналіз методу показує [92-97;165-167], що він передбачає використання в якості ДП значення напруги у антенному пристрої, який накладається на ЦП. Однією з особливостей метода є універсальність, яка полягає в можливості його використання для вирішення двох функцій технічної діагностики: визначення ТС цифрового пристрою, а також для здійснення локалізації несправних елементів. Але незважаючи на одну і ту ж природу ДП, для вирішення задач обох функцій ПД мають конструктивну різницю. Відмінним при цьому є ОД з точки зору його глибини діагностування як одного з параметрів. Крім того, для вирішення другої

функції необхідно застосування інших ПТ та умовного алгоритму діагностування.

Ідея методу діагностування полягає у визначенні значення напруги імпульсів, наведених у антені, накладеній на ЦП [92-97]. При цьому використовується властивість зміни електромагнітного поля навколо ЦП [165-167], яке виникає внаслідок перемикання ЛЕ радіоелектронного компоненту ЦП. Послідовність відеоімпульсів, наведених у антенному пристрої, являє собою ДІ. На основі порівняння її з еталоною приймається рішення про ТС цифрового пристрою. Для визначення ТС багатьох технічних систем використовується тестове або функціональне діагностування [8]. Перше передбачає подачу на вхід ОД спеціально генерованих послідовностей сигналів – тестів діагностування. Друге здійснюється під час функціонування об'єкта, на який подаються тільки робочі впливи.

При проведенні тестового або функціонального діагностування ДІ знімається з вихідних контактів ЦП у вигляді ДП. Специфічним є не тільки використання виходу схеми ЦП, а і те, що при різних станах напівпровідникових структур з точки зору виродження кристалів вихідні реакції будуть відповідати справному стану ЦП. Це доводить те, що рішення задач прогнозу ТС, а також визначення залишкового ресурсу ЦП з використанням методів тестового або функціонального діагностування, є ускладненим.

Представимо задачі, які розв'язані при розробці основних положень методу:

1. Вибір джерел ДІ та ДП.
2. Синтез методики формування ТП.
3. Розрахунок електричного струму.
4. Розрахунок електромагнітного поля.
5. Розрахунок потужності випромінювання вихідного ланцюга логічного елемента РЕК цифрового пристрою.
6. Розрахунок електрорушійної сили, наведеної у антенному пристрої.

7. Розробка ДМ об'єкта діагностування.

Пояснення особливостей електромагнітного методу [165-167] потребує деталізації кожної задачі.

Шлях рішення першої задачі обумовлений декількома причинами. Однією з них є властивість електромагнітного випромінювання при перемиканні ЛЕ цифрових РЕК, що, у свою чергу, обумовило вибір приймального пристрою. При діагностуванні ЦП використовується антена, яка накладається на нього, при розв'язанні задачі локалізації несправного елемента використовуються антенне поле [93,94], при цьому антени накладаються на кожний РЕК, як показано на структурній схемі випробувального стенду, зображеній на рис. 2.14.

Для формування ТП імпульсів, які надходять на вхід ЦП або ІМС, використовується генератор імпульсів. Для забезпечення електроживлення ІМС цифрового пристрою, було використано стабілізоване джерело електроживлення. Для візуального спостереження сигналів і виміру їх параметрів, використовувався осцилограф. Для проведення експерименту використовувалися наступні засоби [98]: генератор імпульсів, осцилограф С1–93, джерело електроживлення з робочою напругою +5В, струмом навантаження 1 А, коефіцієнтом стабілізації 500.

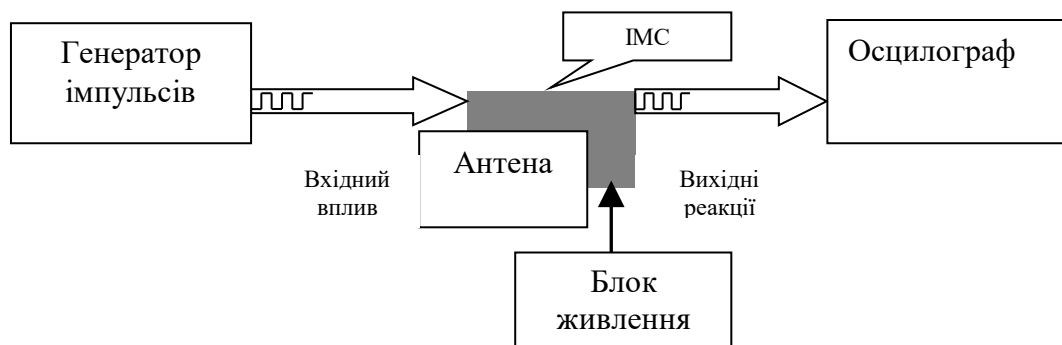


Рис. 2.14. Структурна схема випробувального стенду

У результаті проведених досліджень деяких типів ІМС у моменти перемикання ЛЕ були отримані осцилограми імпульсів у антенних пристроях, які представлені на фотографіях 2.1., 2.2., 2.3.

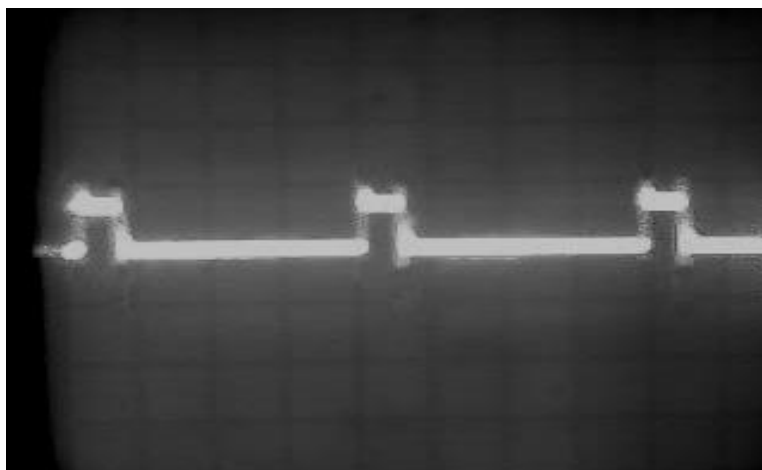


Фото 2.1. Сигнал у антенному пристрої при перемиканні одного ЛЕ

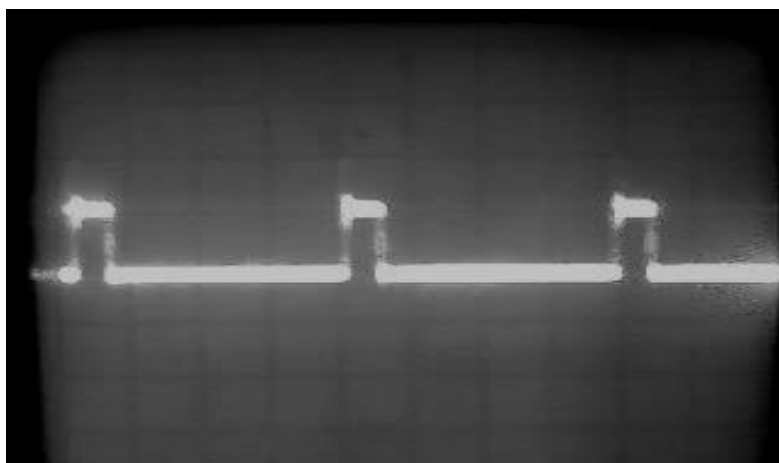


Фото 2.2. Сигнал у антенному пристрої при перемиканні трьох ЛЕ, з'єднаних послідовно

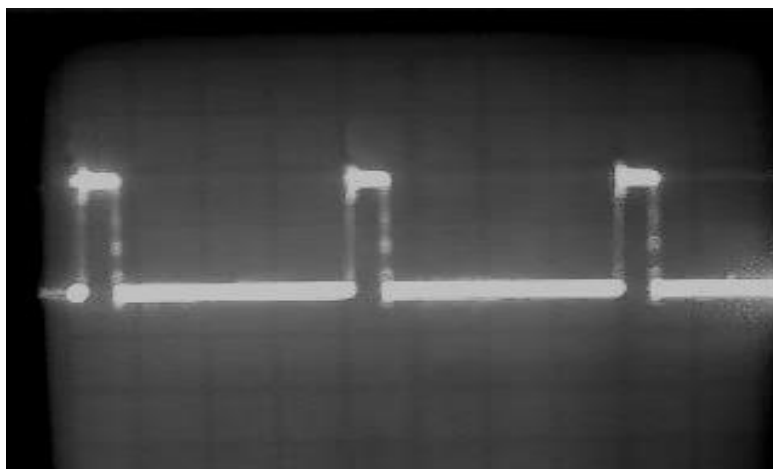


Фото 2.3. Сигнал у антенному пристрої при перемиканні трьох ЛЕ, з'єднаних паралельно

В результаті експерименту були отримані дані про параметри імпульсів на виходах ІМС і в антенному пристрої. Вимірювалися наступні параметри: рівень сигналу логічної “1” - U^1 і рівень сигналу логічного “0” - U^0 на виходах ІМС, а також значення напруги сигналу $U_{\text{контр}}^1$ і $U_{\text{контр}}^0$ - в антенному пристрої. Амплітуда і частота вхідного сигналу вибиралися у відповідності з паспортними даними для кожного типу ІМС. Досліджувалися справні ІМС і ВІС. Результати вимірів – незалежні.

Розрахунок електричного струму вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної мікросхеми. Рішення задачі діагностування, пошуку і локалізації дефектних РЕК цифрових пристроїв представляється можливим за умови використання нових методів. При використанні запропонованого методу діагностування треба розрахувати струм [99], який виникає у антенному пристрої, котрий є ДП. Для його визначення вихідний ланцюг ЛЕ подаємо у вигляді моделі випромінювача. Він являє собою прямолінійний провід, у середину якого ввімкнутий кристал, котрий і є джерелом випромінювання. Довжину такого симетричного вібратора можна порівняти з довжиною хвилі коливань у основній частині спектру випромінюваних частот. За допомогою використання об’ємного інтегралу формули Кірхгофа можна визначити поле випромінювача [99]:

$$u = \frac{1}{4\pi} \int g(x) \frac{e^{-j\beta r}}{r} dV_{\partial} \quad (2.56)$$

де u – шукана складова поля;

V_{∂} – об’єм діполя;

$g(x)$ – параметр, який характеризує джерела поля;

r – відстань від джерела поля до точки спостереження.

Розрахунок складових поля згідно формули (2.56) на практиці достатньо складний за наявності труднощів інтегрування при нерівномірному

розподілі джерел поля по довжині вібратора. Щоб уникнути такої ситуації був використан метод суперпозиції [100].

Реальний вібратор (рис. 2.15.) з реальним розподілом джерел поля розділений на ряд елементарних ділянок довжиною $l \ll \lambda$ [100].

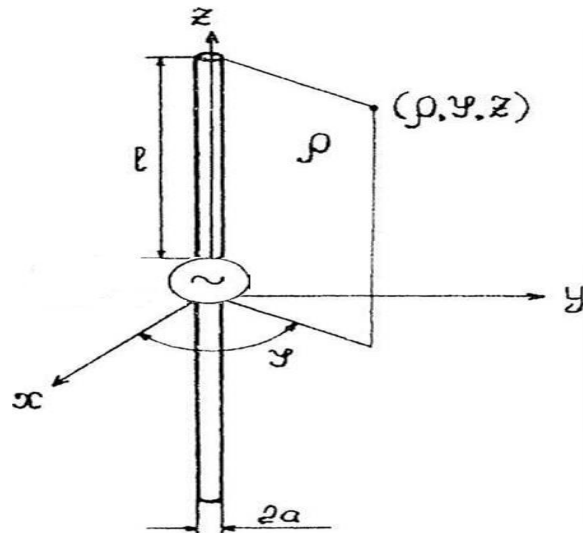


Рис. 2.15. Модель симетричного вібратора

На такій ділянці (елементарному вібраторі) струм можна вважати постійним. Тоді, при розрахунку поля функцію $g(x)$ в формулі (2.49) можна винести за знак інтегралу, що суттєво полегшує інтегрування. Поле в точці спостереження визначається шляхом векторного добутку полів усіх елементарних ділянок. Для цього необхідно знати струм у кожній точці вібратора. Вирішимо задачу визначення струму в симетричному вібраторі, довжину якого можна порівняти з довжиною хвилі. В подальшому припустимо, що радіус проводу вібратора задовольняє умові:

$$2ln \frac{2l}{a} \gg 1, \quad (2.57)$$

і малий в порівнянні з довжиною хвилі, так що:

$$\beta = \frac{2\pi a}{\lambda} \ll 1, \quad (2.58)$$

де a – діаметр провідника.

Для проводу з малим поперековим перерізом інтеграл за об'ємом можна замінити інтегралом за довжиною. Рівняння для вектора напруженості електричного поля має вигляд [100]:

$$\vec{E} = -J\omega \vec{A} - J \frac{\text{grad div } \vec{A}}{\omega \varepsilon \mu} = -J\omega \vec{A} - J \frac{C^2}{\omega} \nabla \left(\nabla \vec{A} \right), \quad (2.59)$$

де

$$\vec{A} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-l}^l \frac{I e^{-j\beta r}}{r} dl. \quad (2.60)$$

Так як струм на всіх елементах проводу спрямований уздовж вісі Z , то вектор \vec{A} буде мати тільки складову [100] A_Z :

$$A_Z = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_{-l}^l \frac{I_{Z1} e^{-j\beta r}}{r} dz_1, \quad (2.61)$$

де $r = \sqrt{\rho^2 + (z - z_1)^2}$,

z_1 – координата елемента dz_1 зі струмом I_{Z1} .

Тоді складова напруженості поля уздовж поверхні провідника буде мати вигляд:

$$\vec{E}_Z = -j\omega A_Z - j \frac{C^2}{\omega} \frac{\partial^2 A_Z}{\partial Z^2} = -j \frac{\omega}{\beta^2} \left(\frac{\partial^2 A_Z}{\partial Z^2} + \beta^2 A_Z \right), \quad (2.62)$$

де $\beta = \frac{\omega}{C}$.

Якщо прийняти, що провід вібратора має ідеальну провідність, тоді на його поверхні дотична складова поля повинна дорівнювати нулю $E_Z = 0$. Виняток складає тільки точка $Z = 0$, в якій ввімкнутий кристал, котрий є джерелом електрорушійної сили з напругою U_A . Це означає що, для усіх точок проводу, за винятком точки $Z = 0$, маємо:

$$\frac{\partial^2 A_Z}{\partial Z^2} + \beta^2 A_Z = 0. \quad (2.63)$$

Розв'язання однорідного диференційного рівняння другого порядку має вигляд [99]:

$$A_Z = -\frac{j}{C}(C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z), \quad (2.64)$$

де C_1 і C_2 – довільні сталі,

$-\frac{j}{C}$ – модуль, введений для зручності розрахунку. Стала C_2

визначається із умови, що в точці $Z = 0$ потенціал має стрибок, рівний напрузі джерела з протилежним знаком. Рівняння (2.55) навколо точки $Z = 0$ має вигляд:

$$E_Z = -\frac{j\omega}{\beta^2} \left(\frac{\partial^2 A_Z}{\partial Z^2} + \beta^2 A_Z \right) \neq 0, \quad (2.65)$$

що відповідає рівнянню:

$$\frac{d\left(\frac{dA_Z}{dZ}\right)}{dZ} + \beta^2 A_Z = -\frac{j\beta^2}{\omega} E_Z. \quad (2.66)$$

Так як для симетричного вібратора виконується умова [100]:

$$I(Z) = qI(-Z),$$

то

$$A_Z(Z) = A_Z(-Z). \quad (2.67)$$

Інтегруючи (2.5) відповідності з теорією функцій Гріна [99,100] отримаємо:

$$\frac{dA_Z}{dZ} \Big|_{z=-0}^{z=+0} + \beta^2 \int_{z=-0}^{z=+0} A_Z dz = j \frac{\beta^2}{\omega} \int_{z=-0}^{z=+0} E_Z dz. \quad (2.68)$$

Перший добуток у лівій частині рівності визначає стрибок похідної від A_Z . Другий добуток перетворюється в нуль. Інтеграл у правій частині рівний напрузі джерела U_A з протилежним знаком. Тому:

$$\frac{dA_Z}{dz} \Big|_{z=+0} - \frac{dA_Z}{dz} \Big|_{z=-0} = -j \frac{\beta^2}{\omega} U_A. \quad (2.69)$$

Для визначення різниці у лівій частині рівняння (2.69) врахуємо умову (2.67).

Тому:

$$A_Z(Z) = -\frac{j}{\omega}(C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z) \quad \text{для } Z > 0, \quad (2.70)$$

$$A_Z(Z) = -\frac{j}{C}(C_1 \cos \beta z + C_2 \sin \beta z) \quad \text{для } Z < 0. \quad (2.71)$$

Визначивши похідні $\frac{dA_Z}{dz}$ при $Z = +0$ і $Z = -0$ та підставивши в (2.72)

отримаємо:

$$\left. \frac{dA_Z}{dz} \right|_{z=+0} - \left. \frac{dA_Z}{dz} \right|_{z=-0} = -\frac{2jC_2\beta}{C} = -j\frac{\beta^2}{\omega}U_A, \quad (2.73)$$

звідки
$$C_2 = \frac{U_A}{2}. \quad (2.74)$$

Підставимо значення C_2 і A_Z у (2.40), тоді отримаємо:

$$j\frac{C\mu_0}{4\pi} \int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_{Z1}e^{-j\beta r}}{r} dz_1 = -C_1 \cos \beta z + \frac{1}{2}U_A \sin \beta|z|. \quad (2.75)$$

Знак абсолютного значення у (2.75) виведений із умови симетрії (2.67).

Для знаходження розподілу струму вздовж вібратора I_Z необхідно знайти рішення інтегрального рівняння (2.75). Для цього [99,100] перетворимо інтеграл у рівнянні (2.75) наступним чином:

$$\int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_{Z1}e^{-j\beta r}}{r} dz_1 = \int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_Z + I_{Z1}e^{-j\beta r} - I_Z}{r} dz_1 = I_Z \int_{-\ell}^{+\ell} \frac{dz_1}{r} + \int_{-\ell}^{+\ell} \frac{I_{Z1}e^{-j\beta r} - I_Z}{r} dz_1. \quad (2.76)$$

Струм I_Z залежить від координати Z , а змінною інтегрування є Z_1 .

Тому струм I_Z можна вважати незалежним від Z_1 та винести її з під знаку інтеграла. Інтегруючи перший добуток у правій частині (2.76) та вважаючи $\rho = a$, отримаємо:

$$\int_{-\ell}^{\ell} \frac{dz_1}{r} = \Omega + \ln \left[1 - \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] + \delta, \quad (2.77)$$

$$\text{де } \Omega = 2\ln \frac{2l}{a}; \quad (2.78)$$

$$\delta = \ln \left\{ \frac{1}{4} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l-z} \right)^2} + 1 \right] \left[\sqrt{1 + \left(\frac{a}{l+z} \right)^2} + 1 \right] \right\}. \quad (2.79)$$

Підставивши вираз (2.79) у (2.77), (2.76) і далі у (2.76), отримаємо [99,100]:

$$I_Z = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left(C_1 \cos \beta z + \frac{1}{2} U_A \sin \beta |z| \right) - \frac{1}{\Omega} \left\{ I_Z \ln \left[1 - \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] + I_Z \delta + \int_{-\ell}^{+\ell} \frac{I_{Z1} e^{-j\beta r} - I_Z}{r} dz_1 \right\}. \quad (2.80)$$

При $z = l$ - кінець вібратора, струм $I_Z = 0$, тому:

$$0 = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left[C_1 \cos \beta z + \frac{1}{2} U_A \sin \beta l \right] - \frac{1}{\Omega} \int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_{Z1} e^{-j\beta r_1}}{r_1} dz_1, \quad (2.81)$$

$$\text{де } r_1 = \sqrt{(l - z_1)^2 + a^2}.$$

Якщо віднімемо (2.81) із (2.80), то отримаємо:

$$I_Z = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left[C_1 (\cos \beta z - \cos \beta l) + \frac{U_A}{2} (\sin \beta |z| - \sin \beta l) \right] - \frac{1}{\Omega} \left\{ I_Z \ln \left[1 - \left(\frac{z}{l} \right)^2 \right] + I_Z \delta + \int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_{Z1} e^{-j\beta r} - I_Z}{r} dz_1 - \int_{-\ell}^{\ell} \frac{I_{Z1} e^{-i\beta r}}{r_1} dz_1 \right\}. \quad (2.82)$$

Розв'яжемо інтегральне рівняння (2.82) відносно I_Z методом послідовних наближень. У якості нульового наближення [99,100] візьмемо перше із двох доданків у правій частині (2.82):

$$I_{Z0} = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left[C_1 (\cos \beta z - \cos \beta l) + \frac{U_A}{2} (\sin \beta |z| - \sin \beta l) \right]. \quad (2.83)$$

Вираз (2.83) є основним доданком у розподілі струму. Введемо позначення:

$$F_{0Z} = \cos \beta z - \cos \beta l,$$

$$G_{0Z} = \sin \beta z - \sin \beta l.$$

Тоді:

$$I_{Z0} = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left(C_1 F_{0Z} + \frac{U_A}{2} G_{0Z} \right). \quad (2.84)$$

Підставивши вираз (2.83) у праву частину рівняння (2.82) знаходимо для струму наближення “першого порядку”:

$$I_{Z1} = -\frac{i4\pi}{C\mu_0\Omega} \left[C_1 \left(F_{0Z} + \frac{F_{1Z}}{\Omega} \right) + \frac{U_A}{2} \left(G_{0Z} - \frac{G_{1Z}}{\Omega} \right) \right], \quad (2.85)$$

$$\text{де } F_{1Z} = F_1(Z) - F_1(l). \quad (2.86)$$

$$F_1(Z) = -F_{0Z} \ln \left[1 - \left(\frac{Z}{l} \right)^2 \right] + F_{0Z} \delta - \int_{-l}^l \frac{F_{0Z1} e^{-i\beta r} - F_{0Z}}{r} dz_1, \quad (2.87)$$

$$F_1(l) = -\int_{-l}^l \frac{F_{0Z1} e^{-j\beta r}}{r_1} dz, \quad (2.88)$$

$$G_{1Z} = G_1(Z) - G_1(l). \quad (2.89)$$

Вираз $G_1(Z)$ має таке ж значення, як і $F_1(Z)$, якщо замінити F на $\beta^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$, а $G_1(l)$, як $F_1(l)$ при аналогічній заміні.

Підставивши вираз для струму I_{Z1} із (2.82) у праву частину рівності (2.83), отримаємо для I_{Z1} наближення “другого порядку” і так далі.

Остаточне рішення має вигляд ряду:

$$I_Z = -\frac{j4\pi}{C\mu_0\Omega} \left[C_1 \left(F_{0Z} + \frac{F_{1Z}}{\Omega} + \frac{F_{2Z}}{\Omega^2} + \dots \right) + \frac{U_A}{2} \left(G_{0Z} + \frac{G_{1Z}}{\Omega} + \frac{G_{2Z}}{\Omega^2} + \dots \right) \right], \quad (2.90)$$

де стала C_1 визначається наступним виразом:

$$C_1 = -\frac{U_A}{2} \frac{\sin \beta l + \frac{1}{\Omega G_1(l)} + \dots}{\cos \beta l + \frac{1}{\Omega F_1(l)} + \dots}. \quad (2.91)$$

Після підстановки C_1 із (2.91) у (2.86) і ряду перетворень при $r \gg l$ остаточно отримаємо:

$$I_Z = \frac{jU_A}{60\Omega} \left[\frac{\sin \beta(l - |Z|) + \beta_1/\Omega + \beta_2/\Omega^2 + \dots}{\cos \beta l + \alpha_1/\Omega + \alpha_2/\Omega^2 + \dots} \right], \quad (2.92)$$

де $\alpha_1 = F_1(l)$,

$$\beta_1 = F_1(Z) \sin \beta l - F_1(l) \sin \beta |Z| + G_1(l) \cos \beta Z - G_1(Z) \cos \beta l. \quad (2.93)$$

Доданки $\beta_2/\Omega^2, \alpha_2/\Omega^2$ та доданки більш високого порядку можна відкинути із за їх малих значень. Тоді для розподілу струму на вібраторі отримаємо вираз:

$$I_Z = \frac{jU_A}{60\Omega} \frac{\sin \beta(l - |Z|) + \beta_1/\Omega}{\cos \beta l + \alpha_1/\Omega}, \quad (2.94)$$

де U_A – напруга джерела (кристала) на вході вібратора;

$|Z|$ – абсолютне значення координати Z , котре відраховується від середини вібратора уздовж його довжини;

Ω – визначається виразом (2.78).

Вираз (2.88) визначає закон зміни струму уздовж вібратора.

Отже, розрахунок електричного струму вихідного ланцюга логічного елемента ІМС при діагностуванні з використанням електромагнітного методу діагностування [165-167] ЦПІ можна представити наступним алгоритмом дій:

1. Вихідний ланцюг ЛЕ інтегральної мікросхеми подається у вигляді моделі випромінювача - прямолінійного проводу, у середину якого ввімкнутий кристал.

2. Реальний випромінювач з реальним розподілом джерел поля розбивається на ряд елементарних ділянок довжиною, набагато меншою за довжину хвилі, на кожній з яких струм вважається постійним.

3. За допомогою метода суперпозиції знаходиться закон зміни струму уздовж вібратора та його значення.

Отримані в підрозділі результати необхідні для розрахунку електромагнітного поля над ІМС з метою подальшого використання при розробці ДМ цифрового радіоелектронного компоненту ЦП. Далі розглянемо порядок розрахунку електромагнітного поля.

Розрахунок електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної мікросхеми. Сформулюємо задачу наступним чином: нехай дано елементарний електричний випромінювач у вигляді тонкого проводу, уздовж якого протікає гармонійно змінний у часі струм [100,101]. Випромінювач зосереджений в ізотропній ідеальній ($\sigma = 0$) середі з параметрами μ_0 і ϵ_0 . Інших джерел електромагнітного поля в просторі, біля вібратора, немає. Необхідно визначити електромагнітне поле у кожній точці простору біля випромінювача, а саме визначити вектори \vec{E} і \vec{H} .

Припустимо наступне:

1. Довжина випромінювача у багато разів менше довжини хвилі електромагнітного поля, яка розглядається, і розподіл струму уздовж випромінювача рівномірний ($l \ll \lambda; I(x) = \text{const}$).
2. Діаметр провідника випромінювача значно менше його довжини ($a \ll \lambda$).
3. Відстань від випромінювача до точки спостереження набагато більше довжини випромінювача $r \gg l$.

Друге та третє припущення дозволяють вважати відстань від кожної точки елементарного випромінювача до точки спостереження практично однаковим. Так як струм у випромінювачі змінюється відповідно до гармонічного закону, то зручно буде використати метод комплексних амплітуд, вважаючи що:

$$i(t) = I_m e^{j\varphi} e^{j\omega t}.$$

Шукані вектори поля \vec{E} і \vec{H} будуть рішенням основних рівнянь електромагнітне поле (ЕМП) [53]:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta} + j\omega \epsilon_0 \vec{E}, \quad (2.95)$$

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -j\omega \mu_0 \vec{H}, \quad (2.96)$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = \rho / \epsilon_0, \quad (2.97)$$

$$\operatorname{div} \vec{H} = 0. \quad (2.98)$$

Для спрощення рішення рівнянь (2.95) - (2.98) перетворимо їх у хвильові рівняння (рівняння Гельмгольца), використовуючи метод електродинамічних потенціалів. В цьому випадку задачу можна розбити на

три кроки: визначення векторного потенціалу \vec{A} із рівнянь Гельмгольца, визначення напруженості магнітного поля \vec{H} за відомим вектором \vec{A} , визначення напруженості електричного поля \vec{E} за відомим вектором \vec{H} .

1. Визначення векторного потенціалу \vec{A} .

Рівняння Гельмгольца для вектора \vec{A} має вигляд:

$$\nabla^2 \vec{A} + \beta^2 \vec{A} = -\mu_0 \vec{\delta}, \quad (2.99)$$

$$\text{де } \beta^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0, \quad (2.100)$$

δ - щільність струму провідності;

ω - кругова частота коливань;

μ_0, ϵ_0 - магнітна і діелектрична провідність середовища.

Рішенням даного рівняння є об'ємний інтеграл формули Кірхгофа:

$$\vec{A} = \frac{1}{4\pi} \int_V \mu_0 \vec{\delta} \frac{e^{-j\beta r}}{r} dV. \quad (2.101)$$

У даному виразі інтегрування за довільним об'ємом у якому міститься

точка спостереження можна замінити інтегруванням за об'ємом провідника випромінювача, так як у інших точках об'єму V немає джерел ($\sigma = 0$). Тому в подальшому можна вважати, що V - об'єм випромінювача.

$$A_z = \frac{1}{2\pi} \int_V \frac{e^{-j\beta r}}{r} \mu_0 \delta_z dV. \quad (2.102)$$

Візьмемо прямокутну систему координат таким чином, щоб випромінювач був розташований в її початку і зорієнтований провідником уздовж вісі Z (рис. 2.16). Так як струм тече тільки у напрямку вісі провідника, то об'ємна щільність струму має тільки одну складову $\dot{\delta}_Z$, тому вектор \vec{A} також має тільки одну складову:

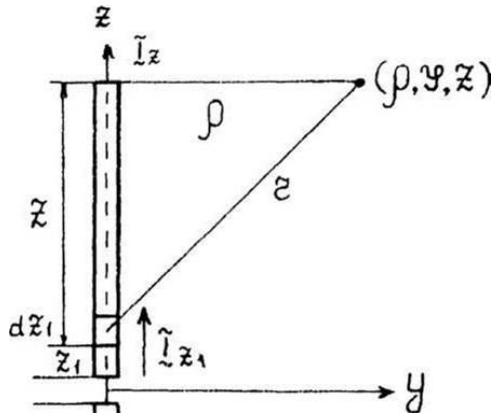


Рис. 2.16. Випромінювач у прямокутній системі координат

Інтегрування за об'ємом розіб'ємо на інтегрування за площиною поперечного перерізу вібратора та за його довжиною:

$$\dot{A}_Z = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_l \frac{e^{-j\beta r}}{r} dl \int_S \dot{\delta}_Z ds. \quad (2.103)$$

Враховуючи, що $\int_S \dot{\delta}_Z ds = \dot{I}$ та виносячи множник $\frac{e^{-j\beta r}}{r}$ за знак інтегралу,

отримаємо:

$$A_z = \frac{\mu_0 I_l}{4\pi r} e^{-j\beta r}. \quad (2.104)$$

2. Визначення вектора напруженості магнітного поля \vec{H} .

Вектор \vec{H} визначимо за відомим вектором \vec{A} із співвідношення:

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \text{rot } \vec{A}. \quad (2.105)$$

Підставивши значення \vec{A} із виразу (2.104) у рівняння (2.105), отримаємо:

$$\vec{H} = \frac{1}{\mu_0} \text{rot} \left(\frac{\mu_0 I_l}{4\pi r} e^{-j\beta r} \vec{Z}^0 \right) = \frac{I_l}{4\pi} \text{rot} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \vec{Z}^0 \right). \quad (2.106)$$

Відомо, що $\text{rot} \left(\begin{matrix} \varphi \\ a \end{matrix} \right) = \varphi \begin{matrix} \rightarrow \\ \text{rot } a \end{matrix} + \left[\begin{matrix} \text{grad} \varphi \\ a \end{matrix} \right]$.

Тоді:

$$\text{rot} \left(\frac{e^{-j\beta r}}{r} \vec{Z}^0 \right) = \frac{e^{-j\beta r}}{r} \text{rot } \vec{Z}^0 + \left[\text{grad} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \vec{Z}^0 \right] = \left[\text{grad} \frac{e^{-j\beta r}}{r} \vec{Z}^0 \right], \quad (2.107)$$

так як $\text{rot } \vec{Z}^0 = 0$.

Для сферичної системи координат (рис. 2.17):

$$\text{grad} \varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial r} \vec{r}^0 + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} \vec{\theta}^0 + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \varphi}{\partial \varphi} \vec{\varphi}^0. \quad (2.108)$$

Тоді з урахуванням (2.107) і (2.108) вираз (2.106) буде мати вигляд:

$$\vec{H} = \frac{I_l}{4\pi} \left(-\frac{1 + j\beta r}{r} e^{-j\beta r} \right) \left[\vec{r}^0 \vec{Z}^0 \right] = \frac{I_l e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 - j\beta r) \left[\vec{r}^0 \vec{Z}^0 \right]. \quad (2.109)$$

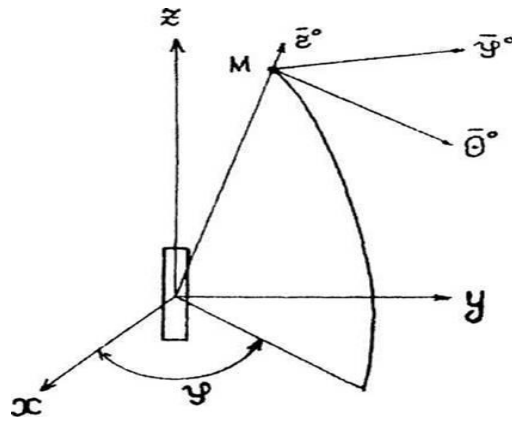


Рис. 2.17. Випромінювач у сферичній системі координат

Так як $\begin{bmatrix} \vec{r}^0 & \vec{z}^0 \end{bmatrix} = \vec{\varphi}^0 \sin \theta$, то отримаємо:

$$\vec{H} = \frac{I_l e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r) \vec{\varphi}^0 \sin \theta. \quad (2.110)$$

Із виразу (2.109) визначимо складові вектора \vec{H} :

$$\vec{H}_r = 0; \vec{H}_\varphi = \frac{I_l e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r) \sin \theta; \vec{H}_\theta = 0. \quad (2.111)$$

Вектор \vec{H} має тільки одну складову за координатою φ і знаходиться у площині, перпендикулярній вісі вібратора. Амплітуда вектора напруженості магнітного поля досягає максимального значення у площині, котра проходить через центр вібратора перпендикулярно його вісі $\theta = \frac{\pi}{2}$.

3. Визначення вектора напруженості електричного поля \vec{E} .

Вектор напруженості електричного поля \vec{E} визначимо із першого рівняння

Максвелла при умові, що в точці спостереження $\delta = 0$:

$$\vec{E} = \text{rot} \frac{\vec{H}}{j\omega \epsilon_0}. \quad (2.112)$$

Враховуючи, що у сферичних координатах:

$$\text{rot}\vec{D} = \vec{r}^0 \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial(\sin \theta D_\varphi)}{\partial \theta} - \frac{\partial D_\varphi}{\partial \varphi} \right] + \vec{\varphi}^0 \frac{1}{r} \left[\frac{\partial(r D_\theta)}{\partial r} - \frac{\partial D_r}{\partial \theta} \right] + \vec{\theta}^0 \frac{1}{r} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial D_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial(r D_\varphi)}{\partial r} \right],$$

а також те, що \vec{H} має тільки одну складову за координатою φ , залежною від координат r і θ , отримаємо:

$$\begin{aligned} \text{rot}\vec{H} &= \frac{1}{r \sin \theta} \left[\frac{\partial}{\partial \theta} (H_\varphi \sin \theta) \frac{\partial H_\theta}{\partial \varphi} \right] \vec{r}^0 + \frac{1}{r} \left[\frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial H_r}{\partial \varphi} - \frac{\partial}{\partial r} (r H_\varphi) \right] \vec{\theta}^0 + \\ &+ \frac{1}{r} \left[\frac{\partial}{\partial r} (r H_\theta) - \frac{\partial H_z}{\partial \theta} \right] \vec{\varphi}^0 = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} [(H_\theta \sin \theta)] \vec{r}^0 - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\varphi) \vec{\theta}^0 = \\ &= \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left[\frac{I_i e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r) \sin^2 \theta \right] \vec{r}^0 - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{I_i e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r) \sin \theta \right] \vec{\theta}^0 = \\ &= \frac{I_i e^{-j\beta r}}{2\pi r^3} (1 + j\beta r) \cos \theta_{\vec{r}^0} + \frac{I_i e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r - \beta^2 r^2) \sin \theta_{\vec{\theta}^0}. \end{aligned} \quad (2.113)$$

Підставивши рівняння (2.112) у рівняння (2.111) отримаємо:

$$\vec{E} = -j \frac{I_i e^{-j\beta r}}{2\pi \epsilon_0 \omega r^3} (1 + j\beta r) \cos \theta_{\vec{r}^0} - j \frac{I_i e^{-j\beta r}}{4\pi \epsilon_0 \omega r^3} (1 + j\beta r - \beta^2 r^2) \sin \theta_{\vec{\theta}^0}.$$

Звідси складові \vec{E} рівні:

$$\begin{aligned} E_r &= -j \frac{I_l e^{-j\beta r}}{2\pi \omega \epsilon_a r^3} (1 + j\beta r) \cos \theta, \\ E_\varphi &= 0, \end{aligned} \quad (2.114)$$

$$E_\theta = -j \frac{I_l e^{-j\beta r}}{4\pi \omega \epsilon_a r^3} (1 + j\beta r - \beta^2 r^2) \sin \theta.$$

Із (2.112) видно, що вектор \vec{E} має дві складові: складову за координатою r і складову за координатою θ . Отже, розрахунок електромагнітного поля вихідного ланцюга ЛЕ інтегральна мікросхема ЦП можна представити у вигляді наступного алгоритму дій:

1. Моделювання вихідного ланцюга ЛЕ інтегральна мікросхема.

2. Перетворення основних рівнянь електромагнітного поля у хвильові рівняння (рівняння Гельмгольца) за допомогою методу електродинамічних потенціалів.

3. Визначення векторного потенціалу \vec{A} із рівнянь Гельмгольца.

4. Визначення напруженості магнітного поля \vec{H} за відомим вектором \vec{A} .

5. Визначення напруженості електричного поля \vec{E} за відомим вектором \vec{H} .

Отримані результати необхідні для проведення розрахунку значення ДП з метою визначення реального ТС цифрового РЕК. З метою визначення практичної можливості використання методу діагностування, запропонованого в підрозділі 2.1, необхідно визначити потужність випромінювання вихідного ланцюга ЛЕ цифрового РЕК, який контролюється.

Розрахунок потужності випромінювання вихідного ланцюга логічного елемента РЕК цифрового пристрою. Використовуючи принцип суперпозиції, визначимо потужність випромінювання вібратора за потужністю, яку випромінює у простір кожний елементарний випромінювач [100,101]. Знайдемо середню потужність випромінювання у простір елементарного вібратора. При цьому будемо вважати, що він розташований у ідеальному середовищі. Її можна визначити як середній потік випромінювання через будь-яку замкнуту поверхню навколо випромінювача:

$$P_B = \oint_S P_{\text{сер}} ds.$$

В якості поверхні S розглянемо сферу, центр якої міститься у початку координат. Для спрощення рішення задачі припустимо, що її радіус r задовольняє умові $\beta r \gg 1$ ($\beta = 2\pi/\lambda$).

Запишемо елемент поверхні у сферичній системі координат:

$$ds = r^0 \vec{r}^2 \sin \theta d\varphi d\theta. \quad (2.115)$$

Середнє значення вектора Пойтінга за період коливань дорівнює:

$$\text{де } Z_c = E_m / H_m = \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} = 120\pi \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} - \text{характеристичний опір} \quad (2.116)$$

середовища з параметрами μ_a і ε_a .

Амплітуда напруженості електричного поля з урахуванням виразу для Z_c знаходиться за формулою [53]:

$$E_m = \frac{I_m l}{2\lambda r} \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} \sin \theta = \frac{I_m l}{2\lambda r} \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} 120\pi \sin \theta = \frac{60\pi I_m l}{\lambda r} \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}} \sin \theta. \quad (2.117)$$

Враховуючи (2.115), (2.116), (2.117) формулу для розрахунку потужності випромінювання елементарного випромінювача отримаємо у вигляді:

$$\begin{aligned} P_{\text{сер}} &= \frac{1}{T} \int_0^T \vec{\Pi} dt = \frac{1}{T} \int_0^T r^0 \vec{E}_\theta(t) H_\varphi(t) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T r^0 E_m H_m \cos^2\left(\omega t - \beta r + \frac{\pi}{2}\right) dt = r^0 \frac{E_m H_m}{2} = r^0 \frac{E_m^2}{2Z_c}, \end{aligned} \quad (2.118)$$

$$P_B = \frac{r^2}{240\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi E_m^2 \sin \theta d\theta = \frac{r^2 60^2 \pi^2 I_m^2 l^2 \mu}{240\pi \lambda^2 r^2 \varepsilon} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta. \quad (2.119)$$

Так як $\int_0^\pi \sin^3 \theta d\theta = \frac{4}{3}$, а $\int_0^{2\pi} d\varphi = 2\pi$, то:

$$P_B = \frac{r^2 60^2 \pi^2 I_m^2 l^2 \mu}{240\pi \lambda^2 r^2 \varepsilon} 2\pi \frac{4}{3}. \quad (2.120)$$

Після перетворень отримаємо:

$$P_B = 40\pi^2 I_m^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \frac{\mu}{\varepsilon}. \quad (2.121)$$

З виразу для P_B видно, що зі збільшенням частоти випромінювання зростає її потужність (при рівних амплітудах току високочастотні складові

спектру мають більшу потужність ніж низькочастотні), що підтверджує відомі положення [100,101]. Результати розрахунків підтверджуються даними, отриманими під час проведення експерименту: потужність випромінювання достатня для визначення ТС цифрових РЕК.

2.5. Діагностична модель радіоелектронного компоненту цифрового пристрою при використанні електромагнітного методу діагностування

Формальний опис ОД, який враховує можливість зміни його стану в часі називається ДМ [98,99,101,102;165-167]. Подібні моделі повинні володіти властивостями виявлення і розрізнення дефектів. Радіоелектронні системи, які складають основу РЕТ, як ОД і моделювання володіють функціонально різноманітністю, ієрархічною конструкцією і відрізняються складністю виконуваних задач, високою автономністю, високою ціною наслідків відмов, що дозволяє віднести їх до категорії складних систем, які представляються основними групами ДМ:

- безперервні моделі, які представляють об'єкт і процеси, що протікають в ньому, в безперервно змінюваному часі являються аргументом модельних функцій;
- дискретні моделі, які визначають стан ОД для послідовності дискретних значень часу;
- гібридні моделі, які описують реальні об'єкти, що складаються з пристроїв безперервної дії і дискретних пристроїв;
- спеціальні моделі, які враховують особливості ДЗ і функціонування об'єкта.

За видами представлення взаємозв'язків між станом ОД, його елементами і параметрами вихідних сигналів методи синтезу моделей поділяються на аналітичні, графоаналітичні, функціонально-логічні і інформаційні.

Графічні моделі володіють наочністю, відображають логіку взаємодії елементів об'єкта, проходження енергії і інформації. Використовуються для розробки алгоритмів діагностування, які розрізняють дефекти типу обрив і перевантаження. Подібні моделі мають обмеження: елементи можуть мати будь-яке число входів, але тільки один вихід.

Матричні моделі зручні для обробки на ПК і не вимагають від користувача високої кваліфікації при підготовці вихідних даних. На їх базі можливий синтез як умовних, так і безумовних алгоритмів діагностування. Ці моделі мають обмеження на ступень пошкодження об'єкта: при наявності кратних дефектів можливе встановлення хибного діагнозу. Вони можуть подаватися в формі таблиці дефектів, матриці станів, таблиці функцій несправностей і широко використовуються при розробці засобів технічного діагностування.

Математичні і інформаційні моделі використовуються основному при проектуванні засобів і СТД складних об'єктів на базі ПК. Виходячи з розглянутого та враховуючи особливості побудови цифрового РЕК для визначення його ТС використовується математична модель, яка представлена нижче.

Нехай довжина антенного пристрою дорівнює l , а відстань між ним і випромінювачем дорівнює r і $r \approx l$, тоді:

$$\dot{E}_r = -j \frac{\dot{I} e^{-j\beta r}}{2\pi\omega \epsilon r^2} (1 + j\beta r) \cos\Theta, \quad (2.122)$$

$$\dot{E}_\theta = -j \frac{\dot{I} e^{-j\beta r}}{2\pi\omega \epsilon r^2} (1 + j\beta r - \beta^2 r^2) \sin\Theta. \quad (2.123)$$

Враховуючи, що $l \ll \lambda$, $r \approx l$, отримаємо $\beta \ll 1$, тоді (2.122) і (2.123) перетворяться до вигляду [99-101]:

$$\dot{E}_r = -j \frac{\dot{I} e^{-j\beta r}}{2\pi\omega \epsilon_a r^2} \cos\Theta, \quad (2.124)$$

$$\dot{E}_\theta = -j \frac{\dot{I} e^{-j\beta r}}{2\pi\omega \epsilon_a r^2} \sin\Theta. \quad (2.125)$$

Крім того, враховуючи малу відстань між випромінювачем і антенним пристроєм можна записати, що $\Theta = \frac{\pi}{2}$ і $\dot{E}_r = 0$, тоді:

$$\dot{E}_\theta = -j \frac{\dot{I}}{2\pi\omega \epsilon_a r^2} = E_{\text{прийм.}} \quad (2.126)$$

Даний вираз дозволяє розраховувати напруженість електричного поля, створеного струмом випромінювача поблизу антенного пристрою.

Формула розрахунку електрорушійної сили, яка виникає у прийомній антенні, має вигляд [99-101]:

$$e_A = E l F(\varphi, \Theta), \quad (2.127)$$

де $F(\varphi, \Theta)$ - діаграма спрямованості антенного пристрою.

Враховуючи, що кут між напрямком хвилі, яка надходить і віссю диполя $\Theta = \frac{\pi}{2}$, отримаємо:

$$\dot{e}_A = \dot{E} l = -j \frac{\dot{I} l}{2\pi\omega \epsilon_a r^2}. \quad (2.128)$$

Визначимо реальну частину даного виразу, яка являє собою модуль комплексного числа.

$$\left| \dot{e}_A \right| = \frac{I_m l}{2\pi\omega \epsilon_a r^2} \sin\varphi. \quad (2.129)$$

Отже, вираз (2.129) являє собою ДМ цифрового РЕК.

При $r \approx l$, отримаємо [99,101]:

$$e_A = k \frac{I}{\omega} \quad (2.130)$$

де $k = -j \frac{1}{2\pi\epsilon_a r}$,

$I = I_m e^{j\varphi}$ - комплексна амплітуда струму у випромінювачі.

Отриманий вираз (2.130) являє собою залежність між струмом у випромінювачі і електрорушійною силою у антенному пристрої на частоті ω .

Аналіз показав, що однією з переваг даного методу діагностування, є безконтактний зйом ДІ.

Запропонований електромагнітний метод діагностування [92-97;165-167], в порівнянні з відомими, має наступні переваги:

- виключення необхідності використання вихідних контактів та КТ для визначення дефектного цифрового радіоелектронного компоненту ЦП;
- незначний вплив ПД на "власну" надійність радіоелектронного компоненту ЦП, так як до нього не вмикаються додаткові елементи;
- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних ЦП, виконаних на елементній базі третього і четвертого покоління;
- скорочення часу діагностування ЦП в 2-3 рази в порівнянні з відомими методами, і як наслідок, збільшення КГ об'єкту РЕТ на 8 - 10%.

У самому простому випадку, коли g ЛЕ всіх ІМС, які входять до складу ЦП, знаходяться у справному стані і з'єднані між собою послідовно, на виході антенного пристрою будуть зафіксовані g – імпульсів конкретної напруги. У випадку, коли присутня несправність будь-якого логічного елементу ІМС при послідовному їх з'єднанні, номер дефектного елементу визначається за кількістю імпульсів у антенному пристрої.

Визначення дефектного елементу, якщо ЛЕ інтегральної мікросхеми з'єднані між собою довільним порядком, здійснюється з використанням умовного алгоритму діагностування [93]. При його використанні вибір

наступної перевірки залежить від результатів виконання попередньої. Тому кількість перевірок, які треба здійснити для локалізації несправного цифрового РЕК при використанні умовного алгоритму діагностування набагато менша, ніж при використанні по елементної перевірки.

Достовірність діагностування ЦП в значній мірі залежить від правильності вибраних ДП, яка в свою чергу, залежить від рішення ряду задач, які за характером можна умовно розбити на дві групи. Перша група розглядає питання, пов'язані з протіканням процесів безпосередньо у цифровому РЕК. Визначаються струм вихідного ланцюга базового елемента, електромагнітне поле навколо цифрового РЕК і потужність випромінювання, що виникають у момент переходу ЛЕ з одного стану в протилежний. У другій групі вирішуються питання можливості виявлення і фіксації імпульсів струму електромагнітного процесу у антенному пристрої, розрахунку ДП і їх використання для визначення ТС радіоелектронних копонтів ЦП.

Висновок

Проведений аналіз електромагнітного методу діагностування показав, що значення ДП, яким є напруга у антені, змінюється з часом в ході експлуатації, що відбиває залежність ДП від часу, отримана у результаті проведених форсованих випробувань РЕК на надійність та може бути використана для визначення реального технічного стану ЦП на різних етапах його “життєвого циклу”. Крім того, значення ДП дозволяє проводити прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу ЦП.

Експериментальні дослідження електромагнітного процесу дозволили визначити параметри і форму імпульсів, які виникали у антенному пристрої під час спрацьовування логічного елемента ІМС. При цьому відношення рівнів сигнал-шум складало не менше 10, а в деяких випадках 15-20, що набагато більше загальноприйнятого. Результати досліджень деяких типів ІМС у вигляді осцилограм електромагнітного процесу у антенному пристрої різних структур показані на фотографіях, приведених вище (2.1, 2.2, 2.3).

Переваги електромагнітного методу та обробки ДІ з урахуванням результатів форсованих випробувань РЕК (ЦП) формують новий підхід до виконання функцій технічної діагностики та є потужним інструментом для неї. Він суттєво відрізняється від функціонального, застосування якого дозволяє визначати ТС в даний момент часу, після чого відмови відбуваються через непередбачуваний час, що зумовлює складність проведення прогнозування та визначення залишкового ресурсу ЦП.

З огляду на проведення діагностування ЦП, а також РЕК як їх елементів, можна зробити висновок, що шляхи підвищення надійності РЕТ та її складових полягають в удосконаленні методів пошуку несправностей та засобів контролю ТС. “Класичний підхід” при проведенні діагностування передбачає порівняння реакцій, отриманих за допомогою вихідних контактів ЦП, з еталонними, при цьому на вхід ЦП надходять перевірочні послідовності імпульсів (ТП).

Викладене вище, дозволяє зробити висновок про необхідність та доцільність використання електромагнітного методу діагностування з результатами форсованих випробувань РЕК (цифрового пристрою) та створює сприятливі умови для побудови АСТД, робота якої дозволяє забезпечити з заданою достовірністю вимоги керівних документів щодо надійності та ремонтпридатності об'єктів РЕТ.

2.6. Перевірка та локалізація дефектних елементів цифрових пристроїв

Важливо зазначити, що раніше КТС та діагностування ЦП проводилось з використанням зондів, що мають омичний і ємнісний контакти, та підключалися до виходів ЦП. Використання зондів з омичним контактом призводить до порушення технологічного покриття елементів ЦП, а застосування ємнісного контакту при малій відстані між виходами ІМС і їх великій кількості ускладнює процес перевірки ТС, наслідком чого стає

збільшення часу діагностування як складової часу відновлення. Статистичні дані свідчать, що для перевірки ТС одного ЦП, який складається з 40 РЕК, з підключенням до кожного з них, витрачається від 25 до 75 хвилин.

Сьогодні при застосуванні відомих ПД використовуються логічні пробники [25], які дозволяють перевірити наявність сигналу в колі синхроімпульсу, на лініях шини, в колах вибору мікросхем пам'яті, керуючих імпульсах. При відсутності зміни сигналів у цифрових вузлах приймається рішення про наявність несправності. За допомогою пробника – зонду можна визначити рівень контрольованого сигналу – “одиниці” або “нуля”. Використовують одно або багатоконтактні пробники, останні застосовують для перевірки логіки роботи ІМС. Для формування імпульсних сигналів в колах ЦП використовують стимулюючі генератори, які застосовують у комплекті з логічними пробниками і безконтактними індикаторами імпульсних струмів. Вони виконуються як одноконтактні логічні пробники і можуть виробляти одиночні імпульси, послідовності імпульсів і пачки імпульсів різної частоти. Схема підключення [25] стимулюючого генератора та логічного пробника при перевірці цифрових схем наведена на рис. 2.18 та рис.2.19.

Безконтактні індикатори імпульсних струмів контролюють струми в захищених ізоляційними покриттями провідникових друкованих плат без розриву струмопровідного провідника і руйнування захисних перекриттів.

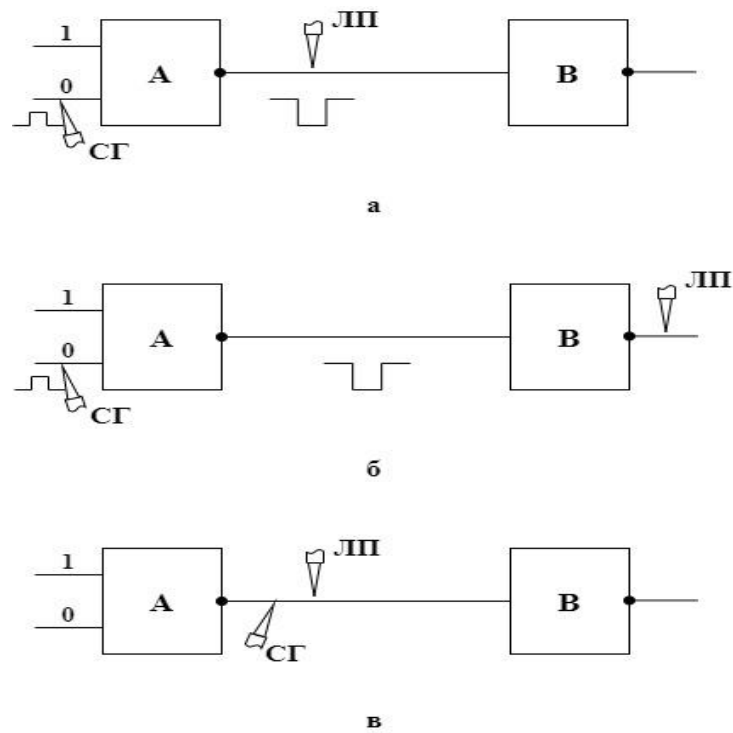


Рис. 2.18. Схема підключення стимулюючого генератора та логічного пробника при перевірці цифрових схем: а – індикатор логічного пробника (ЛП) мерехтить – ІМС А непошкоджена; б – індикатор ЛП мерехтить – ІМС В пошкоджена; в – індикатор ЛП не горить – коротке замикання на корпус; ЛП горить і не мерехтить – коротке замикання на джерело електроживлення

Такий пристрій у комплекті із стимулюючим генератором використовується для пошуку несправностей типу короткого замикання, холостого ходу, несправностей в ІМС середнього ступеня інтеграції і в шинах з трьома станами [25]. Найпростіші контрольно-вимірвальні прилади ефективні для пошуку несправностей у цифрових схемах завдяки простоті застосування і оперативності підключення.

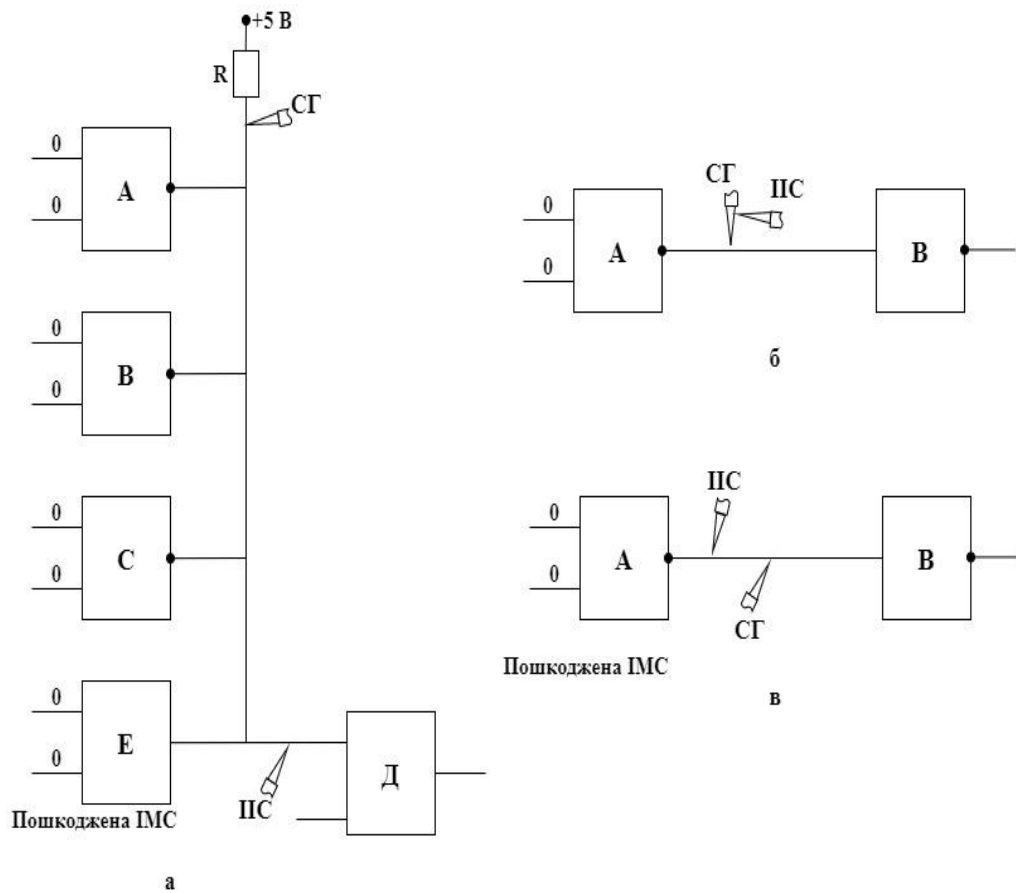


Рис. 2.19. Схема підключення безконтактного імпульсного індикатора струмів: а - індикатор імпульсних струмів (ІС) не спрацьовує через коротке замикання на корпусі мікросхем Е; б – підключення ІС для настроювання на потрібний рівень чутливості; в – відсутність струму свідчить про пошкодження ІС

Аналіз схем логічних аналізаторів. Для аналізу цифрових схем використовують логічні аналізатори, які являють собою багатоканальні пристрої та дозволяють перевіряти роботу цифрових схем в реальному масштабі часу [25]. Усі типи логічних аналізаторів (806, 820, 821, 825 і т.д.) мають загальні принципи побудови і роботи, відрізняючись один від одного кількістю каналів, об'ємом пам'яті тактовою частотою і видом інформації, що надається. Структурна схема логічного аналізатора представлена на рис. 2.20.

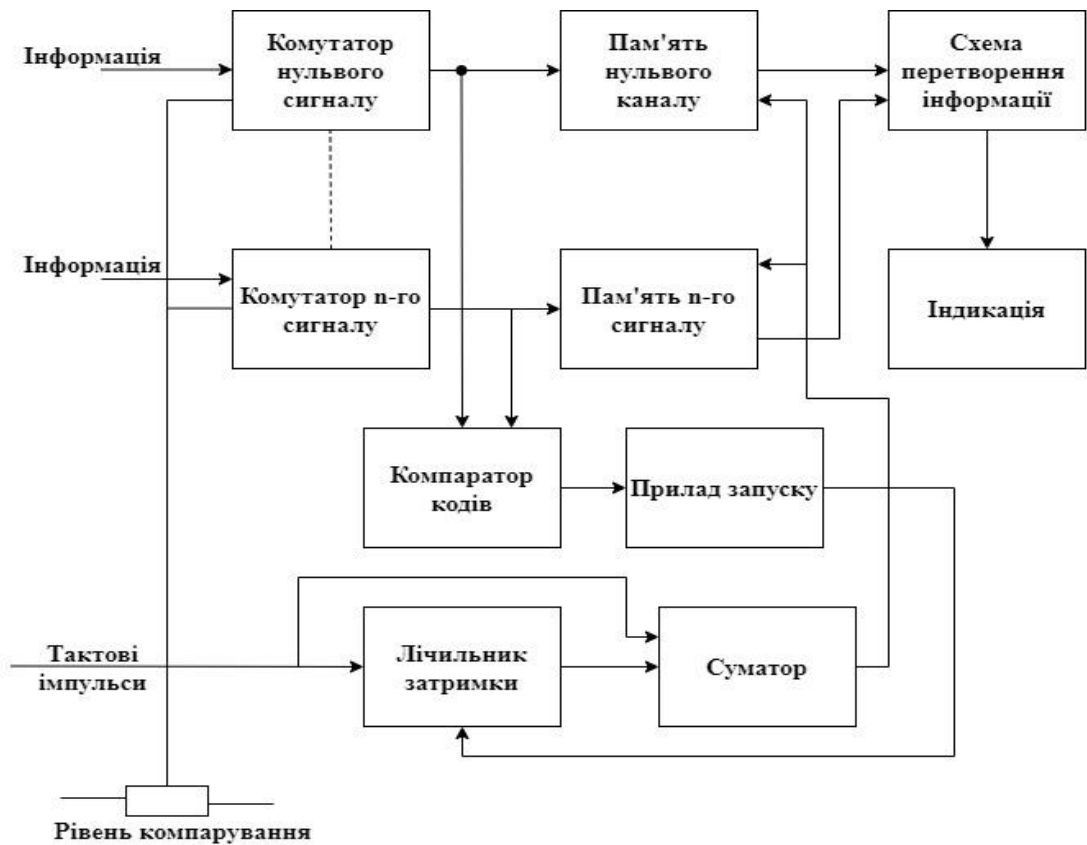


Рис. 2.20. Структурна схема логічного аналізатора

Дані про логічний стан вузла [25], який перевіряється, заносяться у внутрішню пам'ять, після чого перетворюються до вигляду, зручного для індикації, а потім індикуються на екран електронно-променевої трубки.

Логічні аналізатори практично завжди можна застосовувати при діагностиці цифрових вузлів. Аналіз застосування ДЗ показав, що з його допомогою важко виявити несправності ЦП, обумовлені відмовою ядра мікропроцесорної системи. Для виявлення таких відмов на етапах розробки і виробництва ОД використовують системи настроювання з внутрішньо схемними емуляторами, що імітують роботу мікропроцесорів. Однак на етапі експлуатації ці системи практично непридатні через необхідність знати ремонтником особливості схемно-конструктивної побудови відновлювальних засобів і їх програмного забезпечення на рівні розробників.

Далі розглянемо існуючі методи пошуку несправностей у ЦП, а саме методи сигнатурного та логічного аналізу.

2.7. Аналіз методу сигнатурного аналізу та його достовірності

Ефективним методом пошуку несправностей у ЦП є метод сигнатурного аналізу [25,70;103-105], який дозволяє проводити його відносно швидко і високоякісно з використанням сигнатурного аналізатора. Сигнатура - це код, який складається з чотирьох знаків шістнадцяткового коду і характеризує стан вузла схеми, яка діагностується. Сигнатурний аналіз зводиться до зіставлення реальної сигнатури вузла зі зразковою (еталонною), зазначеною на принциповій схемі або в спеціальних таблицях ремонтної документації.

При наявності відмінностей ремонтник керуючись схемою пошуку несправностей, простежуванням сигнатур знаходить несправний вузол (елемент). На його виході реальна та еталонна сигнатури різні, в той час як на виході попереднього вузла (елемента), з'єданого з входом, перевіряється фактична і еталонна сигнатури одночасно.

Для оцінки достовірності діагностування методів компактного тестування використовуються різні підходи. Найбільш широке застосування знайшли два методи.

Для методу сигнатурного аналізу, в загальному випадку, процентна імовірність виявлення помилки в послідовності довжини l при використанні регістру зсуву довжини n визначається за формулою [70;103-105]

$$P(\%) = 100 - \frac{100[H(l-m)] [2^{l-m} - 1]}{2^l - 1},$$

де H – крокова функція, $H(l-m) = \begin{cases} 0 & \text{при } l-m \geq 0; \\ 1 & \text{при } l-m < 0. \end{cases}$

При довжині регістра $m = 16$ похибка завжди менше 1×2^{-16} незалежно від l – довжини вхідної послідовності (коли значення l стає дуже великим, значення імовірності виявлення помилки наближається до 2^{-m}). Це дозволяє з достовірністю $P_d = 0,999984$ сказати, що помилка, якщо вона присутня,

може бути виявлена.

Для контролю **шляхом підрахунку кількості переходів** відповідна імовірність виявлення помилки в послідовності довжиною l визначається за формулою [70;103-105]:

$$P(\%) = 100 - \left[\frac{100}{2^l(2^l - 1)} \right] \sum_{r=0}^l \left[\frac{l!}{(l-r)!r!} \right] \left[\frac{l!}{(l-r)!r!} - 1 \right],$$

де r – фіктивна змінна. Значення даної функції росте із зростанням l .

Графік імовірності виявлення помилок в послідовності довжини l різними методами стиснення даних показаний на рис.2.21.

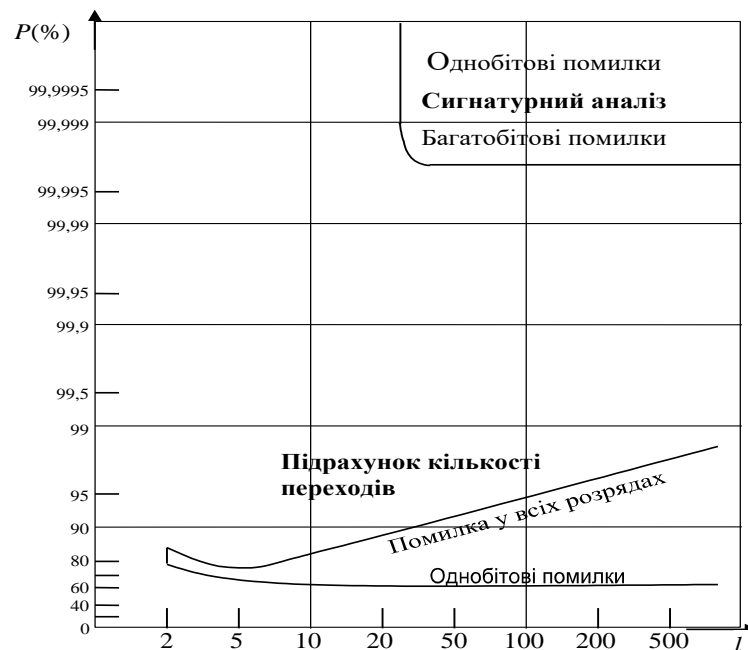


Рис. 2.21. Імовірності виявлення помилок різними методами стиснення даних

Другий метод порівняння полягає в оцінці ефективності того або іншого методу компактного тестування з використанням його розподілу імовірності P^μ невиявлення помилки залежно від її кратності, де l – довжина послідовності, яку аналізують. Вказану імовірність невиявлення помилки кратності μ знаходимо таким чином [70;103-105]:

$$P^\mu = P_v^\mu P_n^\mu, \quad (2.131)$$

де P_v^μ – імовірність виникнення помилки кратності μ ;

P_n^μ – імовірність невиявлення виниклої помилки кратності μ , яка

визначається як відношення кількості помилок кратності μ , що не виявляються, до загальної кількості можливих помилок з μ невірних символів в послідовності з довжиною, яка дорівнює l .

Значення P_v^μ у виразі (2.122) визначається видом цифрової схеми, що перевіряється, множиною можливих її несправностей, а також типом ТП. Причому, розподіл імовірності P_v^μ може мати абсолютно довільний вигляд і значно змінюватися залежно від виниклої несправності, виду схеми і ТП. В той же час, імовірність P_n^μ невиявлення виниклої помилки кратності μ характеризується тільки методом компактного тестування. Тому для різних методів залежно від їх розподілу ймовірностей P_n^μ можуть бути отримані оцінки достовірності контролю цифрової схеми у вигляді розподілу P^μ (2.131).

Аналіз даного виду розподілу дозволяє ухвалити рішення про доцільність застосування того або іншого методу компактного тестування. Причому, для спрощення алгоритму ухвалення рішення слід використовувати компактнішу характеристику, наприклад сумарну імовірність невиявлення помилки, що обчислюється, як арифметичну суму величин, що становлять P^μ :

$$P_n = \sum_{\mu=1}^l P^\mu = \sum_{\mu=1}^l P_v^\mu P_n^\mu . \quad (2.132)$$

В даному випадку величина P_n характеризує той або інший метод компактного тестування для цілком конкретного розподілу ймовірностей P_v^μ виникнення несправностей залежно від її кратності, а не для деякого його гіпотетичного допущення.

Розглянемо методику проведення порівняння методів компактного тестування на прикладі сигнатурного аналізу, методу підрахунку одиниць і тривіального методу, заснованого на виборі в якості сигнатури будь-яких m з l аналізованих біт. Спочатку для кожного із вказаних методів визначимо

розподіл імовірності P_n^μ .

Для випадку сигнатурного аналізу [8,70], розподіл імовірності P_n^μ визначається згідно виразу

$$\begin{aligned} P_n^1 &= P_n^2 = 0; \\ P_n^\mu &= \frac{1}{2^m - \mu} \left[1 - P_n^{\mu-1} - (\mu-1)P_n^{\mu-2} \right]; \end{aligned} \quad (2.133)$$

де $\mu = 3, 4, \dots, 2^m - 1$.

Відповідно для $m = 4, 5$ і 6 , (m – розрядність регістру зсуву), розподіл імовірності P_n^μ приймає вигляд, як показано на рис. 2.22. З аналізу рисунка видно, що вже при $m = 7$ розподіл імовірності P_n^μ для сигнатурного аналізу можна вважати практично рівномірним, а значення P_n^μ для $\mu \in \{3, 4, 5, \dots, 2^m - 2\}$, рівними $1/2^m$.

Отже, можна зробити висновок, що помилки кратності $\mu \in \{3, 4, 5, \dots, 2^m - 2\}$, що виникли в послідовності даних завдовжки $2^m - 1$ для $m > 7$, виявлятимуться сигнатурним аналізатором з однаковою імовірністю, яка дорівнює $1 - 1/2^m$.

Крім того, необхідно відзначити, що одиночні і подвійні помилки виявляються з імовірністю 1, а помилки, що складаються з $2^m - 1$ невірних біт, є такими, що не виявляються [8,70].

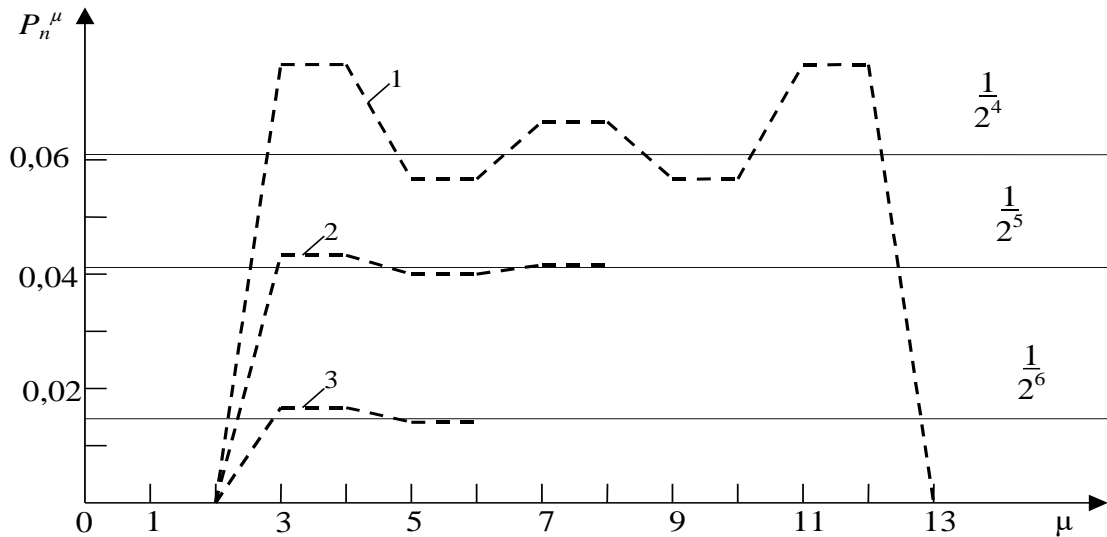


Рис. 2.22. Розподіл імовірності P_n^μ невиявлення помилки кратності μ методом сигнатурного аналізу: 1. $m = 4$; 2. $m = 5$; 3. $m = 6$.

У разі використання методу підрахунку одиниць, значення сигнатури визначається числом r одиничних символів в аналізованій послідовності, яке може приймати значення від 0 до l , де для зіставності результатів, l приймається рівним $l = 2^m - 1$. При цьому, для $\mu = 2k + 1$, $k = 0, 1, \dots, 2^{m-1} - 1$, тобто для непарних значень μ , всі помилки будуть виявлені методом рахунку одиниць, оскільки зміна непарної кількості символів завжди приводить до зміни сигнатури [103-105]. Значення останньої залишається без зміни і відповідно помилка не виявляється тільки у тому випадку, коли зміна сигнатури однієї її складовою компенсується дією іншої. Імовірність P_n^μ невиявлення μ -кратних помилок в аналізованій послідовності, що складається з r одиниць, визначається виразом:

$$P_n^\mu = \frac{C_r^{\mu/2} C_{2^m-1-r}^{\mu/2}}{C_{2^m-1}^\mu}, \quad \mu = 2k, \quad k = 1 \dots \omega, \quad (2.134)$$

де $\omega = r$, якщо $r \in \{1, 2, 3, \dots, 2^m - 1\}$;

$\omega = 2^m - 1 - r$ якщо $r \in \{2^{m-1}, 2^{m-1} + 1, 2^{m-1} + 2, \dots, 2^m - 2\}$;

$P_n^\mu = 0$ якщо $\mu = 0$ або $\mu = 2^m - 1$ [70;103-105].

Аналіз отриманого виразу показує, що для методу підрахунку одиниць, значення імовірності, подібно як і для методу підрахунку переходів, є функцією, залежною від кратності μ можливої помилки і виду еталонної послідовності, тобто від представленої в ній кількості одиниць r . Тому залежність значень, що характеризують розподіл імовірності невиявлення помилок кратності μ , вибирається з сімейства залежностей для різних r .

Залежності розподілу імовірності P_n^μ для методу підрахунку одиниць при еталонній послідовності, що складається з $r=3$ одиниць і містить $l = 2^4 - 1, 2^5 - 1$ та $2^6 - 1$ символів, приведені на рис. 2.23. Аналіз даних залежностей показує нерівномірність закону розподілу імовірності, яка зростає із збільшенням значення m , що визначає довжину послідовності, що стискається.

Для методу, заснованому на виборі й аналізу в якості сигнатури будь-яких m з l аналізованих біт, кількість невиявлених помилок кратності μ , визначається як C_{l-m}^μ , а загальне число можливих помилок визначається як C_l^μ . Тоді значення імовірності P_n^μ для $l = 2^m - 1$ прийме вигляд:

$$P_n^\mu = \frac{C_{2^m-1-m}^\mu}{C_{2^m-1}^\mu} = \frac{(2^m - 1 - m)!(2^m - 1 - \mu)!}{(2^m - 1 - m - \mu)!(2^m - 1)!}, \quad (2.135)$$

де $\mu = 1 \dots 2^m - 1 - m$.

Для $\mu \in \{2^m - m, 2^m - m + 1, \dots, 2^m - 1\}$ імовірність $P_n^\mu = 0$.

Залежність розподілу імовірності P_n^μ для $m=4, 5$ і 6 , приведена на рис. 2.24. та рис. 2.25, аналіз якого показує їх нерівномірність при $m \rightarrow \infty$. Так, максимальна різниця P_n^μ буде дорівнювати

$$\max \Delta P = P_n^1 - P_n^{2^m-m} = \frac{2^m - 1 - m}{2^m - 1}.$$

Для чималих значень m останній вираз практично дорівнює одиниці.

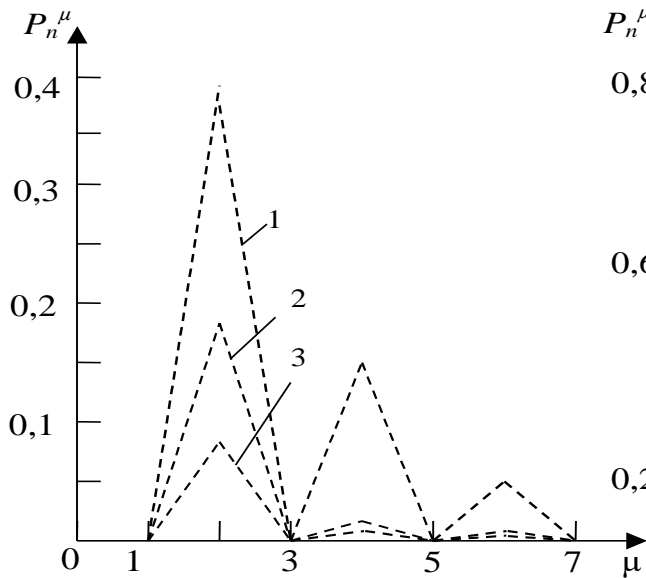


Рис. 2.23. Розподіл імовірності P_n^μ невиявлення помилки кратності μ методом підрахунку одиниць:
1. $m = 4, r = 3$; 2. $m = 5, r = 3$; $m = 6,$
 $r = 3$.

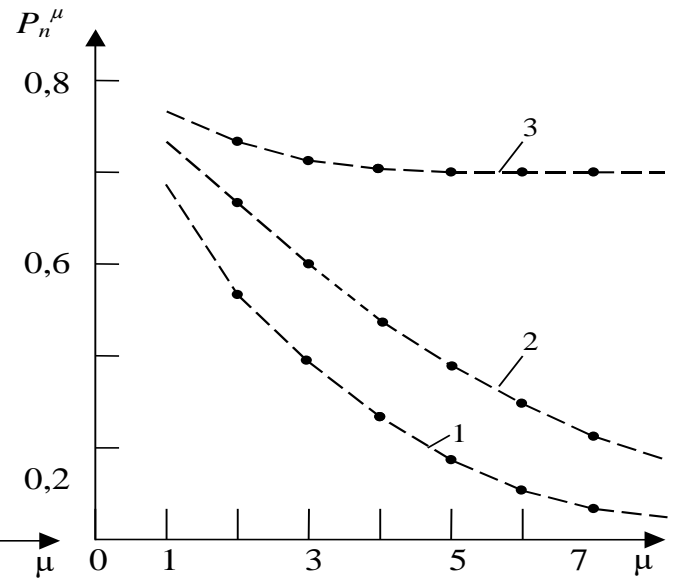


Рис. 2.24. Розподіл імовірності P_n^μ невиявлення помилки кратності μ методом, заснованим на виборі і аналізі як сигнатура будь-яких m з l аналізованих біт:

1. $m = 4$; 2. $m = 5$; 3. $m = 6$.

Отже, отримані розподіли ймовірностей P_n^μ для різних методів компактного тестування (вирази (2.133), (2.134) і (2.135)), дозволяють провести порівняльний аналіз даних методів на підставі співвідношення (2.132) і обґрунтувати доцільність використання одного з них для контролю певної цифрової схеми. Структурна схема сигнатурного аналізатора [25]: приведена на рис. 2.25.

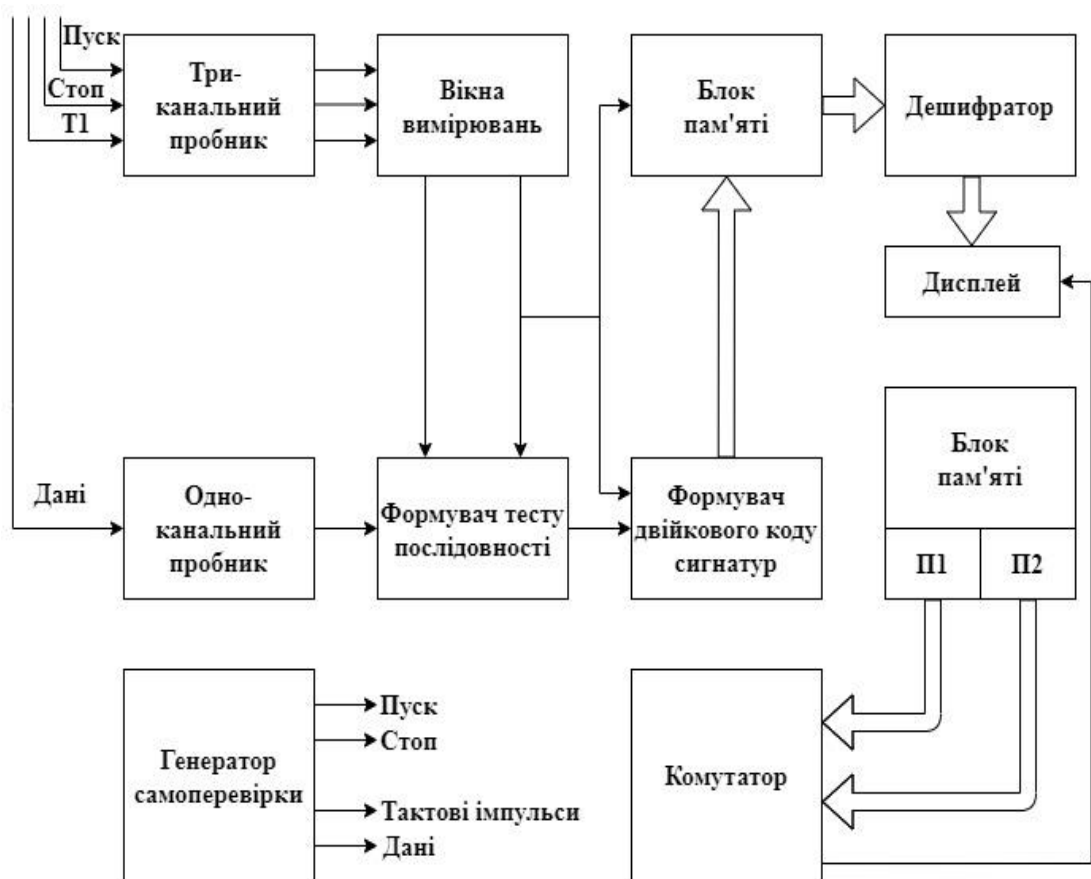


Рис. 2.25. Структурна схема сигнатурного аналізатора

Детальніше питання побудови тестів буде розглянуто у четвертому розділі дисертації. Рішення цих задач приводиться в наступних підрозділах роботи.

Висновок

Незважаючи на високу достовірність методів сигнатурного аналізу при використанні методів сигнатурного аналізу для визначення реального технічного стану об'єкту є ускладненим, оскільки через непередбачуваний час після проведення діагностування він может вийти зі строю, тобто сигнатурний метод аналізу дозволяє визначати технічний стан з високою достовірністю в певний момент часу.

2.8. Вибір способу зняття діагностичної інформації при використанні електромагнітного методу діагностування

Ефективність електромагнітного методу діагностування залежить також від способу зняття інформації та алгоритмів її обробки [92-97]:

$$A_i(t, \tau) = F(P_0, P_i, \mu', C, G) \quad (2.136)$$

де P_0 - імовірність безвідмовної роботи радіоелектронного компонента ЦП;

P_i - імовірність безвідмовної роботи антенного пристрою у момент початку діагностування;

μ' - інтенсивність проведення діагностування;

C - вартість ПД;

G - продуктивність (швидкодія).

Визначимо працездатність ЦП, що складається із L_{ζ} загальної кількості ІМС

$$L_{\zeta} = L_i + L_{ii} + L_{ii'} + L_{ii''} \quad (2.137)$$

де L_i - кількість працездатних ІМС, прийнятих за працездатні;

L_{ii} - кількість непрацездатних ІМС, прийнятих за працездатні;

$L_{ii'}$ - кількість непрацездатних ІМС, прийнятих як непрацездатні;

$L_{ii''}$ - кількість працездатних ІМС, прийнятих як непрацездатні.

Ймовірність того що ІМС, яку перевіряють, буде працездатною:

$$P_{ii'}(t, \tau) = \frac{L_i}{L_i + L_{ii'}} \quad (2.138)$$

де

$$L_i(t, \tau) = L_{\zeta} P_0(t, \tau) P_i(t, \tau) \quad (2.139)$$

;

$$L_{ii'}(t, \tau) = L_{\zeta} [1 - P_0(t, \tau) P_i(t, \tau)] \quad (2.140)$$

Підставляючи вирази (2.138) та (2.139) в формулу (2.140), отримаємо:

$$P_{ii'}(t, \tau) = \frac{P_0(t, \tau) P_i(t, \tau)}{P_0(t, \tau) P_i(t, \tau) + [1 - P_0(t, \tau) P_i(t, \tau)]} \quad (2.141)$$

Ймовірність помилки при оцінюванні працездатності ІМС:

$$Q_{i\ddot{a}}(t, \tau) = 1 - P_{i\ddot{a}}(t, \tau) \quad (2.142)$$

Ця ймовірність залежить від помилок при виконанні операцій контролю працездатності і може бути визначена як:

$$Q_{i\ddot{a}}(t, \tau) = 1 - [1 - Q_i(t, \tau)]^\gamma \quad (2.143)$$

де $Q_i(t, \tau) = \frac{v(t, \tau)}{\gamma(t, \tau)}$ - середня ймовірність помилки операції при виконанні даної кількості операцій γ ;

γ – кількість операцій, що виконуються при перевірці працездатності ІМС;

v – математичне очікування кількості операцій з помилками.

З достатньою для практики точністю можна припустити:

$$Q_{i\ddot{a}}(t, \tau) \approx Q_i(t, \tau). \quad (2.144)$$

Надійність контролю працездатності ІМС у цьому випадку:

$$P_{i\ddot{a}}(t, \tau) = 1 - Q_i(t, \tau) \quad (2.145)$$

Надійність контролю працездатності ІМС у цьому випадку:

Визначати працездатність ЦП, складеного з декількох ІМС, можна двома шляхами:

1. Проводити діагностування кожної ІМС за умовним алгоритмом.

Якщо ІМС непрацездатна, то приймається рішення о непрацездатності ЦП, в іншому випадку перевіряють працездатність наступної ІМС. Номер ІМС, яка підлягає діагностуванню, визначається за допомогою умовних алгоритмів. Використання даних алгоритмів дозволяє зменшити кількість операцій для локалізації дефектних цифрових РЕК і, тим самим суттєво скоротити середній час відновлення.

2. Проводити діагностування кожної ІМС, запам'ятовувати ДІ, аналізувати ТС цифрового пристрою після перевірки всіх ІМС.

Визначимо ефективність першого способу діагностування.

Ймовірність того, що після діагностування першої ІМС цифровий пристрій буде визначеним несправним:

$$Q_{2\tilde{N}1}(t, \tau) = Q_{2\tilde{N}1}(t, \tau) Q_{\tilde{m}1}(t, \tau) \quad (2.146)$$

де $Q_{IC1}(t, \tau)$ - ймовірність визначення непрацездатного ЦП після перевірки ІМС 1;

$Q_{\text{пом}1}(t, \tau)$ - ймовірність пропущеного несправного ЦП після перевірки ІМС 1 із-за помилки ПД.

Ймовірність того, що після перевірки працездатності другої ІМС ЦП виявиться несправним:

$$Q_{IC2}^I(t, \tau) = [Q_{IC1}(t, \tau) Q_{\text{пом}1}(t, \tau) + Q_{IC2}(t, \tau)] Q_{\text{пом}2}(t, \tau) \quad (2.147)$$

де: $Q_{IC2}(t, \tau)$ - ймовірність визначення непрацездатного ЦП після перевірки ІМС 2;

$Q_{IC2}(t, \tau) Q_{\text{пом}2}(t, \tau)$ - ймовірність пропущеного несправного ЦП після перевірки ІМС 2 із-за помилки ПД.

Ймовірність непрацездатного стану ЦП при перевірці третьої та четвертої ІМС відповідно

$$Q_{IC3}^I(t, \tau) = \{ [Q_{IC1}(t, \tau) Q_{\text{пом}1}(t, \tau) + Q_{IC2}(t, \tau)] Q_{\text{пом}2}(t, \tau) + Q_{IC3}(t, \tau) \} Q_{\text{пом}3}(t, \tau); \quad (2.148)$$

$$Q_{IC4}^I(t, \tau) = \left\langle \frac{[[Q_{IC1}(t, \tau) Q_{\text{пом}1}(t, \tau) + Q_{IC2}(t, \tau)] Q_{\text{пом}2}(t, \tau) + Q_{IC3}(t, \tau)]^*}{Q_{\text{пом}3}(t, \tau) + Q_{IC4}(t, \tau)} \right\rangle Q_{\text{пом}4}(t, \tau). \quad (2.149)$$

Для другого способу контролю:

$$Q_{IC4}^{II}(t, \tau) = [Q_{IC1}(t, \tau) + Q_{IC2}(t, \tau) + Q_{IC3}(t, \tau) + Q_{IC4}(t, \tau)] Q_{\text{пом}1}(t, \tau) \quad (2.150)$$

Для порівняння ефективності способів діагностування за надійністю припустимо:

$$Q_{\text{пом}1} = Q_{\text{пом}2} = Q_{\text{пом}3} = Q_{\text{пом}4} = Q_{\text{пом}} \quad (2.151)$$

$$Q_{IC1} = Q_{IC2} = Q_{IC3} = Q_{IC4} = Q_{IC} \quad (2.152)$$

Тоді для перевірки L ІМС отримаємо:

$$\begin{aligned} Q_{ICn}^I(t, \tau) &= Q_{пом} Q_{IC} (1 + Q_{IC} + Q_{IC} + Q_{IC} \dots + Q_{IC}) \approx \\ &\approx Q_{IC} Q_{пом} (1 + Q_{IC}), \end{aligned} \quad (2.153)$$

$$Q_{ICn}^{II}(t, \tau) = Q_{IC} Q_{пом} L. \quad (2.154)$$

Відношення ймовірностей непрацездатності ЦП:

$$\frac{Q_{ICn}^I(t, \tau)}{Q_{ICn}^{II}(t, \tau)} = \frac{1 + Q_{IC}}{L} \approx \frac{1}{L} \quad (2.155)$$

З формули (2.155) видно, що перший спосіб зняття ДІ про ТС аналогових і цифрових РЕК в порівнянні з другим є більш надійним і виявляється більш ефективнішим при знятті ДІ з використанням енергодинамічного і електромагнітного методів діагностування.

Фізичні основи отримання ДІ при використанні методів фізичного діагностування ґрунтуються на принципі її транспортування у КТ. При надходженні сигналів на входи ЦП блоків РЕТ відбувається перемикання логічних елементів РЕК. Експериментально встановлено, що наслідком виникнення несправності на рівні РЕК, є зміна значень ДП у контрольних точках ЦП, що дозволяє при виникненні дефекту з високою достовірністю визначити несправний ЦП.

Перевагою методів фізичного діагностування, крім тих, що описані у першому розділі дисертації, є мінімальна кількість КТ, що дозволяє знизити середній час проведення процедури діагностування як складову середнього часу відновлення, що позитивно впливає на виконання вимог керівних документів з підвищення надійності зразків РЕТ.

Важливо зазначити і те, що для кожного методу діагностування існує певна КТ, ДМ, яка дозволяє розраховувати значення ДП. Підтвердження

адекватності ДМ отримані на основі проведених експериментальних досліджень, що підтверджено матеріалами, представленими у даному розділі.

Дані, отримані при проведенні аналізу методів фізичного діагностування, доцільно представити у вигляді порівняльної таблиці 2.2 характеристик методів функціонального та фізичного діагностування.

Таблиця 2.2

Порівняльна таблиця характеристик методів функціонального та фізичного діагностування

МЕТОДИ								
Назва	Функціональний (тестового)	Фізичне діагностування			Комплексне діагностування			
		Енергодинамічного (1)	Енергостатичного (2)	Електромагнітного (3)	1, 2	2, 3	1, 3	1, 2, 3
Контрольні точки (назва та кількість)	Вихідні контакти ЦП (1)	Шина електроживлення ЦП	Шина корпусна ЦП	Антенна над корпусом ЦП	Шина електроживлення ЦП, шина корпусна ЦП	Шина корпусна ЦП, антена над корпусом ЦП	Шина електроживлення ЦП, антена над корпусом ЦП	Шина електроживлення ЦП, шина корпусна ЦП, антена над корпусом ЦП
ДП	Сигнатура	Бжив.	URконтр.	Уант.	Бжив., URконтр.	URконтр., Уант.	Бжив., Уант.	Бжив., URконтр., Уант.
РД	0,999948	0,95	0,97	0,97	0,99985	0,9991	0,99985	0,99995
Глибина	ЦП			ЦП, РЕК	ЦП			
Можливість прогнозування	-	На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу			На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу			
Можливість визначення залишкового ресурсу	-	На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу			На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу			

При наявності несправностей в РЕК цифрових пристроїв, сигнали у КТ або відсутні або змінюють своє значення, тобто виконується умова прояву і транспортування несправності у КТ.

Значення ДП змінюється з часом, що викликано виродженням кристалів напівпровідників. Зважаючи на відсутність статистичних даних про надійність перспективних та існуючих зразків РЕК у початковий період їх експлуатації виникає необхідність проведення форсованих випробувань радіоелектронних компонентів та цифрових пристроїв на надійність, які дозволяють отримати залежності ДП від часу для енергодинамічного, енергостатичного та електромагнітного методів.

Дані залежності використовуються для визначення реального технічного стану ОД, його прогнозування та визначення залишкового ресурсу, що дозволить заздалегідь визначати елементи з критичними

характеристиками та проводити їх заміну під час проведення технічного обслуговування, наслідком чого стане підвищення КГ об'єктів діагностування.

2.9. Обґрунтування доцільності використання результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів на надійність для визначення технічного стану та залишкового ресурсу цифрових пристроїв

При наявності принципової та технічної можливості форсування того або іншого фактора зовнішніх впливів в обов'язковому порядку повинно оцінити припустиму межу його форсування, встановлену з урахуванням збереження якісної картини фізико-хімічних процесів, що визначають накоплення ушкоджень та настання відмови в умовах експлуатації.

Провівши аналіз методів форсованих випробувань, було встановлено, що для РЕК цифрових блоків доцільно застосовувати форсований метод "збільшення режимів роботи виробу " відповідно до класифікації режимів форсування, наведеної на рис. 2.26. Це дозволяє виявити відмови ІС, пов'язані з фізико-хімічними процесами та конструктивно-технологічними факторами, такими як: помилки літографії, дефекти окисла, металізації, контактів; короткі замикання або обриви в провідних шинах, а також між полікремнієм і металом і т.д.

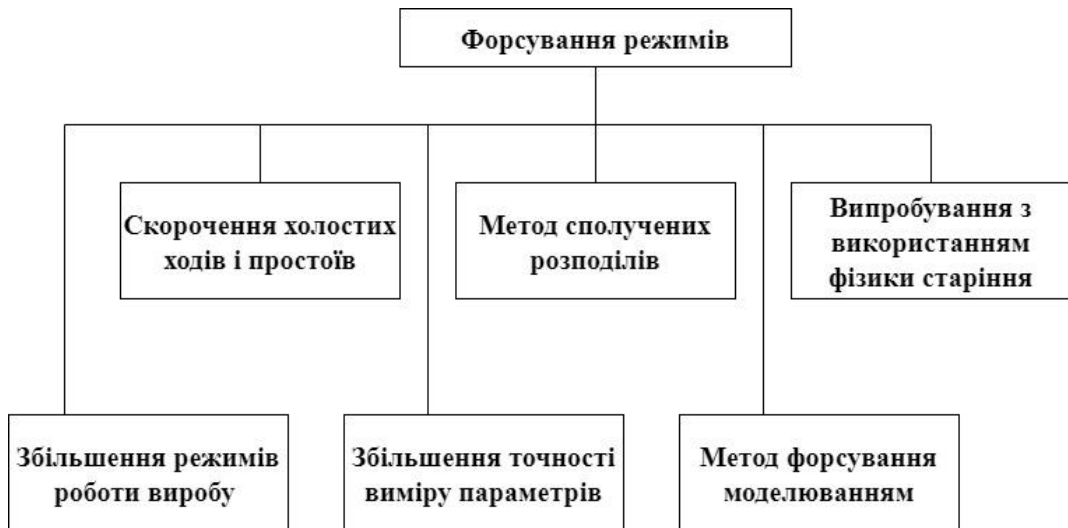


Рис. 2.26 Основні методи форсування режимів

Збільшення режимів роботи виробу відбувається, в першу чергу, за рахунок підвищення діючих навантажень, температур, додавання агресивних реагентів і так далі. Ступінь збільшення режиму повинна вибиратися таким чином, щоб вид і характер старіння елемента при нормальній експлуатації та при форсованому випробуванні був ідентичним [64, 106-108].

Для визначення коефіцієнта прискорення потрібно знати фізико-математичний опис закономірності старіння РЕК від даного параметру (кліматичні умови, механічний вплив тощо). Коефіцієнт прискорення є відношення часу випробувань у звичайних умовах ($t_{зв}$) по відношенню до часу випробування у форсованих режимах ($t_{ф}$) за умови рівності значень вірогідності (ймовірностей) безвідмовної роботи в обох випадках [64, 106-108]

$$K_y = t_{зв}/t_{ф} ,$$

де $t_{зв}$ – параметр у режимі нормальних умовах роботи РЕК; $t_{ф}$ - параметр в умовах прискорених випробувань.

Зважаючи на те, що значення ДП, отриманих при застосуванні методів фізичного діагностування мають аналогову форму, а також відсутність еталонних значень ДП, відповідних часу напрацювання ЦП, з метою визначення ТС цифрових пристроїв, а також визначення їх залишкового

ресурсу, постало питання проведення прискорених (форсованих) випробувань РЕК на надійність. Вивченню питань проведення прискорених випробувань присвячено багато уваги у роботах [64;106-108]. Починаючи з 60-х років моделі і методи аналізу інформації за результатами випробувань виробів в експлуатаційних режимах виявилися недостатніми для рішення визначених завдань з причини неможливості отримати необхідну інформацію у прийнятні строки. Одним із рішень даної проблеми стала розробка методів і алгоритмів оцінки ефективності та надійності систем за результатами форсованих випробувань. Серед багатьох проблем, які вимагали рішення при проведенні форсованих випробувань, були відокремлені дві.

Перша з них полягала у нестабільності виробництва – різні партії однотипних виробів внаслідок особливостей різних підприємств часто мають різні закони розподілу наробітку на відмову [64, 106-108]. З цієї причини статистичні зв'язки між законами розподілу наробітку в різних режимах є нестійкими та можуть змінюватися від партії до партії, що заважає розповсюджувати результати форсованих випробувань, які проводяться звичайними регресійними методами на výroбах однієї з партій на інші партії аналогічних виробів.

Друга проблема форсованих випробувань складних систем (об'єкти РЕТ, шафи, блоки, ЦП), які складаються з великої кількості елементів, полягає у складності визначення коефіцієнта прискорення випробувань. Причина полягає у тому, що форсований режим діє на кожний елемент по-різному, що призводить до зміни коефіцієнта прискорення випробувань для різних елементів [64, 106-108].

Для вирішення першої проблеми було запропонована оцінка зв'язків між функціями розподілу наробітку на відмову, а між випадковими величинами – наробітками на відмову одного і того ж виробу у різних режимах. Згідно принципу інваріантності дані зв'язки не змінюються від партії до партії, так як вони визначаються не особливостями виробництва, а

внутрішньою структурою виробів, які досліджуються. Знаючи зв'язок для виробів однієї з партій, можна застосовувати його для виробів інших партій.

Прискорені випробування проводяться з метою отримання необхідної інформації про характеристики та властивості об'єктів в найбільш короткі строки, чим при нормальних випробуваннях. Прискорені випробування розділяються на скорочені та форсовані. Перші являють собою прискорені випробування без інтенсифікації процесів, які є причиною відмов. Такі випробування виправдані у випадках можливого обґрунтованого прогнозу поведінки об'єктів при наробітку, який перевищує тривалість проведених випробувань. Форсовані випробування – прискорені випробування з інтенсифікацією процесів, які викликають відмови. Результати форсованих випробувань компетентні для нормальних умов експлуатації об'єкта тоді, коли є однозначні залежності між факторами, які впливають, та показниками надійності [64;106-108]. Такі залежності є базовими. Прискорені випробування характеризуються коефіцієнтом прискорення – числом, яке показує, у скільки разів тривалість прискорених випробувань менше тривалості нормальних випробувань по напрацюванню та календарному часу. Параметр, який підлягає прискоренню, є прискорюючим фактором випробувань.

Розглянемо детальніше методи прискорених випробувань, які використовуються на практиці.

Метод лінійного зростання навантаження – метод випробувань, в якому прискорення досягається при лінійному підвищенні навантаженні у часі. Він застосовується при лінійній залежності визначальних параметрів від часу та постійної швидкості деградаційних процесів в умовах експлуатації.

Метод екстраполяції по навантаженню є методом випробувань при деяких підвищених рівнях навантаження та подальшої екстраполяції результатів на нормальний рівень навантаження. Метод застосовується у випадках, коли є однозначна залежність показника, який визначається надійністю від навантаження.

Метод екстраполяції за часом - метод випробувань при нормальних навантаженнях протягом часу, за яке накопичуються відомості про пошкодження, достатні для їх екстраполяції на задане напруження або до настання відмови. Екстраполяцію небажано поширювати на інтервали часу, які перевищують час випробувань більш ніж в 1,5 рази.

Метод одноступінчастого навантаження («доламування») - метод випробувань, в якому об'єкт піддається підвищеному навантаженню після тривалої роботи при нормальному навантаженні. Застосування цього методу є правомірним за умови коректності принципу підсумовування пошкоджень. На практиці цей режим реалізується в такий спосіб: після нормальних випробувань об'єкт піддають форсованим випробуванням до вичерпання ресурсу працездатного стану. Оцінюють залишковий ресурс при форсованому режимі. Порівнюють його з повним загальним середнім ресурсом об'єкта у форсованому режимі. Якщо цих відомостей немає, то проводять випробування нових об'єктів у форсованому режимі для оцінки середнього ресурсу. Порівняння повного і залишкового ресурсу дозволяє оцінити ступінь вичерпання ресурсу в проведених нормальних випробуваннях об'єкта і його повний ресурс в умовах експлуатації.

Метод інтенсифікації наробітку - метод випробувань, в якому форсується період наробітку, застосовується, коли об'єкту притаманний тривалий період наробітку.

Метод еквівалентних випробувань - метод, в якому випробування проводяться при підвищених навантаженнях з аналізом впливу на надійність кожного виду навантаження.

Методи ущільнення графіка випробувань - методи, в яких скорочуються проміжки між циклами випробувань або збільшується швидкість навантаження. У цих методах є ймовірність отримати консервативну оцінку показника надійності.

Метод усічення спектра навантажень - метод випробувань, в якому виключаються режими навантаження, характерні для умов експлуатації, але

слабо впливають на надійність. Застосування цього методу правомірно, коли є повна впевненість щодо слабого впливу на надійність виключених з графіка випробувань режимів.

Метод порівняння з аналогами - метод випробувань у форсованих режимах з порівнянням результатів випробувань з результатами, отриманими на аналогічних об'єктах. Висновки за результатами порівняння можуть поширюватися на ці ж режими або на нормальні умови, в залежності від обсягу і повноти наявної інформації по аналогам.

Результати прискорених і нормальних випробувань повинні бути порівнянні, тобто при ідентичною природі відмови одержувані в цих випробуваннях значення показників надійності повинні бути однакові.

Наприклад, рівність ймовірності безвідмовної роботи, яку за прискорених (індекс «у») і нормальних (індекс «н») випробуваннях, при експоненційному законі її розподілу означає виконання рівності: $\exp(-\lambda_n t_n) = \exp(-\lambda_y t_y)$. Отримавши в прискорених випробуваннях значення інтенсивності відмов, можна оцінити інтенсивність відмов в нормальних умовах зі співвідношення $\lambda_y = \lambda_n k$, вважаючи при цьому, що коефіцієнт прискорення випробувань за часом $k = t_n / t_y$ при обраних навантаженнях еквівалентний коефіцієнту прискорення випробувань за показником надійності (ймовірності безвідмовної роботи).

Основне питання планування прискорених випробувань полягає в наявності базової залежності, яка відображає вплив фактора або навантаження на показник надійності [64;106-108]. Джерелами базових залежностей можуть бути доступні відомості про аналоги. Якщо таких немає, то для знаходження базової залежності проводяться дослідні випробування в необхідному діапазоні зміни параметрів випробувань. Наступний крок - вибір прискорюючого фактора і режиму прискорених випробувань. У будь-якому випадку при плануванні і проведенні прискорених випробувань враховуються результати всіх видів випробувань, проведених при розробці і постановці на виробництво даного виробу.

Основна умова при виборі прискорюючого фактора - незмінність у порівнянні з нормальними умовами фізико-хімічних процесів, що впливають на надійність. Прискорюючий фактор повинен добре контролюватися, легко змінюватися і відтворюватися. Найчастіше цим вимогам задовольняє підвищена температура. Наприклад: при відмовах під впливом термоактивуємих процесів середня інтенсивність відмов (і середнє напрацювання до відмови теж) залежить від температури за законом Арреніуса: $\lambda = \lambda_0 \exp(-E / kT)$. Або, загальноприйнята залежність тривалої міцності від температури T і напруги σ при терміні служби більше 100 тис. годин має вигляд: $T_p = aT^2\sigma^n \exp(b - c\sigma)$, де a , n , b , c – коефіцієнти.

Планування прискорених контрольних випробувань ґрунтується на перевірці гіпотез за критерієм Неймана – Пірсона [64;106-108]. При абсолютній впевненості у правильності і достовірності базової залежності нормативи в прискорених випробуваннях можна знайти простим перерахуванням встановленого нормативу (для нормальних умов) на умови форсованих випробувань по параметру, який визначається. Однак це ідеальний випадок, що не реалізується на практиці. Неабсолютності точності базової залежності збільшує невизначеність результату прискорених випробувань з точки зору ризиків неправомірного застосування гіпотез.

Використання методів функціонального діагностування, які широко застосовуються до об'єктів РЕТ, що експлуатуються, ускладнюють можливість проведення прогнозування їх ТС з високою вірогідністю. Це викликано “природними” труднощами діагностування, обумовленими тим, що на виході ЦП буде сформована реакція (послідовність імпульсів), яка відповідає його справному ТС при наявності як справних РЕК, так і тих, що мають критичні характеристики або такі, що наближуються до них. З цієї причини передбачити час відмови складових блоків РЕТ з використанням відомих методів дуже складно.

Форсовані випробування на надійність РЕК дозволили отримати наближені залежності ДП від часу, використання яких в поєднанні з

методами фізичного діагностування (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) надасть потужний інструмент для визначення реального ТС, а також для здійснення прогнозування та визначення залишкового ресурсу, запровадження чого запропоновано для побудови нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ. При цьому важливим питанням є обґрунтування вибору інтервалу прогнозування, який залежить від значень ДП, отриманих під час попередніх перевірок.

У [67] за результатами випробувань та статистичної обробки було визначено динаміку зміни ДП – вихідного струму напівпровідникової ІС та підтверджено запропоновані ДМ радіоелектронних компонентів, які враховують фізико-хімічні процеси в напівпровіднику (рис. 2.27). На рисунку позначено: $I_{дп}$ – ДП; $I_{дп доп.}$ – допустиме значення ДП; $I_{ном.}$ – номінальне значення ДП; $t_{кр.}$ – критичний час напрацювання РЕК; $t_{доп.}$ – допустимий час напрацювання РЕК, B_1, B_2 – виміряні значення ДП на місці експлуатації; B'_1, B'_2 – екстрапольоване значення ДП при визначенні часу відмови РЕК.

До явищ, які можуть призвести до зміни ДП (збільшення опору - зменшення струму напівпровідникового РЕК) відноситься електродифузія, корозія та окислювання металізації, механізм деградації металевих плівок та якості внутрішніх контактних з'єднань [67; 109-111].

Можливі наступні випадки.

З часом ДП зростає за експоненціальним законом, причиною чого є деградаційні процеси (ендогенні фактори), які відбуваються у кристалі напівпровідника [67; 109-111]. У випадках, коли ДП може приймати значення, які відповідають області під лінією мінімальних значень, ТС теж вважається справним.

Екзогенними факторами є вплив полів, які випромінюються джерелами, що оточують досліджуваній РЕК. До них відносяться інші РЕК зі складу даного ЦП, РЕК зі складу інших ЦП, інші випромінювання джерел, які не відносяться до об'єкта РЕТ [67; 109-111].

Варто відмітити те, що значення ДП можуть бути поза межами “коридору”, який обмежений лініями, що відображають його мінімальні та максимальні значення. При цьому технічний стан РЕК вважається справним, якщо значення ДП не більше 0,9 критичного значення. Якщо значення ДП досягло зазначеного рівня, приймається рішення щодо заміни ЦП.

Випадок перший (крапка А). Значення ДП лежить в межах довірчого інтервалу (відносно математичного очікування). Результат вимірювання і порівняння свідчить про справний ТС та (з великою долею ймовірності) можливість подальшого використання цифрового блоку за призначенням [67].

Випадок другий (крапка В). Значення ДП перевищує еталонне значення (перевищило довірчий інтервал в бік збільшення вихідного струму [67]).

Випадок третій (крапки С, D). Отримане значення ДП менш еталонного значення (перевищило довірчий інтервал в бік зменшення вихідного струму) [67].

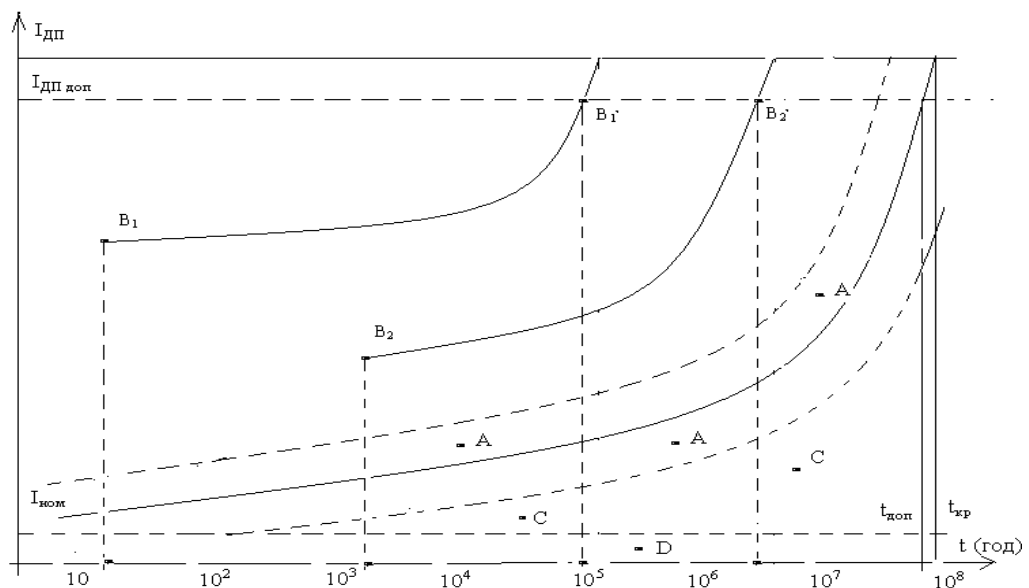
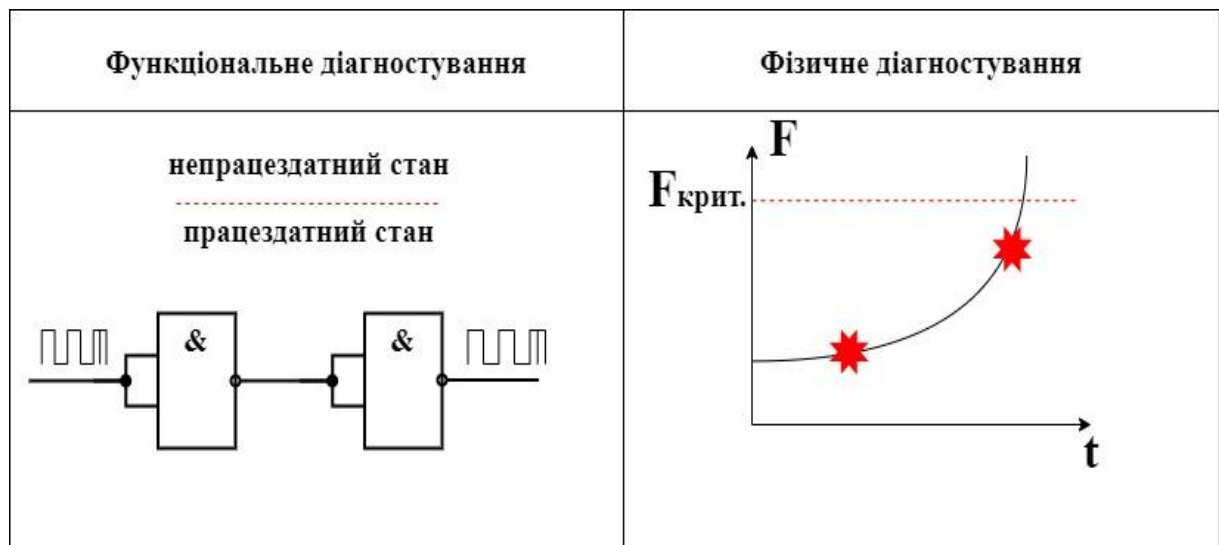


Рис. 2.27. Залежність діагностичного параметру від часу (наближена)

Значення ДП - вихідного струму в шині електроживлення кожної з ІС як залежності від часу напрацювання будуть занесені в БД інтелектуальної системи. При діагностуванні ЦП буде здійснюватись звертання до БД для

визначення за відомим значенням ДП кожної ІС часу її напрацювання на відмову. Крім того, програма передбачатиме вибір результатів вимірювань тих значень, які мають найменше відхилення від еталонного.

Отже, можна зробити висновок, що залежності, представлені на рис. 2.27., мають надзвичайне практичне значення для визначення ТС та залишкового ресурсу ЦП, що дозволяє з достатньо високою достовірністю визначити показники надійності об'єкта РЕТ. Зазначене стало можливим завдяки отриманим залежностям ДП від часу при проведенні форсованих випробувань ЦП (РЕК) з використанням методів фізичного діагностування: енергодинамічного, електромагнітного та енергостатичного (рис. 2.29., 2.30., 2.31.).



Фрагмент цифрового пристрою
(елементи 2І-НІ)

Залежність значення діагностичного
параметру від часу

Рис 2.28. Відмінність функціонального діагностування від фізичного

Рис. 2.28 ілюструє відмінність функціонального діагностування від фізичного, яке в своїй основі має енергодинамічний, енергостатичний та електромагнітний методи. Зважаючи на те, що сигнали у цифровій техніці представлені рівнями “логічного нуля” та “логічної одиниці” використання методів функціонального діагностування, які широко застосовуються до об'єктів РЕТ, що експлуатуються, при існуючій СТОіР, ускладнюють

можливість проведення прогнозування їх ТС з високою вірогідністю. Це обумовлено тим, що на виході ЦП формується реакція (послідовність імпульсів), яка відповідає його справному ТС при наявності як справних РЕК, так і тих, що мають критичні характеристики або наближуються до них. З цієї причини передбачити час виходу зі строю складових блоків РЕТ з використанням зазначених методів дуже складно.

У таблиці 2.3 показані значення вхідних та вихідних сигналів для фрагменту схеми ЦП, представленого на рис. 2.29.

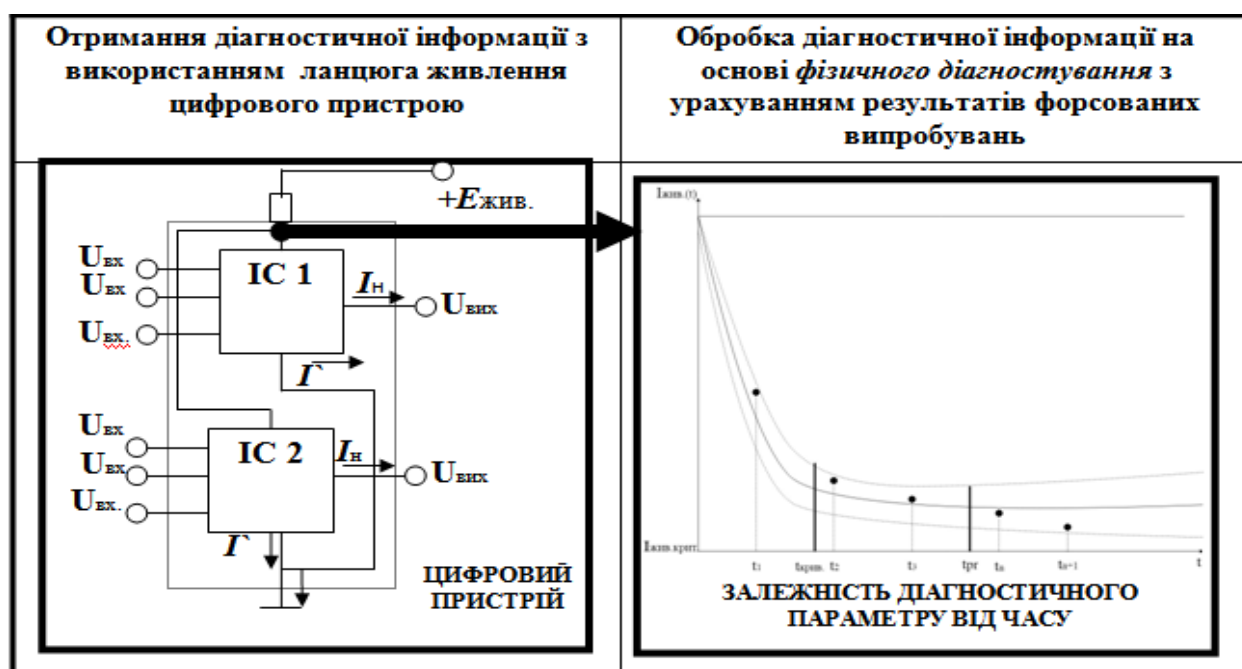


Рис. 2.29. Отримання діагностичної інформації з використанням ланцюга електроживлення цифрового пристрою та її обробка на основі фізичного діагностування з урахуванням результатів форсованих випробувань

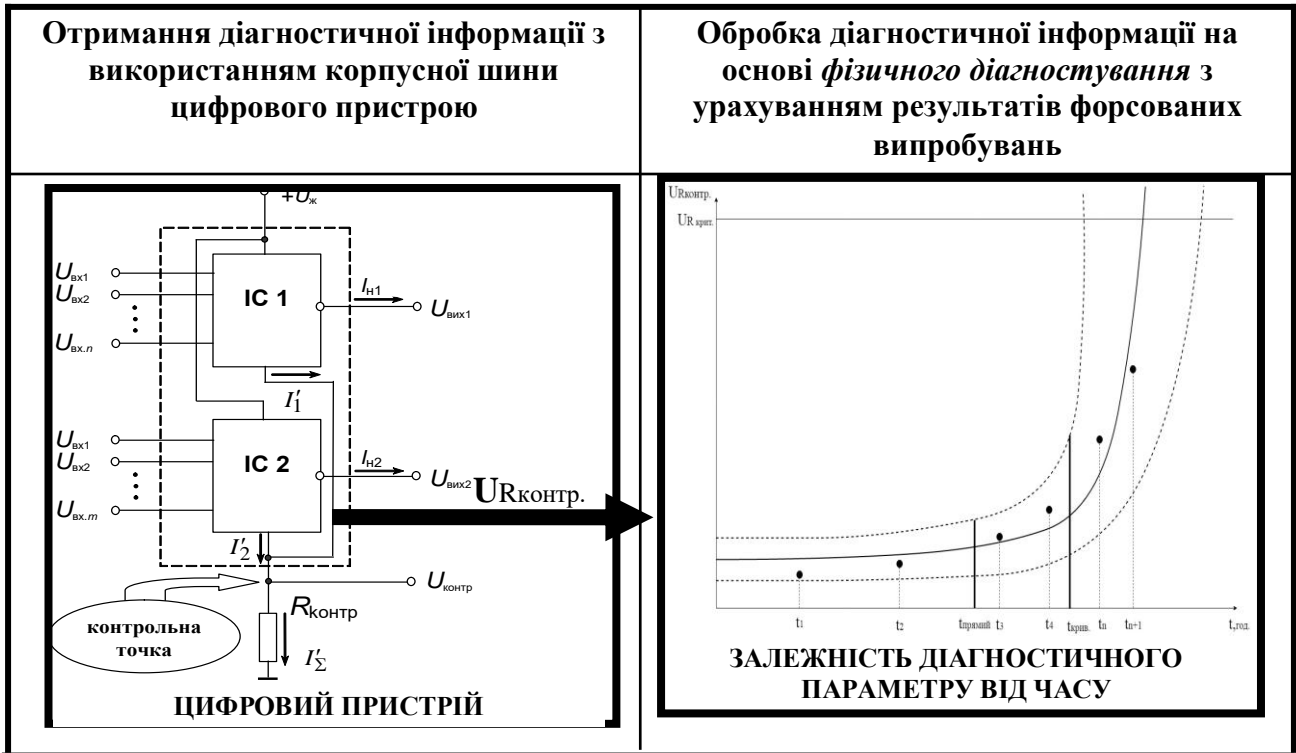


Рис. 2.30. Отримання діагностичної інформації з використанням корпусної шини цифрового пристрою та її обробка на основі фізичного діагностування з урахуванням результатів форсованих випробувань

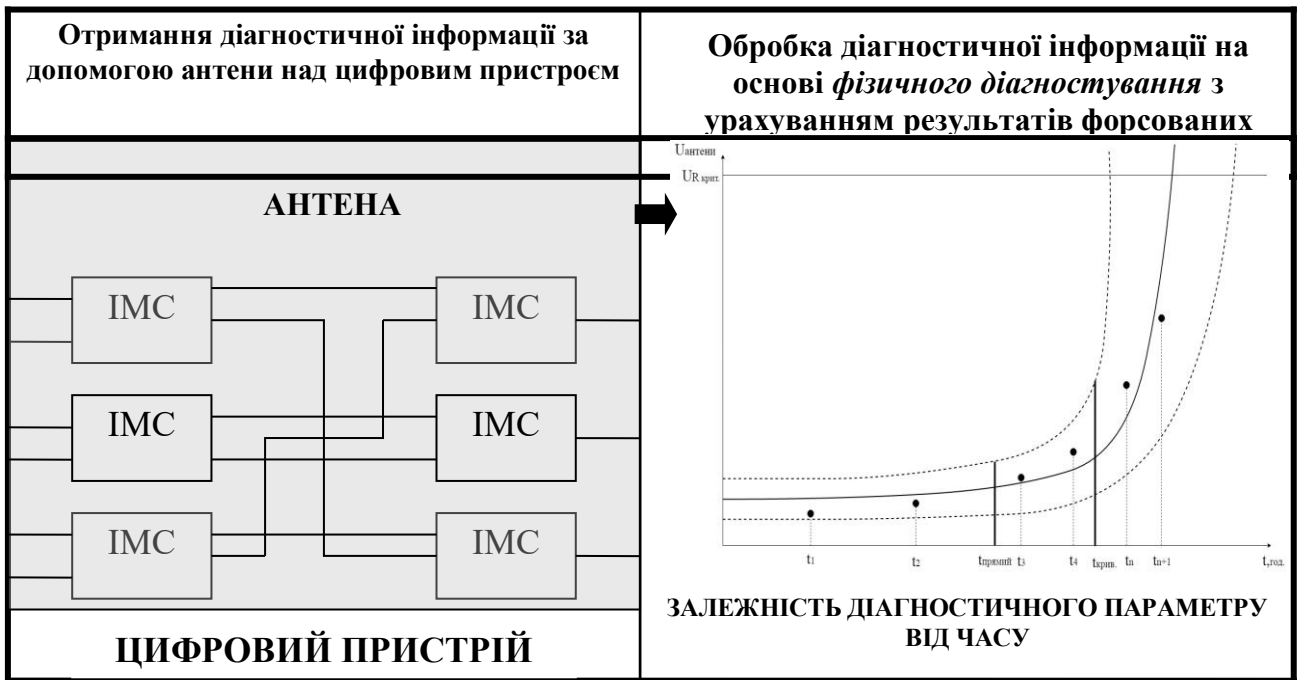


Рис. 2.31. Отримання діагностичної інформації за допомогою антени над цифровим пристроєм та її обробка на основі фізичного діагностування з урахуванням результатів форсованих випробувань

Викладені результати фізичного діагностування ЦП та форсованих випробувань РЕК створюють умови для розробки методу діагностування ЦП радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань на надійність РЕК.

Такий підхід відрізняється від функціонального діагностування, яке дозволяє визначити ТС тільки у даний момент часу, після чого через непередбачуваний час ЦП виходить зі строю. Крім того, функціональне діагностування не дозволяє проводити прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу з достатньо високою достовірністю.

Таблиця.2.3.

Значення вхідних та вихідних сигналів для фрагменту схеми ЦП

№	Метод діагностування	Контрольна точка	Діагностична модель	Діагностичний параметр
1	Енергодинамічний	Шина електроживлення цифрового пристрою	$I_{жив.}(t) = I_0 e^{-(at)^2}$	Струм у ланцюзі живлення
2	Енергостатичний	Корпусна шина цифрового пристрою	$I_{жив.}(t) = I_0 e^{-(at)^2}$ $\Phi_{ун}[(n - n_0)T]X[n_0T]$	Напруга на додатковому резисторі
3	Електромагнітний	Антенний пристрій	$\Phi_{ун}[(n - n_0)T]X[n_0T]$	Напруга в антені

,де $I_{жив.}(t)$ - струм у ланцюзі електроживлення, a – коефіцієнт форми,

I_0 – значення струму імпульсів квазікороткого замикання у початковий момент часу,

$U_{цп}$ - напруга на додатковому резисторі в усталеному режимі,

$C_{рцп}$ - розширена матриця,

$\Phi_{цп}$ - матриця переходу,

E_a – значення електрорушійної сили у антені,

I_m – максимальне значення струму,

l – довжина антени,

ω – циклічна частота коливань,

ϵ_a – діелектрична проникність.

r^2 – відстань між кристалом ІМС та антени.

Дані залежності використовуються для визначення реального ТС об'єктів діагностування, його прогнозування та визначення залишкового ресурсу, що дозволить заздалегідь визначати елементи з критичними характеристиками та завчасно проводити їх заміну, наслідком чого стане підвищення Кг об'єктів діагностування. Такий підхід принципово відрізняється від функціонального діагностування, яке дозволяє визначити ТС тільки у даний момент часу, після чого через непередбачуваний час ЦП виходить зі строю. Крім того, функціональне діагностування не дозволяє проводити прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу.

Отже, вперше розроблені концептуальні основи отримання діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та її обробки в автоматизованій системі технічної діагностики з урахуванням результатів форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, а також прогнозування залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі інформаційних технологій, що є **першим науковим результатом**.

Наукова новизна полягає в тому, що вперше запропоновано визначати технічний стан цифрового пристрою на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань комплектуючих компонентів на надійність, що дозволяє проводити визначення технічного стану з заданою достовірністю, а також прогнозування залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі інформаційних технологій.

Сукупність методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань РЕК на надійність з використанням інформаційних технологій являє собою наукове підґрунття для розробки методології побудови АСТД.

Висновки до розділу 2

1. В розділі показано, що при застосуванні енергостатичного,

енергодинамічного, електромагнітного методів діагностування, які є основою фізичного діагностування, відбиваються дефекти у контрольних точках на значенні діагностичного параметру, який відповідає кожному з зазначених методів, що відображено у табл. 2.3.

2. З огляду на дотримання вимог до постійно зростаючих показників надійності РЕТ показані переваги фізичного діагностування над функціональним та доведена доцільність його використання. Втім, показано, що відомі методи дозволяють визначати технічний стан в даний момент часу, при цьому через непередбачуваний час цифровий пристрій, стан якого визначений справним, виходить зі строю. Це дозволяє дійти висновку, що застосування зазначених методів діагностування не дозволяє визначати реальний технічний стан цифрового пристрою з високою достовірністю, а також проводити його прогнозування.

3. Показано, що при застосуванні запропонованих методів відбиваються дефекти у КТ на значенні, яке змінюється з часом, що дозволяє в процесі експлуатації об'єктів РЕТ при проведенні діагностування отримати залежності ДП від часу.

4. Показано, що форсовані випробування на надійність РЕК дозволили отримати наближені залежності ДП від часу, використання яких в поєднанні з методами фізичного діагностування (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) надасть потужний інструмент для визначення реального ТС цифрових пристроїв блоків РЕТ існуючого та перспективного парку, а також для здійснення прогнозування та визначення їх залишкового ресурсу, запровадження чого запропоновано для побудови нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ.

5. Обґрунтоване використання ДМ для визначення значень ДП у будь-який період “життєвого циклу” ЦП, що дозволяє з урахуванням результатів форсованих випробувань на надійність виконання функцій технічної діагностики, а саме визначати ТС, проводити його прогнозування та визначати залишковий ресурс ЦП.

б. Вперше розроблені концептуальні основи отримання діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та її обробки в автоматизованій системі технічної діагностики з урахуванням результатів форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, а також прогнозування залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі інформаційних технологій.

Основні наукові результати розділу опубліковані у [98;151,160-162] та доповідалися на воєнно-наукових, науково-технічних, науково-практичних конференціях і семінарах [102;165,167].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

У розділі представлена розробка методології побудови автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ на основі інформаційних технологій, у ході проведення якої, були вирішені наступні завдання:

- з метою підвищення достовірності діагнозу з урахуванням результатів форсованих випробувань РЕК на надійність був розроблений комплексний метод діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування, що дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування;

- розроблено метод отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність, що дозволяє підвищити значення комплексного показника надійності;

- обґрунтовано вибір параметричних методів та показано їх місце серед методів оцінки та прогнозування ресурсу обладнання складних систем;

- показані особливості прогнозування технічного стану ЦП на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань;

- представлено обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв РЕТ;

- представлений алгоритм локалізації дефектного не відновлювального елемента зі складу ЦП, а також показана важливість збору апостеріорної інформації про час виходу зі строю РЕК та їх тип, що в подальшому дозволить вжити заходи щодо збільшення їх наробітку на відмову;

- розроблені загальний алгоритм визначення часу наступної перевірки ТС цифрового пристрою та алгоритм визначення часу наступної перевірки ТС у випадках, коли значення ДП знаходиться поза межами “коридору”;

- представлені математичні моделі обробки ДП, отриманої завдяки застосуванню енергодинамічного, енергостатичного та електромагнітного методів діагностування для різних ланок графіку залежності ДП від часу. В основу моделей покладений метод найменших квадратів, вибір якого обумовлений тим, що отримані залежності ДП від часу являють собою функції, побудовані на основі їх усереднених значень, а також його високими результатами апробації;

- представлені штучні нейронні мережі для ІСД, що використовуються для її навчання, та обґрунтований вибір її архітектури;

- розроблена структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування;

- розроблена блок-схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування цифрових пристроїв;

- доведена доцільність використання інтелектуальної системи для здійснення третьої функції технічної діагностики – прогнозування ТС та залишкового ресурсу ЦП блоків РЕТ;

- формалізовані рішення задач технічної діагностики з використанням інформаційних технологій у вигляді розроблених алгоритмів.

3.1. Розробка математичної моделі та комплексного методу діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування

Достовірність технічного діагностування є ступенем об’єктивної відповідності результатів діагностування ТС об’єкта. Достовірність діагностування, яке завжди було актуальним завданням, залежить від багатьох факторів. У роботах [9-11;30,36,38,49;54,55,61,62,70,77,78,84-

97;160-162] були представлені методи фізичного діагностування: енергодинамічний, енергостатичний, електромагнітний. Достовірність енергодинамічного методу складає 0,95, енергостатичного 0,97, електромагнітного 0,97.

Для ЦП, які відпрацювали багато часу, дуже важливо проведення діагностування з високою достовірністю. Комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності залежить від достовірності діагностування, що видно з формули [24]:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B} = \frac{T_o P}{T_o P + T_{\text{пр}}}, \quad (3.1)$$

де P – достовірність діагностування,

T_o – середній наробіток на відмову,

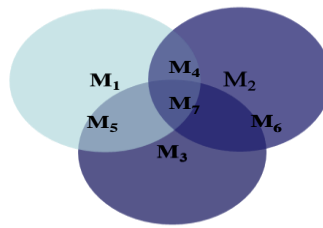
T_д – середній час діагностування,

K_г – коефіцієнт готовності,

T_{пр} – середній час поточного ремонту.

З метою підвищення достовірності діагнозу з урахуванням результатів форсованих випробувань РЕК на надійність був розроблений комплексний метод діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування, що дозволяє підвищити достовірність результатів діагностування, що складає **другий науковий результат**.

Зважаючи на фактор перевищення термінів експлуатації об'єктів РЕТ, постійно зростаючи вимоги до показників надійності зазначених об'єктів, високу достовірність діагностування складових об'єктів критичної інфраструктури вимагається [112,113], запропоновано комплексне використання трьох методів фізичного діагностування (рис.3.1, 3.2).



$$M_I = M_1 \cup M_4 \cup M_5 \cup M_7$$

$$M_{II} = M_2 \cup M_4 \cup M_6 \cup M_7$$

$$M_{III} = M_3 \cup M_5 \cup M_6 \cup M_7$$

Рис. 3.1. Діаграма, яка ілюструє достовірність діагностування при комплексному використанні методів фізичного діагностування

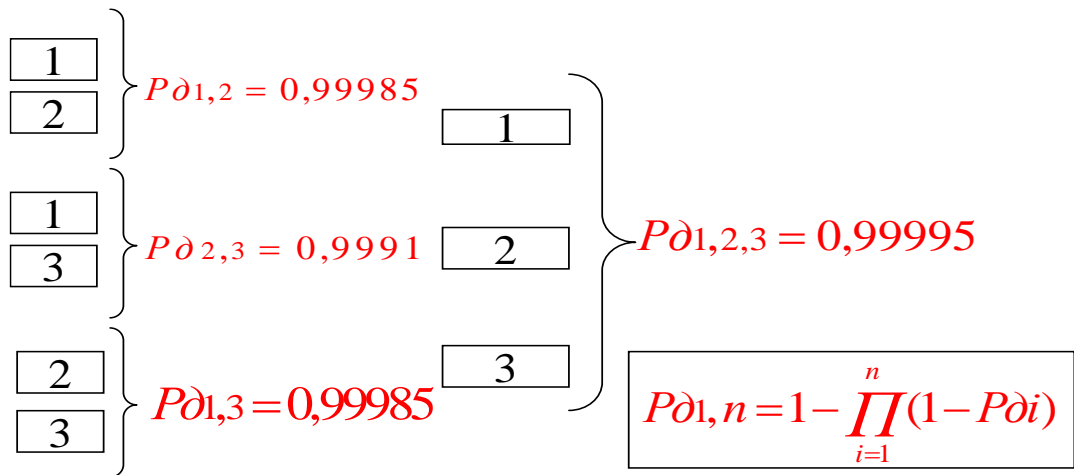
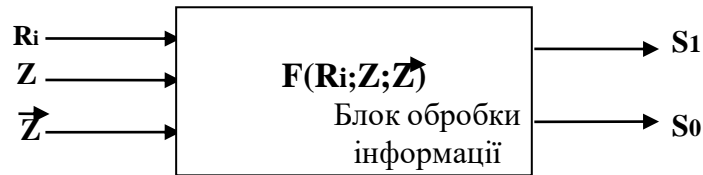


Рис. 3.2. Розрахунок достовірності діагностування при комплексному використанні методів фізичного діагностування

Далі представимо математичну модель для комплексного методу діагностування, що приведена на рис. 3.3 та блок-схему обробки ДІ, отриманої з використанням методів фізичного діагностування ЦП на рис.3.5.



S – технічний стан; S_1 – справний технічний стан;

S_0 – несправний технічний стан;

R_i - моделі форсованих випробувань;

Z - діагностичний параметр;

$\vec{Z} = \left\{ \begin{array}{l} \text{тип ЦП; } N - \text{кількість елементів ЦП; серія елементів; рік} \\ \text{виготовлення ЦП; } t_0; \text{ умови експлуатації (польові або} \\ \text{стаціонарні); } m - \text{кількість проведених ремонтів.} \end{array} \right\}$

$F_n(R_n; Z_n; \vec{Z}_n)$ – функціонал;

$S(Z_1), S(Z_2), S(Z_3)$ – технічний стан, визначений методами Z_1, Z_2, Z_3 відповідно.

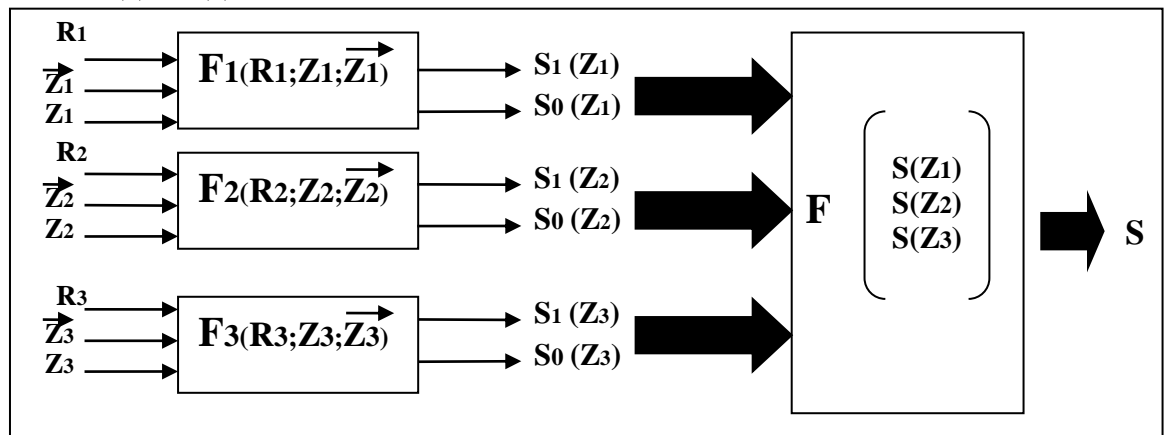


Рис. 3.3. Математична модель комплексного методу діагностування

3.2 Розробка методу отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність

Вперше розроблений метод отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих

випробувань цифрових пристроїв на надійність, що дозволяє підвищити значення комплексного показника надійності, що є **третім науковим результатом**.

1. Призначення: обробка діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування.
2. Вихідні дані: серія інтегральних схем, кількість РЕК цифрового пристрою, значення довірчого інтервалу ДП цифрових РЕК.
3. Обмеження: ЦП.
4. Припущення: наявність блоку спряження сигналів.
5. Приклад використання: цифрові пристрої РЕТ.
6. Ефект: коефіцієнт готовності збільшиться на 5-9%.
7. Наукова новизна полягає в тому, що вперше запропоновано проводити обробку ДІ, отриманої за допомогою методів фізичного діагностування з урахуванням результатів форсованих випробувань.

Далі представимо алгоритм визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі комплексування методів фізичного діагностування, що приведений на рис. 3.4 [115,118].

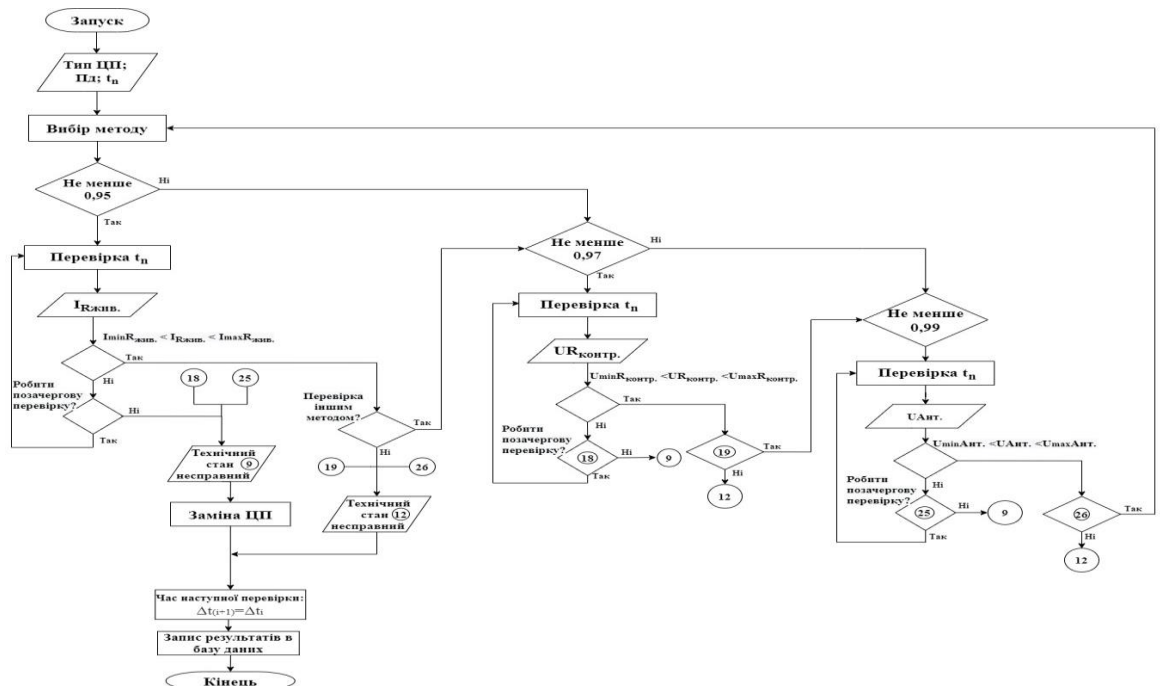


Рис. 3.4. Алгоритм визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі комплексування методів фізичного діагностування

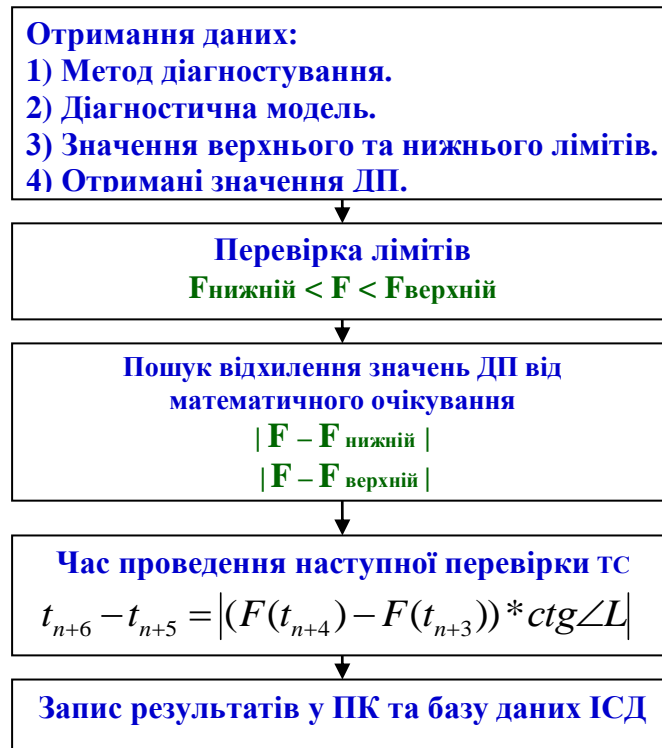


Рис. 3.5. Блок-схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування цифрових пристроїв

3.3. Розробка методу визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції

Математичний опис процесу обробки ДІ ґрунтується на використанні математичних моделей, отриманих для кожного з методів діагностування. Кожна з них являє собою аналітичний вираз, що дозволяє отримати усереднені значення ДП на основі методу найменших квадратів і представляє собою функцію зміни ДП від часу як результат діагностування з використанням методів фізичного діагностування, що дозволяє отримати залежності ДП, від часу в ході експлуатації.

Математична модель обробки ДІ є аналітичним виразом, який дозволяє отримати усереднені значення ДП на основі методу найменших квадратів і представляє собою функцію ДП від часу як результат діагностування з

використанням методів фізичного діагностування. Крім того, дані залежності розглядаються як прогностичні функції та дозволяють проводити прогнозування ТС об'єктів РЕТ. Отримані характеристики показують життєвий цикл РЕК [67], а використання їх значень як еталонних дозволить з заданою ймовірністю визначати реальний технічний стан РЕК на основі порівняння цих значень з тими, що отримані у ході експлуатації зразка РЕТ. У випадку, коли значення лежить в межах довірчого інтервалу, приймається рішення про справний ТС.

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 ДЗ та використання ІСД [167-170]. Застосування методів фізичного діагностування дозволило отримати значення ДП та показало їх зміну з часом, яка обумовлена деградаційними процесами у кристалах цифрових РЕК. Визначення ТС 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 [67]. 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 ТС та визначення залишкового ресурсу ЦП.

Математичний опис процесу обробки ДП 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” [67,118] 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 крапкових 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 ЦП, для енергостатичного методу буде мати вигляд [118]:

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 U_{R_{\text{контр.}}}(t) = \left(\sum_{i=1}^k (U_{R_{\text{форс.}}}(t) - U_{R_{\text{контр.}}}(t)) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (3.2)$$

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;

для електромагнітного методу буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 U_{\text{Ант.}}(t) = \left(\sum_{i=1}^k (U_{\text{Ант.форс.}}(t) - U_{\text{Ант.}}(t)) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

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

для енергодинамічного методу буде мати вигляд:

$$\sum_{i=1}^k \Delta^2 I_{R_{\text{жив.}}}(t) = \left(\sum_{i=1}^k (I_{R_{\text{жив.форс.}}}(t) - I_{R_{\text{жив.}}}(t)) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (3.4)$$

де $I_{R_{\text{жив.форс.}}}(t)$ - 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 електроживлення.

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 $U_{\text{теор.}}(t) = a_2 t^2 + b_2 t + c$, для третього ступеня $a_2 t^3 + b_2 t^2 + c t + d$, для n -го $(a_2 t^n + b_2 t^{n-1} + c - U_{\text{Ант.}})^2$ де a_2, b_2, c, d - коефіцієнти.

$$\Delta^2 = (F_{\text{теор.}}(t) - F_{\text{практ.}}(t))^2 = (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \rightarrow \min, \quad (3.5)$$

$$F(ab) = \sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

$$F'(a; b; c; d) = 0, \quad (3.7)$$

$$F(a; b) = \left(\sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \right)' = 0, \quad (3.8)$$

$$\left(\sum_{i=1}^k (at + b - F_{\text{практ.}}(t))^2 \right)' = 0 \quad (3.9)$$

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 3.1 (результати моделювання значень діагностичних параметрів).

Таблиця 3.1.

Результати моделювання значень діагностичних параметрів

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

На рис. 3.6. представлений алгоритм визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі комплексування методів фізичного діагностування

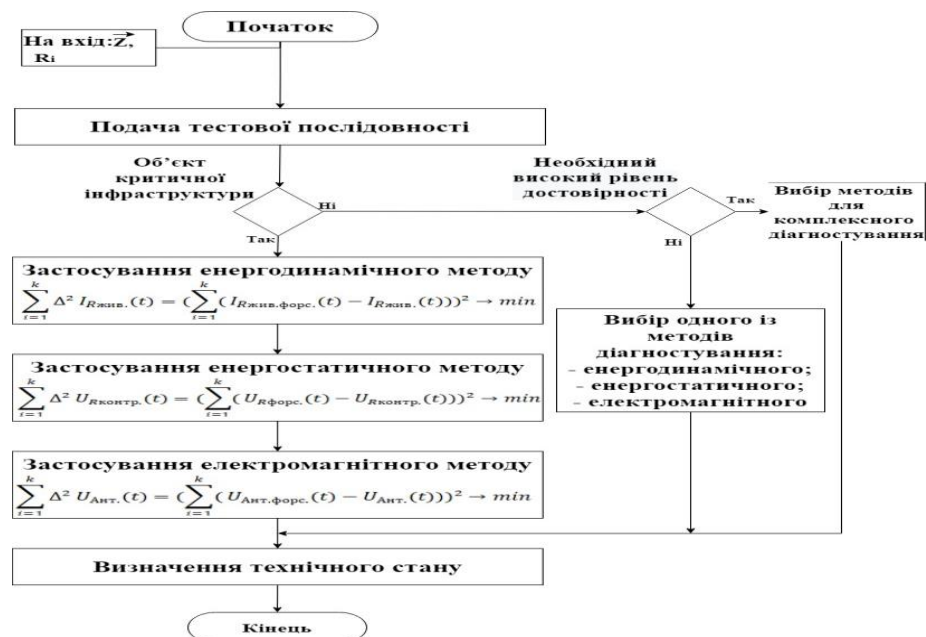


Рис. 3.6. Алгоритм реалізації визначення технічного стану з використанням форсованих випробувань та методів фізичного діагностування

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 діагностичними моделями для обробки ДП. Загальний алгоритм обробки ДП, отриманої з використанням методів фізичного діагностування, представлений на рис. 3.7 [112].

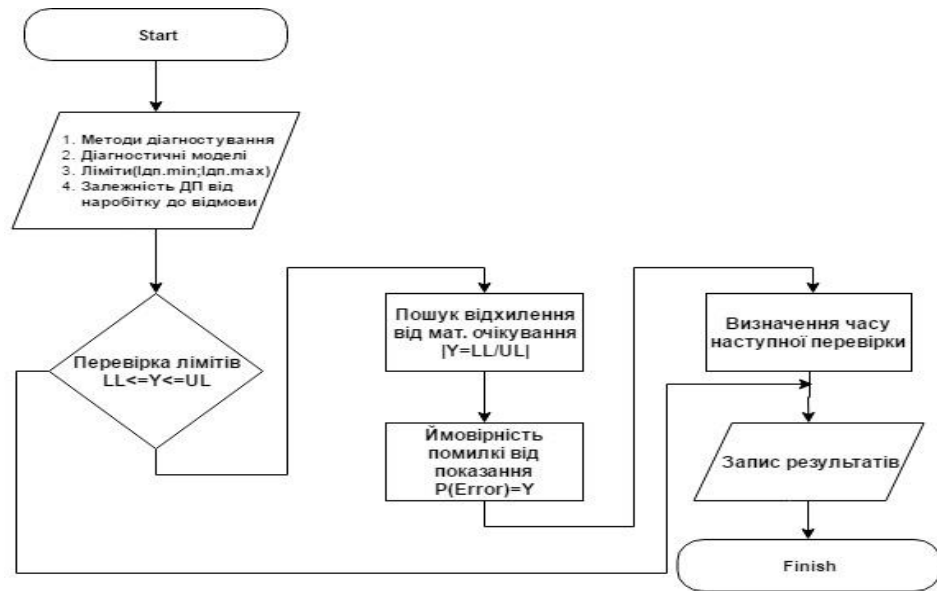


Рис. 3.7. Алгоритм обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування

Пояснення до позначень алгоритму: вихідними даними є методи діагностування, ДМ, ліміти – допустимі значення ДП, залежності ДП від наробітку на відмову.

Робота заснована на порівнянні значень ДП, отриманих при діагностуванні методами фізичного діагностування, та тих, що отримані при проведенні форсованих випробувань РЕК на надійність. Ліміти являють собою мінімальні та максимальні значення ДП, отримані у ході проведення прискорених випробувань.

ДМ являють собою аналітичні вирази, які дозволяють розрахувати значення ДП для кожного з методів діагностування і були представлені у другому розділі роботи.

Застосування розробленого методу визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції, що дозволить підвищити точність оцінки технічного стану цифрових пристроїв, що є **четвертим науковим результатом**.

Сукупність зазначених методів діагностування з результатами форсованих випробувань на надійність РЕК, а також створення методу обробки ДП являє собою нову методологію, яку доцільно використовувати для побудови перспективної АСТД [161] радіоелектронної техніки. Її впровадження дозволить при забезпеченні високого рівня безпеки зменшити кратність резервування блоків РЕТ, що призведе до заощадження значних фінансових витрат держави. Наслідком впровадження цієї системи є зменшення кількості поступових відмов ЦП блоків РЕТ, що призводить до зниження середнього часу відновлення та збільшення значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності. Наявність залежностей ДП від часу наробітку, отриманих в ході проведення форсованих випробувань РЕК на надійність [67], дозволить з достатньо високою вірогідністю проводити прогнозування залишкового ресурсу ЦП, здійснення якого потребує обґрунтування вибору інтервалу прогнозування та побудови алгоритму його визначення.

Відомо, що надзвичайно важливою інформацією для оцінки ресурсу обладнання складних систем, є статистичні дані їх реальної експлуатації. Для визначення показників на основі експлуатаційних даних застосовують два методи [64]:

- непараметричний – при невідомому законі розподілу наробітку на відмову, який включає безпосередню оцінку показників надійності за вибірковими даними;
- параметричний – при відомому законі розподілу параметрів, що входять у розрахункову формулу показника надійності, а оцінку показників надійності – за розрахованими оцінками параметрів закону розподілу.

Метод оцінки та прогнозування ресурсу обладнання об'єктів РЕТ, що використовується, згідно з класифікацією, наведеною на рис. 3.19. [64], відноситься до параметричних, які входять до складу фізико-статистичних методів оцінки та прогнозування.

Розподіл значень діагностичних параметрів РЕК, з яких складається ЦП, підпорядковується нормальному закону, що треба враховувати при проведенні прогнозування стану ЦП. При експлуатації об'єктів РЕТ з часом збільшується середнє квадратичне відхилення значення ДП від його математичного сподівання [116]. Для поступових відмов, що розглядаються, однією з причин, яка викликає це збільшення, є деградаційні процеси у кристалах цифрових РЕК.

Другою функцією технічної діагностики є локалізація несправних елементів [117].

3.4. Удосконалення методу локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань

З огляду на можливі результати проведення діагностування технічного стану РЕК з використанням результатів форсованих випробувань розглядається три випадки: значення ДП можуть відповідати нормі, бути критичними, або відповідати технічно несправному стану РЕК.

Для визначення несправного елемента на рівні не відновлювального використовуються безумовні або умовні алгоритми [24]. Відомо, що безумовний алгоритм застосовується при поелементній перевірці і кількість кроків для пошуку несправного елемента визначається практично кількістю елементів схеми.

Застосування пошуку елементів, коли чергова перевірка буде залежати від результатів попередньої, є умовним алгоритмом, кількість кроків якого в загальному випадку менше, ніж у безумовному.

В якості науково-методичного апарату застосовуються таблиці функцій несправностей, яка являє собою універсальну явну модель ОД та застосовують при для побудови перевірочних та діагностичних тестів об'єктів довільної природи (аналогових та цифрових) [24]. Важливо відмітити те, що звичайно таблиці функцій несправностей будують виходячи з того, що в ОД можуть бути тільки поодинокі несправності.

Таблиця функцій несправностей дозволяє побудувати умовний алгоритм пошуку несправного елемента та розрахувати мінімальну, середню та максимальну кількість кроків для здійснення даного пошуку.

Наприклад, для схеми, яка складається з шести послідовно з'єднаних елементів, використання принципу дихотомічного ділення дозволить відшукати несправний елемент за мінімальну кількість кроків - 2, а максимальну - 3.

Варто відмітити те, що виграш при використанні умовного алгоритму пошуку в порівнянні з безумовним зростає відповідно до кількості елементів, які містить ЦП. Кількість кроків (K) визначається за формулою [76]:

$$K = \log_2 L,$$

де L – кількість елементів ОД.

Надійність РЕТ залежить від багатьох причин. До них відносяться якість технологічного процесу виробництва, яка впливає на чистоту кристала, а також умови експлуатації, які визначаються кліматичними, механічними, хімічними факторами, якістю технічного обслуговування та поточного ремонту. Від інтенсивності комплексної дії зазначених факторів залежить швидкість старіння елементів та час виходу їх зі строю. Їх треба враховувати при визначенні часу перевірки технічного стану РЕТ, проведення діагностування, від своєчасності та якості якого залежить середній час наробітку на відмову ЦП i , як наслідок, блоків РЕТ, тобто завчасна діагностика дозволить заздалегідь провести заміну ЦП з критичними характеристиками, в чому і полягає упередження відмови.

Ймовірність безвідмовної роботи ЦП підпорядковується експоненціальному закону розподілу [24,120], який представлений на рис. 3.8.

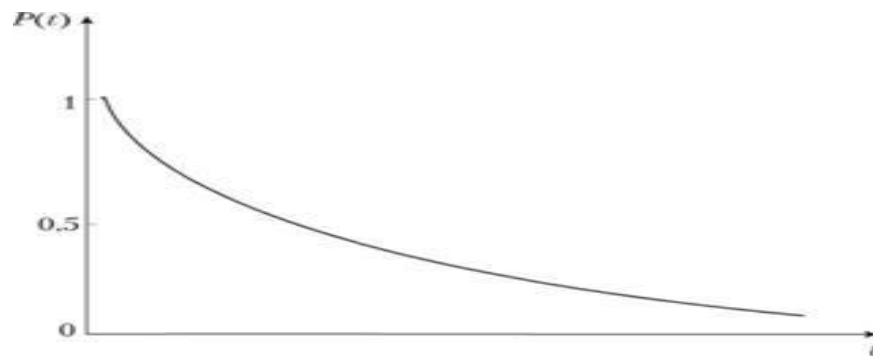


Рис. 3.8. Експоненціальний закон розподілу безвідмовної роботи

Кількість відмов ЦП у період нормальної експлуатації за рік представлена у таблиці 1.2 розділу 1. Визначення ТС з використанням методів фізичного діагностування дозволить упередити певну кількість відмов за рахунок своєчасної заміни елементів, характеристики яких наближуються до критичних, що призведе до збільшення середнього часу наробітку на відмову та Кг всього виробу. Реалізація зазначеного стала можливою завдяки застосуванню ПД, що реалізують методи фізичного діагностування.

Для визначення дефектних РЕК зі складу ЦП запропоновано оснащення об'єкту РЕТ (перший рівень СТОіР) окремим ПД, робота якого заснована на використанні електромагнітного методу діагностування з урахуванням результатів форсованих випробувань.

Удосконалений метод локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань, що дозволяє заздалегідь визначати комплектуючий компонент з критичними характеристиками, що є **п'ятим науковим результатом**

1. Призначення: локалізація дефектного РЕК на основі ДІ, отриманої з використанням електромагнітного методу діагностування РЕК цифрових пристроїв.

2. **Вихідні дані:** серія ІС, кількість радіоелектронних компонентів ЦП, значення довірчих інтервалів ДП цифрових РЕК.

3. **Обмеження:** цифрові РЕК цифрових пристроїв.

4. **Припущення:** наявність блоку спряження сигналів.

5. **Приклад використання:** обробка ДП цифрових пристроїв РЕТ.

6. **Ефект:** коефіцієнт готовності збільшиться на 5-9%.

7. **Наукова новизна** полягає в тому, що вперше запропонована локалізація дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань, що дозволить заздалегідь визначати радіоелектронний компонент з критичними характеристиками.

8. **Алгоритм реалізації** [129]:

З огляду на це був розроблений алгоритм пошуку елемента з критичними характеристиками зі складу ЦП для послідовного з'єднання, який представлений на рис. 3.9.

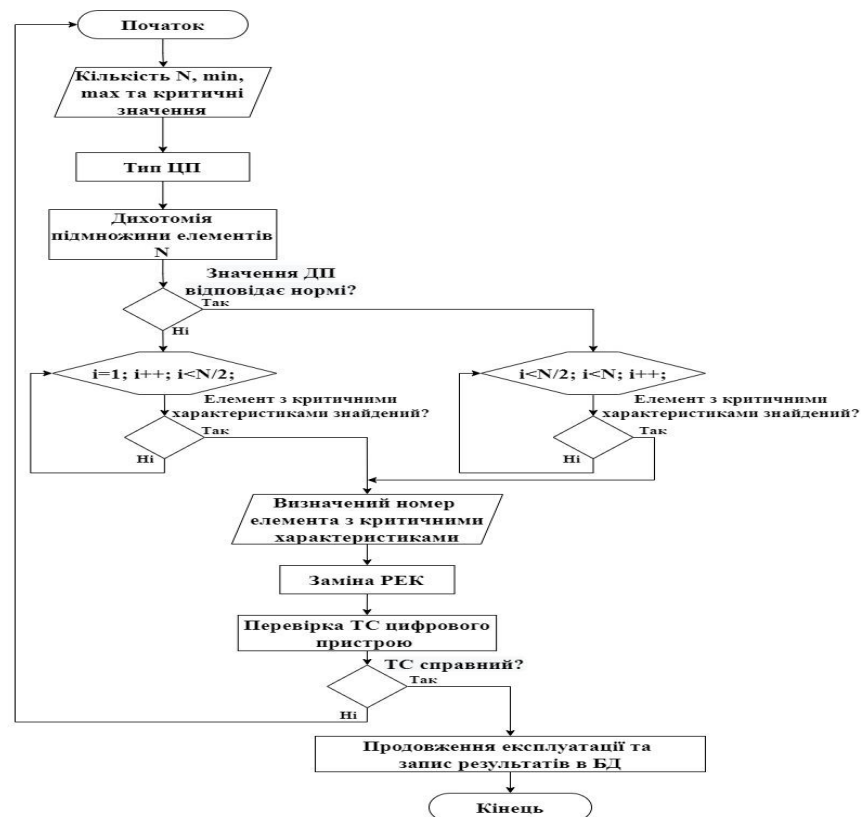


Рис. 3.9. Алгоритм пошуку елемента з критичними характеристиками зі складу

В його основі лежить дихотомічний принцип пошуку дефектного елемента.

Надамо пояснення до позначень, які використані в алгоритмі.

N – кількість елементів, які містить ЦП,

I – номер елемента.

Блок-схема локалізації дефектного РЕК представлена на рис. 3.10.

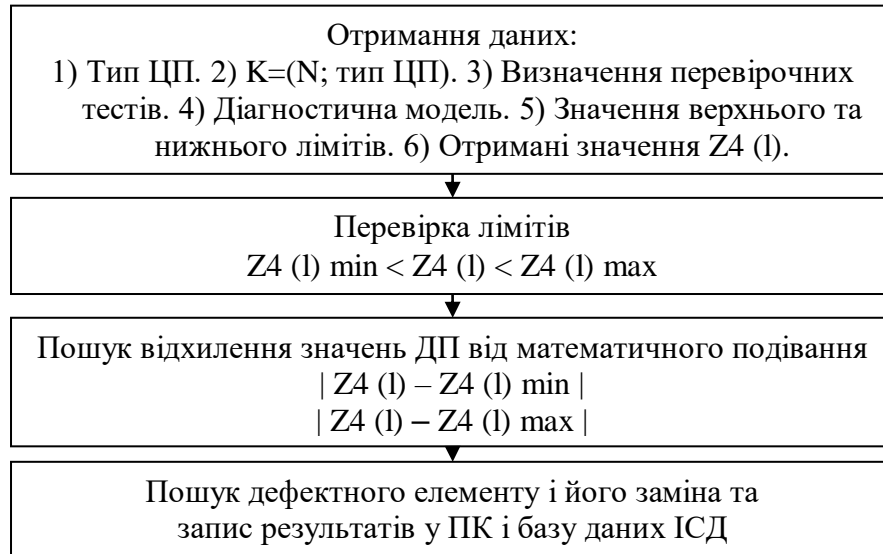
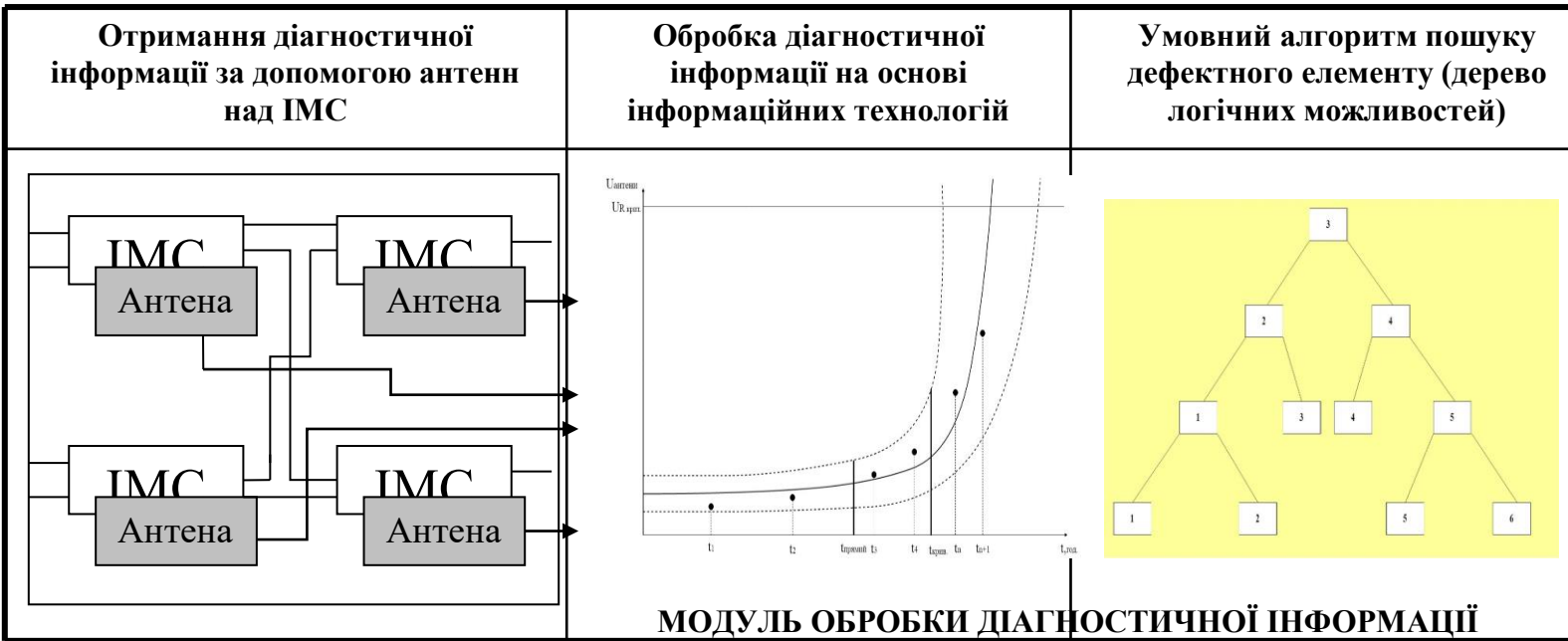


Рис. 3.10. Блок-схема локалізації дефектного радіоелектроного компонента на основі діагностичної інформації, отриманої з використанням електромагнітного методу діагностування радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв та результатів форсованих випробувань

Пояснення до позначень, які використані в алгоритмі та блок-схемі:
ЦП, l – номер елемента, $Z4 (l)$ – значення ДП для l -го елемента.

Далі представимо удосконалений метод локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань, що дозволяє заздалегідь визначати комплектуючий компонент з критичними характеристиками (рис. 3.11).



$$\text{ЧПТ} = \left\{ \begin{matrix} 10010 \\ 01010 \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ 10110 \end{matrix} \right\} \forall n \in N$$

$$Z_4(n) \in (Z_{n\min}; Z_{n\max}) \begin{matrix} \rightarrow S_1 \\ \rightarrow S_0 \end{matrix}$$

$$K=(N; \text{тип ЦП});$$

$$\log_2 N \leq K \leq 0,5N;$$

n_i - підмножина елементів i -серії; $Z_4(n)$ – напруга в антені над елементом n ; S_1 – працездатний стан елемента; S_0 - непрацездатний стан елемента; K – кількість перевірок.

Рис. 3.11. Удосконалений метод локалізації дефектних елементів цифрового пристрою

Метод діагностування, який використовується для здійснення локалізації несправного елемента – електромагнітний, що зумовлено можливістю та зручністю використання поля антен, при якому кожна з них накладається на конкретний РЕК. Сутність даного методу, особливості отримання ДІ, побудова ДМ, порядок визначення дефектного елемента, структурна схема модуля отримання ДІ представлені у роботах [93-95]. Поряд з цим питання обробки ДІ з огляду на “поведінку ДП” не досліджувалось.

Збір АСТД апостеріорної інформації про відмови РЕК, аналіз інформації про типи ЦП, до складу яких входять такі елементи, аналіз серії дефектних елементів стане важливим при подальшій роботі АСТД.

Надходження даної інформації до бази знань ІСД [167-170] як елементу АСТД дасть можливість проведення аналізу їх типу та часу відмови, що в подальшому дозволить визначити або уточнити причини відмови та вжити заходи щодо збільшення наробітку на відмову таких РЕК та ЦП.

Останні дозволяють відносно швидко локалізувати групу ЦП, яка включає як працездатні, так і непрацездатні. Недостатня глибина пошуку несправності ВСК призводить до використання агрегатних методів усунення несправності, що викладено в роботах [15-17; 22, 23]. Такі дії призводять до збільшення середнього часу відновлення ЦП, а також зменшення значення коефіцієнта готовності як комплексної характеристики надійності РЕТ, що суперечить вимогам до них. Крім того, ВСК конструктивно не дозволяють проводити прогнозування ТС, а несправність визначається за фактом, що має негативні наслідки.

Важливо те, що існує ряд невизначеностей [116], які ускладнюють проведення прогнозування. Перші виникають при прогнозуванні ресурсу об'єктів складних систем за експлуатаційними даними [116]. Другі виникають при прогнозуванні ресурсу об'єктів, які пов'язані з аналітичним представленням механізмів деградації напівпровідникових матеріалів [116]. Треті виникають з причини обмеженості експериментальних даних про “процес деградації – час – фактор” [116]. Такий взаємозв'язок особливо важливий для об'єктів довготривалого використання, для яких зберігання властивостей безвідмовності та довговічності однаково важливі. Сьогодні практично відсутні експериментальні дані, на основі яких можна будувати моделі відмов об'єктів типу “процес деградації – час – фактор”. Четверті виникають з причини відсутності достовірних моделей, які пов'язують інтервал попередньої історії, час прогнозу та його точність [116].

У роботах [121-128] було запропоновано визначення ТС з використанням методів фізичного діагностування, а також результатів форсованих випробувань на надійність цифрових РЕК, з яких складаються ЦП. Обробка ДІ, отриманої при використанні зазначених методів, в

поєднанні з результатами форсованих випробувань, створює умови для прогнозування ТС та визначення залишкового ресурсу, що відноситься до третьої функції технічної діагностики.

Дані значення являють собою апостеріорну інформацію, яка буде накопичуватись у БЗ інтелектуальної системи, що з часом дозволить проводити її порівняння з теоретичною (апостеріорною 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 ЦП відповідно до кожного типу.

Важливим є те, що розкид значень ДП з часом збільшується [116], що описується нормальним законом розподілу (рис.3.12.), перевірку відповідності до якого буде підтверджуватись у ході роботи ІСД [168].

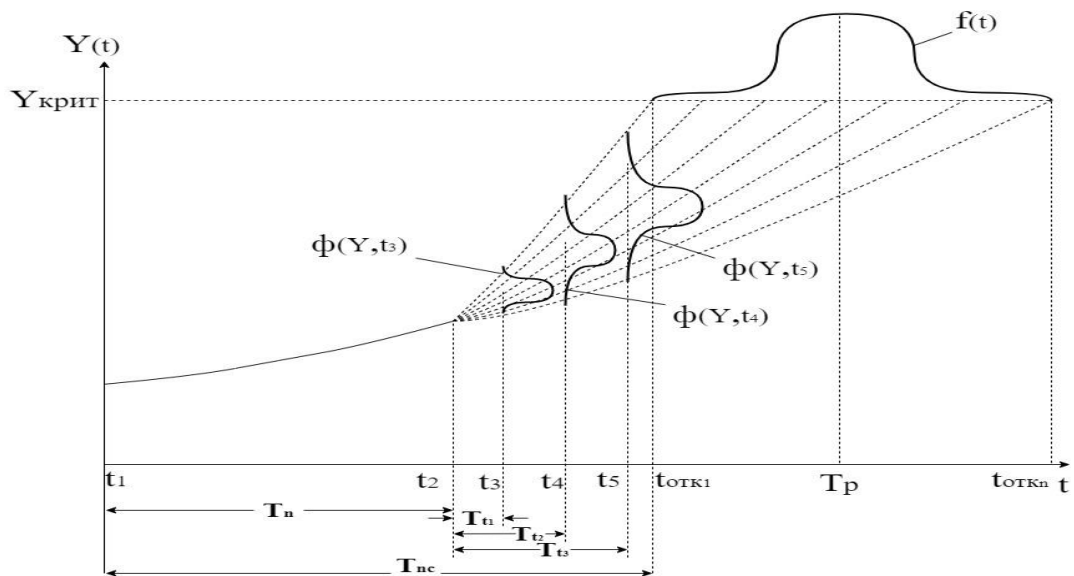


Рис. 3.12. Динаміка часових характеристик значення діагностичного параметру

На рис. 3.13. представлений алгоритм обробки ДП, отриманої з використанням методів фізичного діагностування та стислий опис його роботи [130]. Призначення алгоритму полягає у визначенні та прогнозуванні технічного стану ЦП блоків об'єктів РЕТ. Крім того, запис результатів фізичного діагностування у базу знань ІСД [167-170] та їх зберігання дозволить підвищити точність діагнозу та прогнозування у майбутньому.

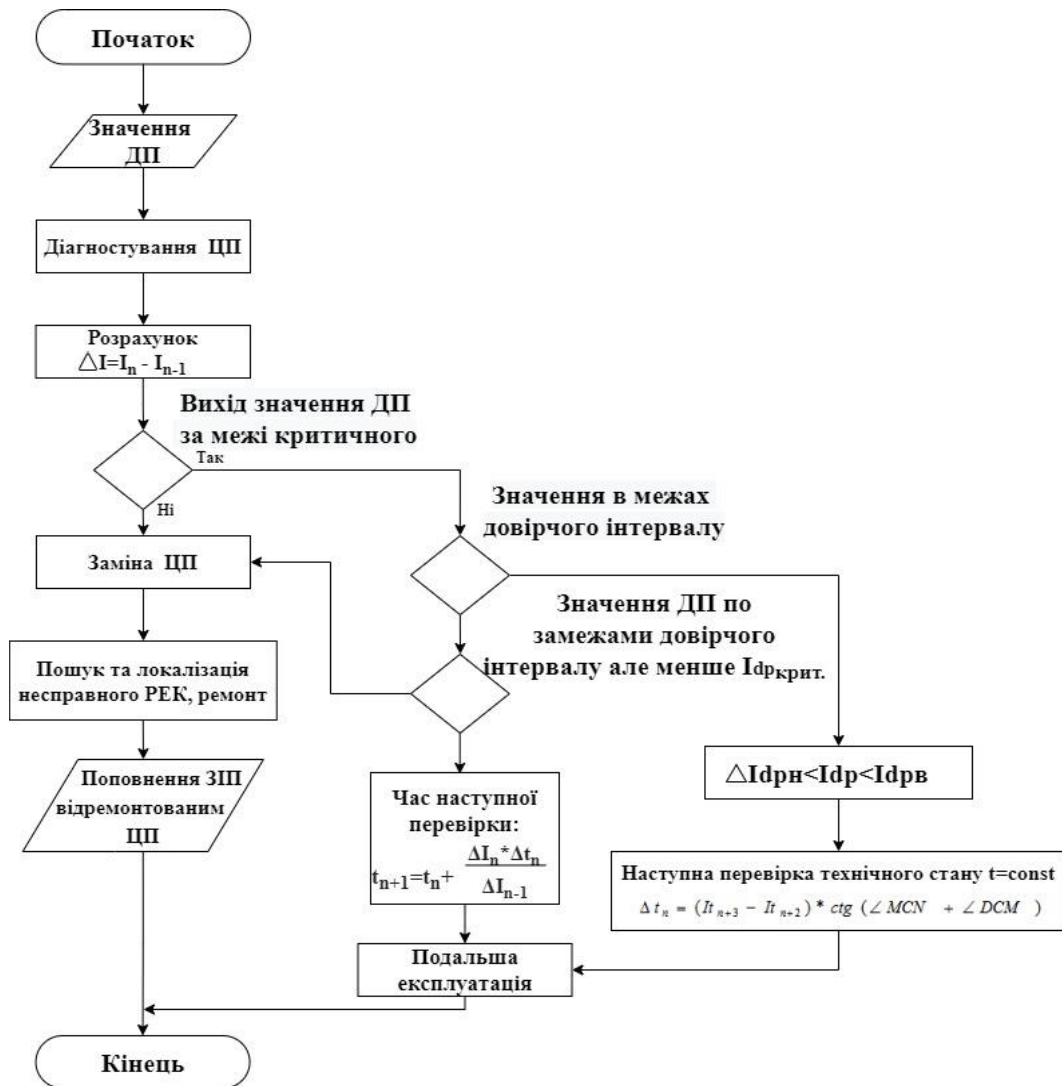


Рис. 3.13. Загальний алгоритм визначення часу наступної перевірки технічного стану

де, I_{dp} – значення ДП, отримане в результаті форсованих випробувань РЕК на надійність,

I_{dp_n} – нижня границя значення ДП,

I_{dp_e} – верхня границя значення ДП,

I_n – значення ДП в n -й момент часу,

I_{n-1} – значення ДП в $n-1$ -й момент часу,

$\Delta I = I_n - I_{n-1}$ – прирощення значення ДП,

t_n – n -й момент часу,

t_{n-1} – $n-1$ -й момент часу,

$\Delta I_n, \Delta I_{n-1}$ – прирощення значення ДП у n -й та $n-1$ -й моменти часу відповідно.

Далі представлено алгоритм визначення часу наступної перевірки ТС у випадках, коли значення ДП “виходить” за межі “коридору” (рис. 3.14) [130]. У випадку, коли значення ДП виходить за межі критичного (рис. 3.14), приймається рішення щодо його заміни.

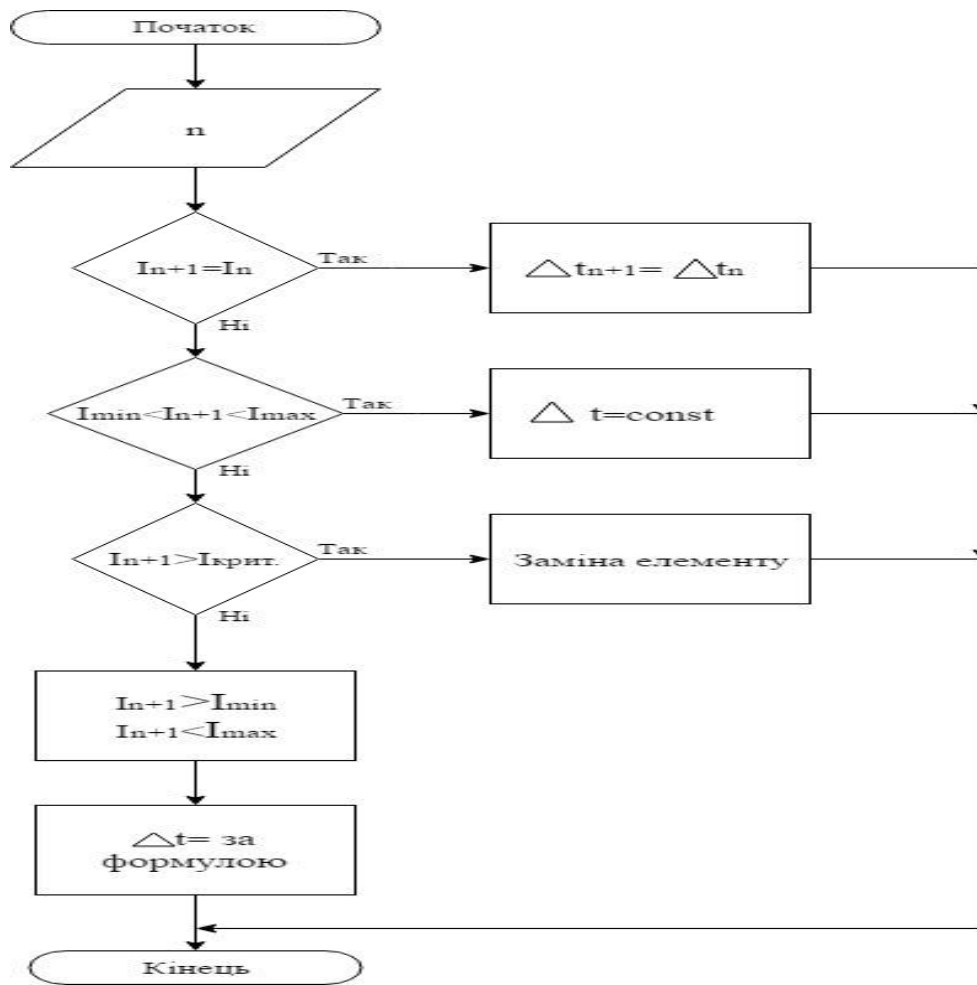


Рис. 3.14. Алгоритм визначення часу наступної перевірки технічного стану у випадках, коли значення діагностичного параметра знаходиться поза межами “коридору”

3.5. Прогнозування технічного стану цифрового пристрою та визначення залишкового ресурсу на основі методів фізичного діагностування

Проведений аналіз робіт [15-17;22,23;72,142,143] свідчить про те, що питанням продовження ресурсу зразків РЕТ в економічних умовах сьогодення присвячується багато уваги. Їх зміст спрямований на підвищення надійності, шляхом удосконалення ВСК та АСТД об’єктів РЕТ. Незважаючи на це, суттєвими недоліками є те, що при застосуванні даних систем контролю визначення ЦП з критичними характеристиками з високою

достовірністю є ускладненим, тобто зазначені системи дозволяють визначати вже несправний ЦП або їх групу, і не дозволяють упереджувати їх відмови. Крім того, рівень глибини діагностування залишається незмінним, при цьому більшість відмов відбувається на рівні РЕК. З огляду на це, можна зробити висновок, що напрямок подальшого удосконалення ДЗ має бути спрямований на розвиток та застосування методів і засобів, які дозволяють проводити діагностування на рівні ЦП та РЕК та визначати їх реальний ТС з достатньо високою вірогідністю.

Зокрема, у роботах [66;131,132] запропоновано вирішення задач прогнозування та визначення залишкового ресурсу на основі результатів прискорених випробувань РЕК в рамках теорії дефектоутворення у напівпровідникових матеріалах. Незважаючи на це, вірогідність діагностування обмежується можливостями запропонованого методу діагностування, що не завжди прийнятно для об'єктів критичної інфраструктури, в яких для підвищення надійності використовується багатократне резервування, на що держава витрачає великі кошти.

Враховуючи переваги методів фізичного діагностування [112-115; 125-130;160-162] (енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного), а також результати форсованих випробувань РЕК на надійність, зважаючи на вимоги до значень показників надійності, які постійно зростають, пропонується проводити обробку ДІ, отриманої з різних джерел (контрольних точок ЦП), з використанням ІСД як елемента нової АСТД [161,167-170], що дозволить визначати з високою вірогідністю технічний стан ЦП об'єктів РЕТ, проводити прогнозування ТС та визначати їх залишковий ресурс. Тому наступним завданням є представлення особливостей отримання та обробки ДІ та результатів форсованих випробувань РЕК на надійність для визначення ТС цифрових пристроїв та прогнозування їх залишкового ресурсу при побудові інтелектуальної системи діагностики РЕТ.

На рис. 3.15. представлені залежності, отримані в результаті проведення форсованих випробувань РЕК на надійність, які відображають зміну мінімальних та максимальних значень ДП при різних достовірностях [133].

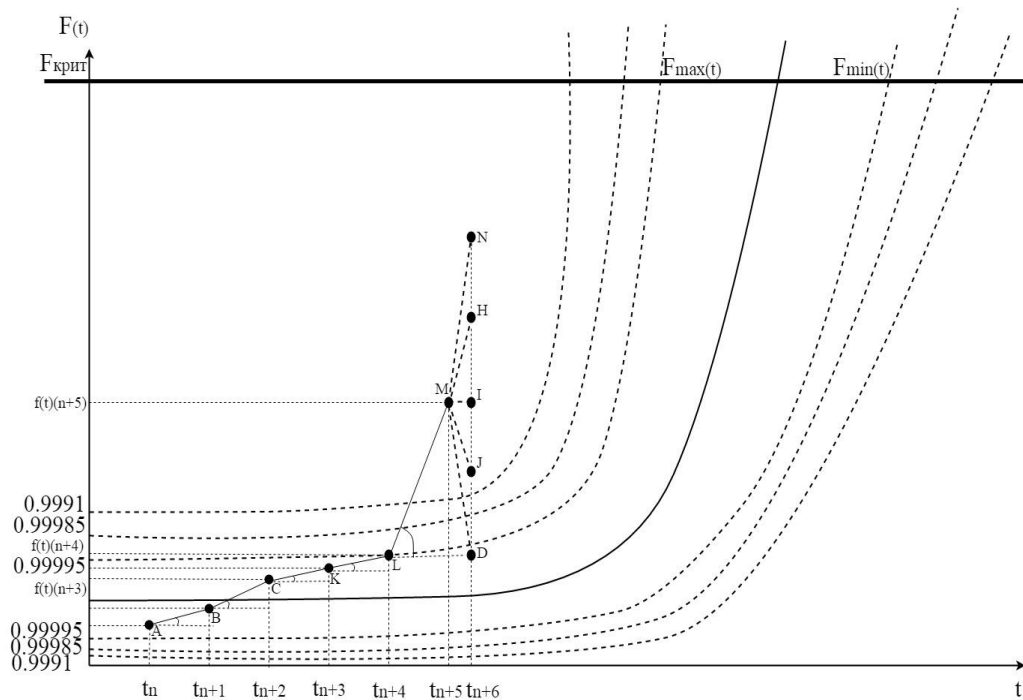


Рис. 3.15. Графіки мінімальних та максимальних значень діагностичного параметру при різних значеннях достовірності

Пунктирними лініями позначені графіки мінімальних та максимальних значень ДП при різних достовірностях, що забезпечено комплексним застосуванням методів фізичного діагностування. При цьому 0,9991 відповідає комплексному застосуванню енергостатичного та електромагнітного методів, 0,99985 застосуванню енергодинамічного та енергостатичного, або енергодинамічного та електромагнітного. Максимальна достовірність на рівні 0,99995 відповідає застосуванню трьох методів. Розрахунок достовірності для випадків застосування двох та трьох методів був представлений у роботах [112,113,128].

Відомо, що прогнозуванні параметри мають відповідати наступним вимогам:

1. Функція має бути безперервною функцією часу.
2. Функція повинна бути повільно змінюваною.
3. Функція у часі не повинна змінювати свій знак.

Таким вимогам відповідає залежність ДП від часу, представлена на рис. 3.17. Для перевірки вимог п.3 у роботі [125] було запропоновано розділити її на 3 ділянки (пряму, криву, пряму) та визначення похідної при отриманні нових значень ДП під час проведення чергового діагностування, що ілюструє рис. 3.16. Зважаючи на майже експоненціальний її характер, з метою спрощення обробки ДП в роботі [125] було запропоновано розділити її на три ланки: пряму, криву, пряму.

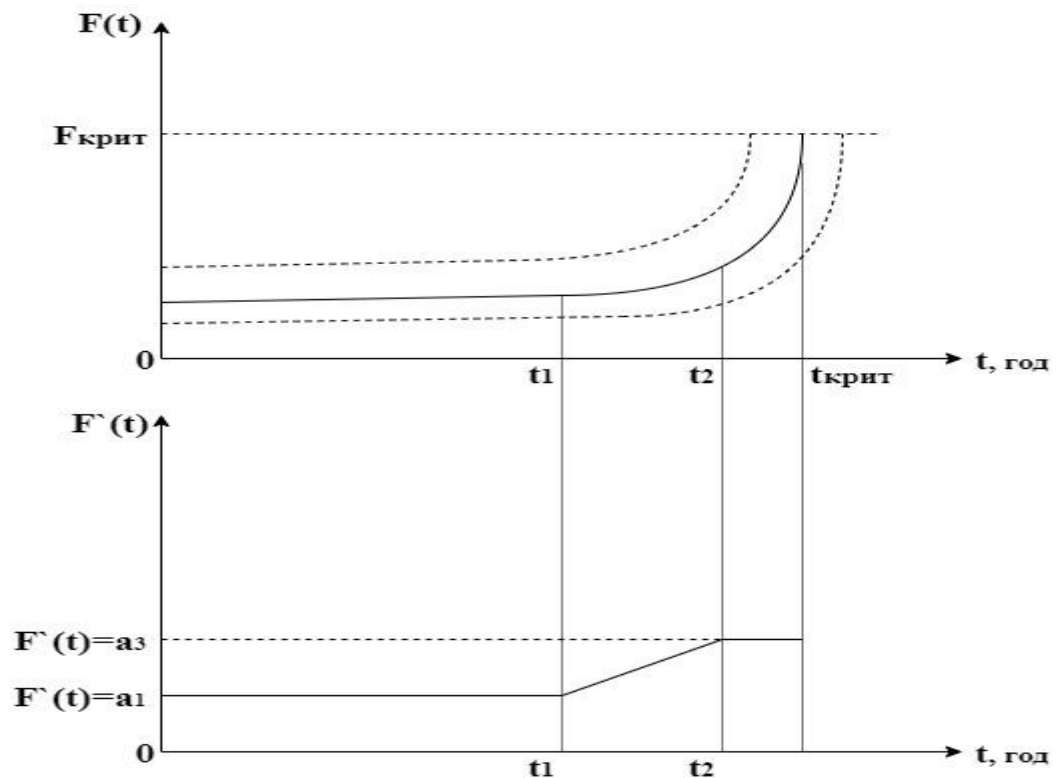


Рис. 3.16. Графік зміни діагностичного параметру та його похідної від часу

ТС вважається справним у межах “коридору”, визначеного границями мінімальних та максимальних значень ДП. При обробці ДП інтелектуальною системою має бути врахований той факт, що з часом збільшується розкид значень ДП [116]. Важливим питанням при діагностуванні ЦП та прогнозуванні їх залишкового ресурсу є визначення часу проведення

наступної перевірки. Якщо ДП знаходиться в межах “коридору”, інтервал між перевірками дорівнює попередньому [130], у інших випадках він змінюється в залежності від різниці значень ДП, отриманих під час проведення попередніх перевірок.

Обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. З геометричної точки зору похідна математичного сподівання для першої та третьої ділянок графіку є тангенсами кутів нахилу і дорівнює числам, при цьому для третьої ділянки воно більше, ніж для другої [125,134]. Другу ділянку графіку в аналітичному вигляді описують поліномом ступеня в залежності від кривизни графіку, похідна для неї являє собою функцію, ступінь якої буде на порядок нижче за саму функцію. З фізичної точки зору, йдеться про відношення прирощення значення ДП (струму або напруги в залежності від метода діагностування) до інтервалу часу, протягом якого воно відбулося. Інтервал прогнозування має залежати від різниці значень ДП, отриманих під час попередніх перевірок і буде детермінованим у випадку, якщо вони знаходяться в межах довірчого інтервалу (рис. 3.17), що з деякими припущеннями означає незалежність похідної від часу для першої та третьої ділянки. Похідна для другої ділянки буде на порядок нижче, ніж поліном, який описує її. Для обґрунтування вибору інтервалу прогнозування розглянемо рис. 3.17.

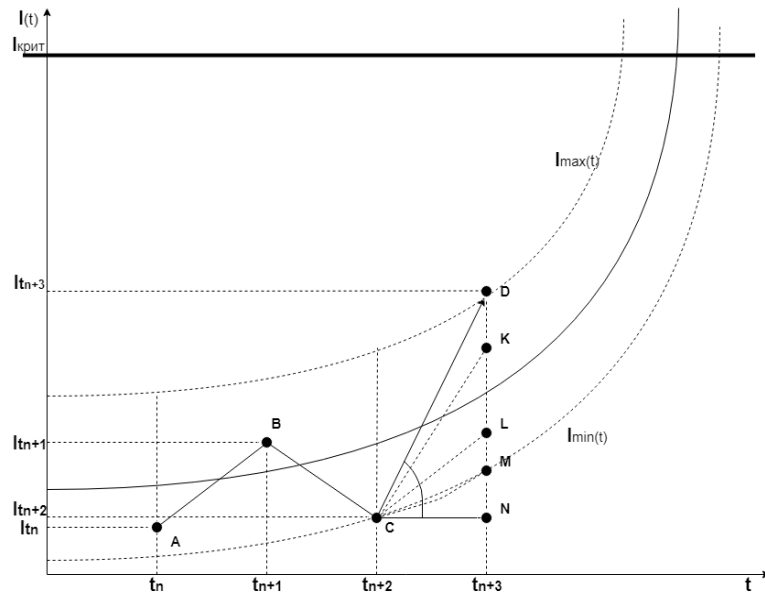


Рис. 3.17. Графік значень діагностичних параметрів, отриманих у ході проведення діагностування під час випробувань

З графіку видно, що,

$$\frac{t_{n+3} - t_{n+2}}{I_{n+3} - I_{n+2}} = \text{ctg}(\angle MCN + \angle DCM), \quad (3.10)$$

де різниця $t_{n+3} - t_{n+2}$ є інтервалом прогнозування (у загальному вигляді позначається Δt_n).

Вираз для розрахунку інтервалу прогнозування, коли значення ДП знаходяться в межах довірчого інтервалу має вигляд [129,130]:

$$\Delta t_n = |(I_{n+3} - I_{n+2}) * \text{ctg}(\angle MCN + \angle DCM)|, \quad (3.11)$$

де т. А (I_{t_n}) – значення ДП, виміряне у час t_n (значення ДП знаходиться нижче лінії математичного сподівання, але вище лінії мінімальних значень),
т. В ($I_{t_{n+1}}$) – значення ДП, виміряне у час t_{n+1} (значення ДП знаходиться вище лінії математичного сподівання, але нижче лінії максимальних значень),
т. С ($I_{t_{n+2}}$) – значення ДП, виміряне у час t_{n+2} (значення ДП належить лінії мінімальних значень),

т. $D(t_{n+3})$ – значення ДП, виміряне у час t_{n+3} (значення ДП належить лінії максимальних значень),

трикутник MCN доповнює трикутник DCM до прямокутного, при цьому т.М належить лінії мінімальних значень, точки К і L представлені як можливі значення ДП у час (t_{n+3}) , що показує як при різних значеннях ДП змінюється $\angle DCM$ від максимального до мінімального значення ДП.

При виході значення ДП за межі довірчого інтервалу відношення різниці значень, отриманих під час останньої та передостанньої перевірок будуть різними. Це означає, що якщо під час останньої перевірки (n -ї) значення ДП “вийшло” за межі довірчого інтервалу, але знаходиться в межах критичного $I_{\text{крит}}$, інтервал прогнозування треба зменшити. У випадку, коли значення ДП після виходу з “коридору” знову “повертається” до нього, інтервал прогнозування збільшується і може дорівнювати початковому. Зважаючи на те, що ДП може приймати значення більше або менші за попередні, в формулі (3.11) використовується знак модуля. У випадку виходу значення ДП за межі коридору розрахунок міжперевірочного інтервалу здійснюється на основі значень ДП, отриманих під час двох попередніх перевірок ТС.

В основі такого рішення є упередження відмови ЦП, що відповідає виконанню функції технічної діагностики з огляду на підвищення КГ як комплексного показника надійності. Всі значення ДП, отримані в результаті проведення діагностування, дозволять отримати залежності ДП від часу експлуатації, що надасть можливість на їх основі провести аналіз та отримати статистичні дані щодо загальної кількості виходів ДП за межі області значень, що відповідає технічно справному стану, часу виходу ДП, приналежності його до того чи іншого періоду “життєвого циклу” ЦП, а також часу проведення кожної перевірки.

Зважаючи на зазначене, з метою зменшення кількості відмов ЦП шляхом упередження доцільно проведення діагностування методами фізичного діагностування під час проведення ТО-3.

Дані про ТС, отримані при проведенні фізичного діагностування в ході експлуатації, будуть надходити до бази даних ІСД [167-170], що в подальшому дозволить з достатньо високою ймовірністю проводити прогнозування ТС та упередження відмов шляхом своєчасної заміни ЦП, характеристики яких не відповідають “нормі”.

Далі представимо математичну модель прогнозування технічного стану, що зображена на рис.3.18.



Рис. 3.18. Математична модель прогнозування технічного стану

Більш високої точності щодо зазначених показників буде досягнуто при надходженні ДІ про стан ЦП від блоків всіх об'єктів РЕТ, включених до однієї ІСД [167-170] за умови групування ЦП за типом. Дані технічної документації виробів РЛС, і зокрема СТ- 68У, свідчать про те, що кількість ЦП, складає 150-200 ЦП.

Кількість відмов пропорційно залежить і від кількості ЦП, які входять до складу блоку (шафи) об'єкту РЕТ. В якості прикладу можна навести кількість ЦП шафи 195ПВ01 РЛС 19Ж6, яка налічує 58 ЦП (фото 3.1).



Фото 3.1. Шафа 195ПВ01 РЛС 19Ж6 зі знятою панеллю

Використання залежностей ДП, отриманих у ході експлуатації об'єктів РЕТ, доцільно для заводів радіоелектронної апаратури (РЕА) для внесення змін у технічну документацію з метою отримання більш достовірного діагнозу та прогнозу ТС зразків РЕТ у майбутньому. Для цього між центрами обробки діагностичної інформації (ЦОДІ) та заводами РЕА мають бути передбачені зв'язки, які дозволять проводити обмін діагностичною та службовою інформацією. В якості останніх можуть використовуватись різноманітні лінії зв'язку, а саме: радіозв'язку, радіорелейного, провідного зв'язку, інтернет – мережі. Можливість застосування різних ліній дозволяє підвищити ймовірність передачі ДП, а також суттєво зменшити часові показники її доставки.

Зважаючи на те, що рішення про ТС, а також його прогнозування ґрунтується на порівнянні значень ДП, метод оцінки і прогнозування

залишкового ресурсу відноситься до параметричних, які входять до складу фізико-статистичних, що ілюструє рис. 3.19 [116,130].



Рис. 3.19. Класифікація методів оцінки та прогнозування ресурсу обладнання складних систем

Розробка рішення для визначення часу експлуатації та залишкового ресурсу. З причини відсутності на об'єктах РЕТ пристроїв діагностування, які дозволяють визначати такі характеристики як час експлуатації та залишковий ресурс, обслуговуючий персонал об'єкту вимушений проводити перевірку ТС тих чи інших ЦП шляхом їх установки на місця до блоків, складовими яких вони є. Рішення про справний ТС цифрових пристроїв персонал приймає, переконавшись у відсутності аварійних сигналів ВСК об'єктів РЕТ. Такий шлях не дозволяє визначати реальний ТС цифрових пристроїв, проводити прогнозування ТС та визначати їх залишковий ресурс з заданою вірогідністю.

В рамках виконання державних задач, спрямованих на продовження ресурсу РЕТ, застосування методів фізичного діагностування з результатами форсованих випробувань, на відміну від методів функціонального та тестового діагностування, дозволить визначати час експлуатації та остаточний ресурс, що є гостро необхідним, зокрема, для об'єктів критичної інфраструктури та деяких силових структур.

З рис. 3.20. [134] видно, що значенню ДП, яке отримане будь-яким методом фізичного діагностування, відповідає “коридор” від мінімального до максимального значення ДП, а проєкції точок їх перетину на вісь абсцис дозволяє розрахувати значення проміжку зміни ДП від часу експлуатації ЦП.

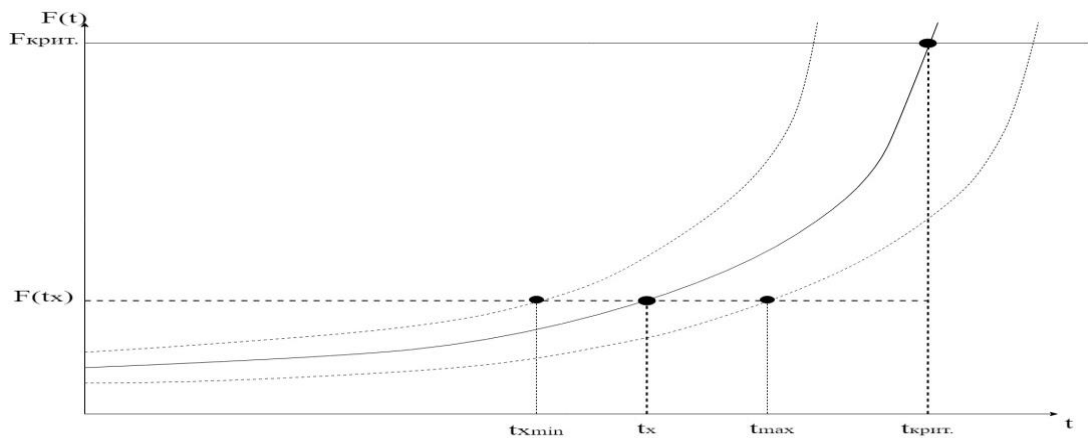


Рис. 3.20. Графік визначення часу експлуатації та залишкового ресурсу цифрового пристрою

Значення залишкового ресурсу розраховується шляхом віднімання реального часу експлуатації від часу, який відповідає критичному стану ЦП.

$$\Delta_{ост.} = t_{крит.} - t_{x\min.}$$

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

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

Отже, удосконалений метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі запропонованої діагностичної моделі та розробленого алгоритму отримання та обробки діагностичної інформації, що дозволяє підвищити достовірність прогнозу технічного стану та покращити точність визначення залишкового ресурсу цифрового пристрою, є **шостим науковим результатом**.

3.6. Розробка рішень щодо обробки діагностичної інформації

Для прийняття рішень, пов'язаних з виконанням функцій технічної діагностики, необхідно обрати систему, яка буде задовольняти виконанням задач АСТД, для чого розглянемо існуючі системи обробки інформації. Сьогодні використовуються експертні системи (ЕС), системи підтримки прийняття рішень (СППР), нейронні мережі. Проведемо аналіз зазначених систем [5,135,144,145].

Аналіз експертних систем. Відомо, що експертна система є системою автоматизації використання знань, яка перетворює за допомогою людини-інтерпретатора професіональні знання та досвід провідних фахівців у форму, яка дозволяє ПК проводити інтерпретацію формалізовану таким чином інформацію та виконувати їх обробку на змістовному рівні. Отже, ПК може визначати алгоритм своїх дій не тільки в залежності від результатів, отриманих на певному етапі своїх дій, а і від інтерпретації додаткової інформації від зовнішніх джерел, при цьому використовуючи інформацію про предметну область, яка зберігається у БЗ.

Експертні задачі – задачі, які в кожному конкретному випадку доцільно вирішувати шляхом послідовної декомпозиції множини альтернатив враховуючи заощадження пошукових зусиль. В ряді випадків множина ознак велика, Крім того, можливо, що відображення множини альтернатив на множину ознак є не завжди відтворювальним. В таких випадках виникає необхідність використання неформалізованого досвіду експертів, який може

використовуватись при рішенні експертних задач. Такі задачі мають володіть будь-якою ознакою або їх комбінацією:

- велика розмірність, тобто для рішення задачі необхідна кількість інформації, що її повна та безпомилкова інтерпретація користувачем малоймовірна;
- складність чіткого своєчасного формулювання правил рішення задачі в умовах дефіциту часу або інформації;
- неможливість або недоцільність рішення задачі формальними, у тому числі, оптимальними методами;
- особа, яка вирішує задачу, не має достатніх для цього знань та досвіду.

Далі представимо наступний перелік характерних експертних задач.

1. Інтерпретація даних.
2. Медична та біологічна діагностика.
3. Технічна діагностика.
4. Контроль.
5. Прогнозування.
6. Планування.
7. Проектування.

Зазначені експертні задачі розглянемо для здійснення діагностики та прогнозування технічного стану РЕТ.

Діагностика – процес пошуку дефекта в технічній системі, який заснований на інтерпретації даних.

Вимоги. Включає всі вимоги до інтерпретації.

Діагност повинен достатньо добре уявляти організацію досліджуваної схеми, тобто її анатомію, а також характер та різноманіття виявлення зв'язків при взаємодії системи.

Ключові проблеми.

Іноді прояви дефектів маскуються під інші. Деякі системи діагностики не виявляють це, тобто виявляють одиничний дефект. Крім того, дефекти

можуть бути непостійними, а епізодичними. З цієї причини діагност іноді вимушений штучно стимулювати перехід системи у відмовний стан для того, щоб визначити дефект.

Система підтримки прийняття рішень (СППР) (англ. Decision Support System, DSS) - комп'ютерна автоматизована система, призначена для допомоги людям, що приймають рішення в окремих умовах для повного та об'єктивного аналізу предметної діяльності [136]. Це означає, що вона видає інформацію (у друкованій формі, або на екрані монітора або звуку), на основі вхідних даних, використовуючи людей швидко і точно оцінюючи ситуацію та приймаючи рішення. СППР виникли в результаті злиття управлінських інформаційних систем та систем управління БД.

Такі діагностичні системи повинні працювати в умовах неповної, неточної і суперечливої ДІ. Вони повинні виключати застосування підготовчих операцій, що дорого коштують і забезпечувати підтримку прийняття рішень інженера при визначенні технічного стану ТЗ. Перерахованим вимогам відповідають системи інформаційної підтримки прийняття рішень (СППР) інженера по експлуатації ЗТ нового покоління, що дозволяють нагромаджувати досвід і використати його в процесі експлуатації і ремонту.

СППР - являє собою складний комплекс програмно-апаратних засобів, забезпечуючий обслуговуючий персонал інформацією, необхідною для оперативного вироблення рішень по визначенню ТС в реальному масштабі часу або близькому до нього.

Розвиток СППР засновується на останніх досягненнях по створенню систем з елементами штучного інтелекту (ШІ). Намічається широке впровадження СППР в різні області науки і техніки. Так, на ринку систем ШІ в 1983 р. було всього 16 ЕС і СППР, в 1987 - 800, а в 1990 - 1240, в 2001 - 2116, що відповідає річному приросту 86%. Розвиток СППР тісно зв'язується з ПК п'ятого покоління [146].

Очікується, що обчислювальні системи п'ятого покоління забезпечать швидкодію від 100 млн. до 1 млрд. логічних операцій в секунду, причому кожній логічній операції відповідає виконання від 100 до 10000 команд. Вони зможуть забезпечити звернення до інформаційної бази місткістю 100...1000 Гбайт і будуть обробляти потік даних з використанням 1...10 тис. паралельно функціонуючих процесорів. Перевагою їх є здібність до навчання, виконання асоціативної обробки даних, підготовки логічних висновків на основі нечітко сформульованих задач, можливість роботи з абстрактними поняттями. Бази знань з можливістю навчання дозволяють використати в процесі обробки даних накопичення і пошук 20 тис. правил і 100 тис. впорядкованих фактів.

Розробки, що ведуться в області СППР, дозволяють створити новий клас автоматизованого контрольно-діагностичного обладнання, необхідного для визначення технічного стану ЗТ і що дозволяє підвищити ефективність застосування техніки зв'язку за рахунок збільшення коефіцієнта готовності.

Для аналізу та вироблення пропозицій у СППР використовуються різні методи. Це може бути: інформаційний пошук, інтелектуальний аналіз даних, пошук знань у БД, розробка на основі прецедентів, імітаційне моделювання, еволюційні вичислення та генетичні алгоритми, нейронні мережі, ситуаційний аналіз, когнітивне моделювання та ін. Деякі з цих методів були розроблені в рамках штучного інтелекту. Якщо в основі роботи СППР лежать методи штучного інтелекту, то говорять про інтелектуалізовану СППР або ІСППР. Близкі до СППР класи системи - це ЕС и автоматизовані системи управління [137-139].

Зважаючи на сучасні досягнення в розвитку інформаційно-інтелектуальних систем, враховуючи фактор відсутності апріорної інформації на початку "життєвого циклу" ОД, а також вимоги надійності до об'єктів РЕТ пропонується проводити обробку ДІ з використанням ІСД [167-170].

Відомо, що ІСД являє собою технічну або програмну систему, яка спроможна вирішувати задачі, що традиційно вважаються творчими та

відносяться до конкретної предметної області, знання про яку зберігаються у пам'яті такої системи. Структура ІСД включає три основних елемента – БЗ, механізм вводу-вивіду рішень та інтерфейс користувача [167-170].

Побудова ІСД потребує вирішення ряду наступних часткових задач [167-170].

1. Аналіз вимог до побудови інтелектуальної системи діагностики РЕТ.
2. Аналіз інформації, яка буде зберігатися у БД.
3. Аналіз інформації, яка буде надходити у БЗ.
4. Вибір архітектури штучної нейронної мережі ІСД.
5. Розробка структурної схеми інтелектуальної системи діагностики РЕТ.

1. Аналіз вимог до побудови інтелектуальної системи технічної діагностики радіоелектронної техніки.

ІСД має забезпечувати збір, зберігання, обробку та видачу ДІ. Крім того, має бути передбачена можливість вибору методу або методів діагностування в залежності від достовірності діагностування, яка вимагається. Остання залежить від важливості ОД і обирається максимальною, як правило, для об'єктів критичної інфраструктури, в яких діє принцип поодинокі відмови [згідно нормативного визначення], який є одним з основних принципів безпеки. Відповідно до нього система має виконувати свої функції при будь-якій вихідній події та незалежно від відмови будь-якого елемента даної системи. Практичне застосування принципу поодинокі відмови забезпечує:

- роботу систем безпеки та систем, важливих для безпеки у випадку виникнення поодинокі відмови обладнання або помилки персоналу;
- зменшення ризику відмов обладнання з загальних причин.

На практиці принцип поодинокі відмови реалізується шляхом резервування, для зменшення ймовірності відмов резервованих систем або їх каналів з загальної причини додатково застосовується:

- фізичний розподіл,

- різнотипність систем та обладнання, які застосовуються.

Резервування передбачає застосування двох або більше аналогічних систем або незалежних каналів однієї системи, які є за структурою ідентичними. При повній незалежності цих систем або каналів загальна надійність пропорційна їх кількості. Наочним прикладом [147] резервування є система аварійного охолодження активної зони реактора атомної електростанції с ВВЭР-1000 и ВВЭР- 440 (В-213). Система має трикратне резервування і кожна з її підсистем може самостійно виконувати проектну функцію безпеки у повному обсязі.

Фізичний розподіл забезпечує стійкість резервованих систем або їх каналів до одночасної відмови за загальною причиною. Створення між системами або каналами фізичних бар'єрів (шляхом застосування вогнетривкі перетинки, роздільних кабельних комунікацій, розміщення обладнання у різних приміщеннях або збільшення відстані між його елементами) забезпечує зберігання працездатності решти систем або каналів при пошкодженні одного з них при пожежі, внутрішньому або зовнішньому затопленні або з інших причин загального характеру.

Різнотипність обладнання передбачає застосування різних за принципом дії систем, які виконують одні і ті ж функції. Наприклад, насос води для парогенератора може мати електро- та турбопривід. Арматура, яка виконує одну і ту ж функцію, може мати ручний, електричний та пневматичний привід. Отже, у випадку виникнення пожежі або події, яка потребує повного вимикання електроживлення енергоблока, є можливість використання обладнання, для роботи якого не потрібна наявність електроживлення.

2. Аналіз інформації, яка буде записана у базу даних.

База даних ІСД призначена для зберігання ТП, номерів та типів ЦП, мінімальних та максимальних значень ДП, а також отриманих у результаті проведення форсованих випробувань РЕК на надійність, значень

достовірності для окремих методів діагностування і для їх комплексного використання [126-128, 167-170].

3. Аналіз інформації, яка буде надходити у базу знань.

У БЗ у ході експлуатації буде здійснюватись запис значень ДП, отриманих при проведенні діагностування методами фізичного діагностування, а також значення інтервалів прогнозування, ймовірностей результатів діагностування, прирощень ДП, котангенсів кутів, вагових коефіцієнтів [126-128].

4. Вибір архітектури штучної нейронної мережі ІСД.

Важливим питанням при побудові ІСД є вибір архітектури штучної нейронної мережі.

Обґрунтування вибору архітектури штучної нейронної мережі.

Відомо, що штучна нейронна мережа являє собою математичну модель, а також її програмне або апаратне втілення забезпечення, побудована згідно з принципом організації та функціонування біологічних нейронних мереж. Вона є системою з'єднаних та взаємодіючих між собою простих процесорів – штучних нейронів, між якими за сполуками розповсюджується сигнал. При вирішенні задач з використанням нейронної мережі проводять підбір конфігурації мережі, але з урахуванням складності та особливості задачі підбір існуючих конфігурацій може бути проблематичним. У випадках, коли задача не може бути вирішена за допомогою існуючих мереж, вирішується проблема синтезу мережі нової конфігурації. Вибір структури нейронної мережі здійснюється відповідно до особливостей і складності задачі. Для вирішення окремих типів задач вже існують оптимальні конфігурації. Якщо ж задача не може бути зведена до жодного з відомих типів, приходиться вирішувати складну проблему синтезу нової конфігурації. При цьому необхідно керуватися наступними основними правилами:

- можливості мережі зростають зі збільшенням числа нейронів мережі, щільності зв'язків між ними і числом шарів;

- введення зворотних зв'язків поряд зі збільшенням можливостей мережі піднімає питання про динамічну стійкість мережі;
- складність алгоритмів функціонування мережі, введення декількох типів синапсів сприяє посиленню потужності нейронної мережі.

Розглянемо способи об'єднання комп'ютерів, опису конфігурації мереж, схему розташування та з'єднання мережевих пристроїв [148].

Найбільш розповсюдженими сьогодні є шинна, кільцева, зірчаста та ієрархічна. Шинна являє собою локальну мережу, в якій зв'язок між будь-якими двома станціями встановлюється через один спільний шлях, а дані, які передаються однією станцією, одночасно стають доступними для всіх інших станцій, що підключенні до цієї ж мережі. Особливістю кільцевої є те, що вузли пов'язані кільцевою лінією передачі даних і до кожного вузла підключаються дві лінії, при цьому, дані, проходячи у кільці, по черзі стають доступними всім вузлам мережі.

У зірчастій являє собою центральний вузол, від якого розходяться лінії передачі до кожного з решти вузлів. При побудові ієрархічної мережі кожний пристрій забезпечує безпосереднє управління пристроями, що знаходяться нижче у ієрархії.

Топологія мережі зумовлює її характеристики. Зокрема, вибір тієї чи іншої топології впливає [148]:

- на склад необхідного мережевого обладнання;
- характеристики мережевого обладнання;
- можливості розширення мережі;
- спосіб управління мережею.

Щоб спільно використовувати ресурси або виконувати інші мережеві завдання, комп'ютери повинні бути підключені один до одного. Для цієї мети в більшості мереж застосовується кабель.

Однак просто підключити комп'ютер до кабелю, що з'єднує інші комп'ютери, недостатньо. Різні типи кабелів у сполученні з різними

мережними платами, мережними операційними системами та іншими компонентами вимагають і різного взаємного розташування комп'ютерів.

Порівняльний аналіз проводився шляхом наступних показників:

1) Простота структурної організації. Вимірюється кількістю каналів зв'язку між вузлами мережі

2) Надійність. Визначається наявністю вузьких місць, при відмові яких мережа перестає функціонувати. Надійність також характеризується наявністю альтернативних шляхів завдяки яким при відмові окремих каналів зв'язок може бути встановлений в обхід ділянки, що відмовила.

3) Продуктивність мережі. Визначається кількістю блоків даних переданих по мережі в одиницю часу. При цьому необхідно враховувати можливість зниження швидкості через конфлікти в мережі

4) Час доставки повідомлень. Може вимірюватися не обов'язково в тимчасових одиницях.

5) Вартість топології. Визначається як вартістю апаратури, так і складністю реалізації мережі.

Складемо таблицю 3.2. порівняння різних топологій за вказаними ознаками. Ознаки будуть оцінюватися значеннями від 1 до 5, причому 1 - це оптимальне значення [149].

Таблиця 3.2.

Порівняльний аналіз топології мереж

Показники	Загальна шина	Зірка	Кільце	Багатозв'язна
Простота	1	2	3	4
Вартість	1	2	3	4
Надійність	5	4	3	2

Продуктивність	5	4	3	2
Доставка (час)	5	4	5	3

Простота структурної організації і вартість - це два показники, які дуже сильно залежать один від одного. За кількістю каналів зв'язку найбільш простий з топологій є загальна шина, яка має тільки 1 канал зв'язку. Мережа будується на основі мережевої карти. Відсутність складнощів при додаванні нових комп'ютерів, також додає переваги цієї топології. Отже, загальна шина безсумнівно найпростіша і дешева топологія. До порівняно дешевих можна також віднести топології зірка і дерево, що пов'язано з малою кількістю типів зв'язків між вузлами, тобто кожен комп'ютер пов'язаний безпосередньо з центральним вузлом. Далі слід топологія кільце. У ній кількість каналів зв'язку дорівнює кількості вузлів. Повнозв'язна топологія є найбільш складною і дорогою, відповідно. Це робить недоцільним використання такої топології при побудові великих мереж. При побудові глобальних мереж найбільшого поширення набула многосв'язна ячеїста топологія. Вона займає проміжне положення за цими показниками, проте альтернативи цій топології в глобальних мережах немає, тому що такі мережі не будуються з нуля, а об'єднують вже існуючі мережі.

Надійність. За цим показником лідером є повнозв'язна топологія. У неї відсутні вузькі місця і є можливість забезпечення максимальної кількості альтернативних шляхів при виході будь-якої ланки з ладу. Найменш надійні топології: загальна шина, зірка і дерево. Топологія кільце займає проміжне положення, також як і багатозв'язна.

Продуктивність мережі. Якщо в якості одиниці вимірювання продуктивності використовувати кількість пакетів, переданих в мережі за одиницю часу, то очевидно, що продуктивність буде тим вище, чим більше

пакетів одночасно знаходиться в мережі. Зі збільшенням числа пакетів продуктивність зростає і при якомусь значенні настає насичення. Насичення зазвичай пов'язане з якимось вузлом або каналом в мережі, навантаження якого наближається до 1. Тому при побудові такої мережі намагаються забезпечити рівну пропускну здатність для всіх каналів, що забезпечує максимальну продуктивність для повно-топології і мінімальну продуктивність для загальної шини.

Час доставки. Необхідно аналізувати за умови відсутності вузьких місць в мережі. В цьому випадку час доставки безпосередньо пов'язано з числом хопов, тобто каналів зв'язку між сусідніми вузлами. Час доставки в 1 хоп забезпечує повносвязная топологія. Найбільше час доставки при великій кількості вузлів в мережі з топологією кільце. Найбільш складно оцінити час доставки в топології загальна шина. Це пов'язано з тим, що шина використовується всіма вузлами, і якщо для одного вузла час доставки виявляється мінімальним, то інші вузли чекають своєї черги, і час доставки різко збільшується. Крім того в топології загальної шини на час доставки вплив надають колізії, тобто зіткнення пакетів.

Представлений аналіз носить якісний характер і не може використовуватися для кількісної оцінки. Рішення про використання тієї чи іншої топології має прийматися на основі врахування всіх параметрів. При цьому може виявитися, що більш складна топологія виявляється дешевше, чим простіша. [148,149] На основі наведеного матеріалу, було прийнято рішення про застосування топології "зірка", так як вона володіє найбільшою ефективністю з представлених. На рисунках 3.21, 3.22, 3.23., 3.24. представлені існуючі нейронні мережі [148-150].

An informative chart to build Neural Network Graphs

©2016 Fjodor van Veen - asimovinstitute.org

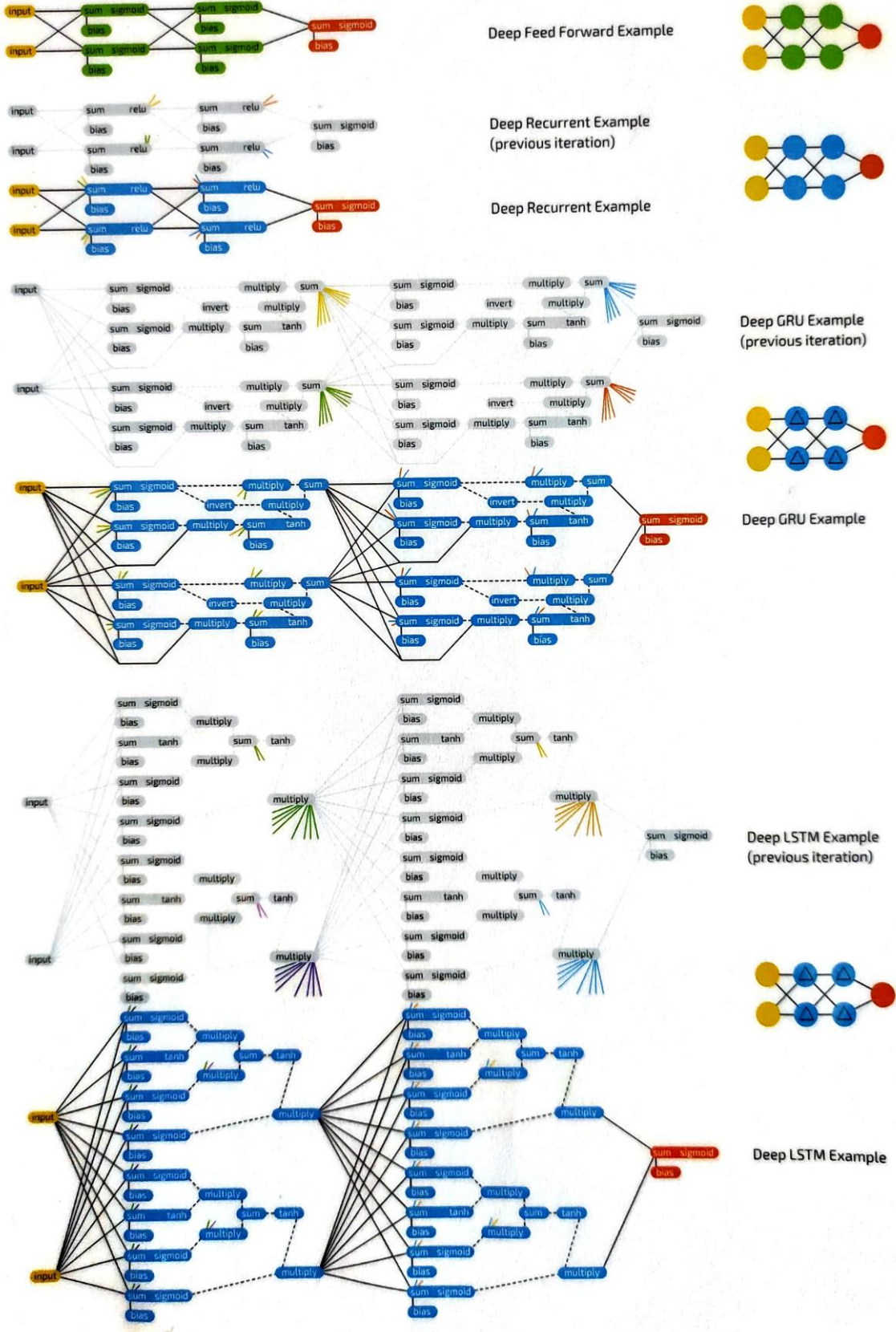


Рис.3.21. Топології нейроних мереж

A mostly complete chart of Neural Networks

©2016 Fjodor van Veen - asimovinstitute.org

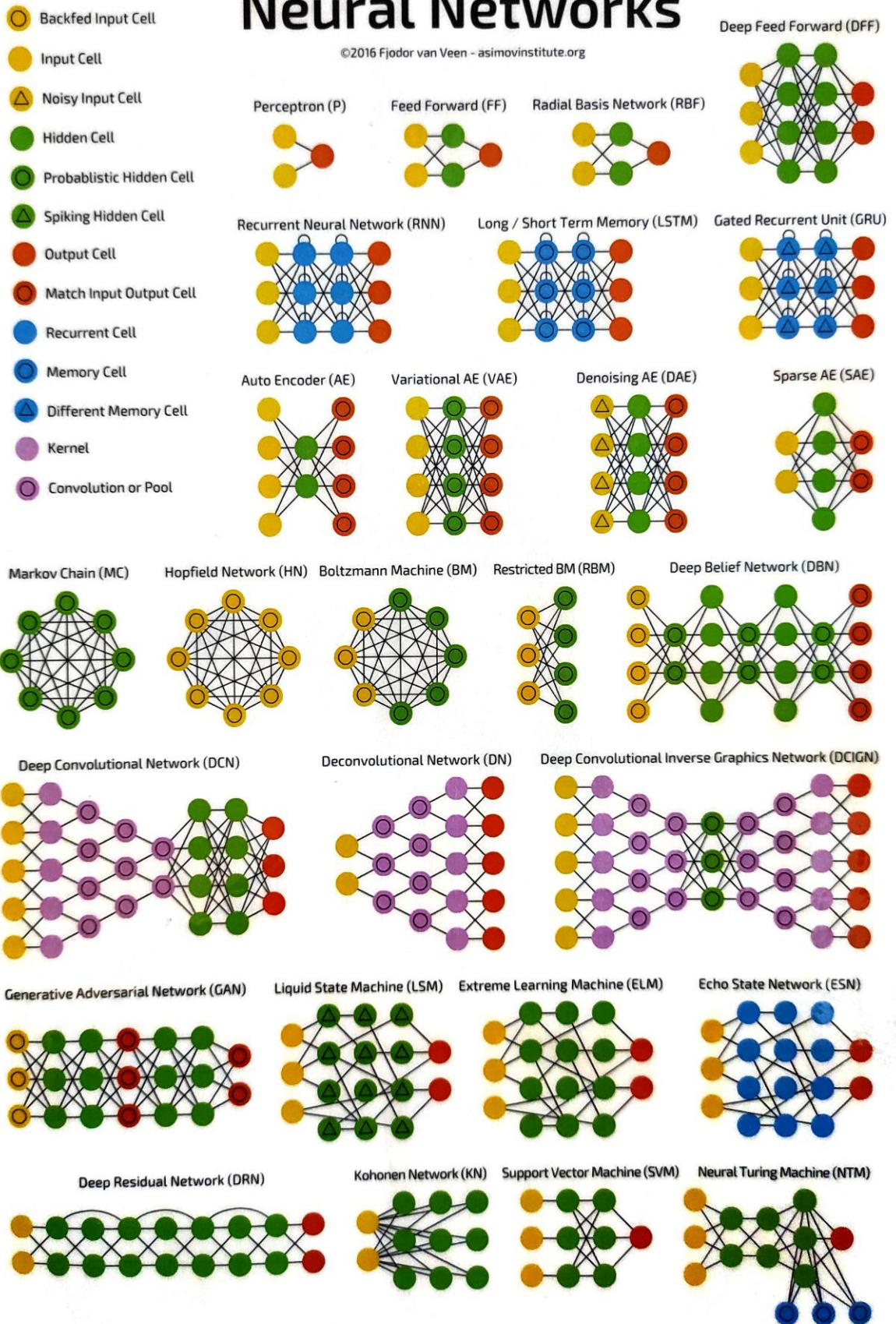


Рис.3.22. Топології нейронних мереж

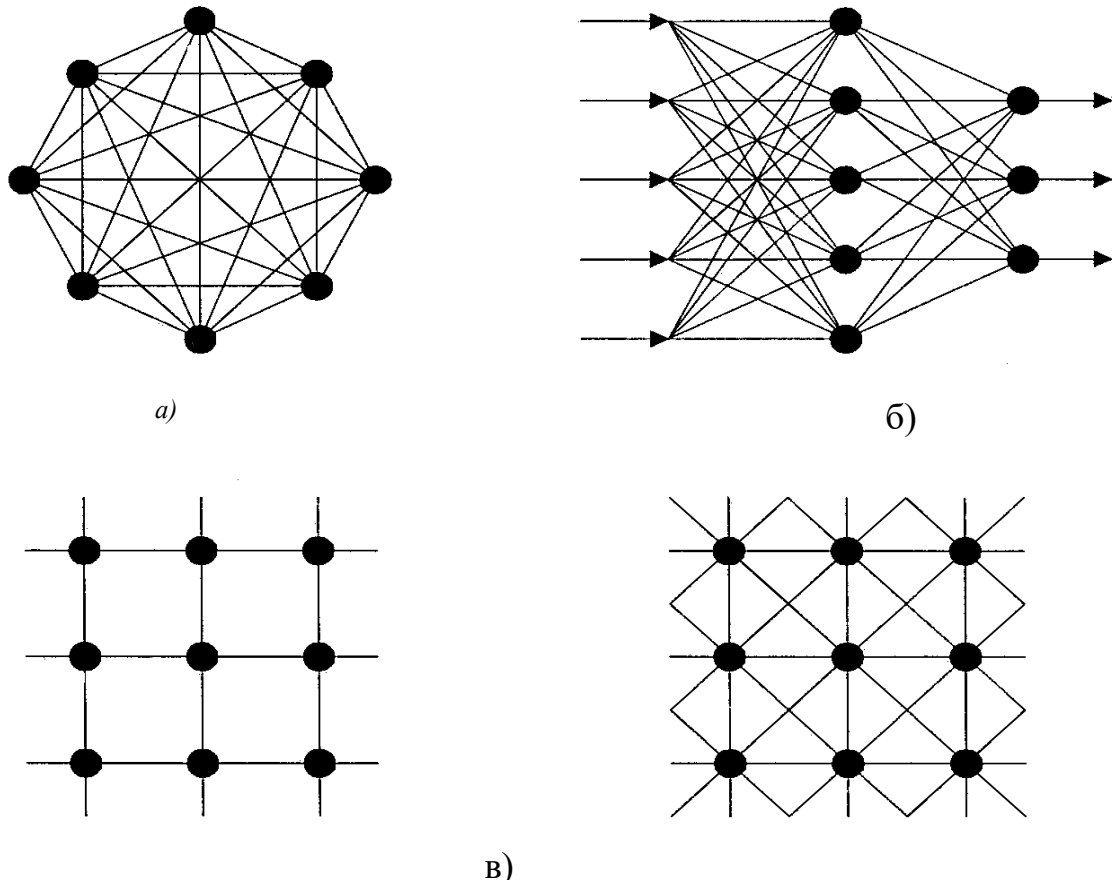


Рис. 3.23. Архітектура нейронних мереж

a – повнозв’язна мережа, *б* – багатошарова мережа з послідовними зв’язками, *в* – слабкозв’язні мережі



Рис. 3.24. Схема двохкласової класифікації методів машинного навчання

Однією з особливостей побудови АСТД є наявність не тільки вертикальних зв'язків між елементами системи, а й наявність горизонтальних зв'язків, зокрема, між ЦОДІ та заводами РЕА. Це дозволяє збільшити можливості отримання ДІ на випадок виходу зі строю обладнання того чи іншого елемента всієї СТОіР.

Впровадження ІСД пропонується на другому рівні СТОіР, має забезпечити [167-170]:

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

Місця зберігання та обробки ДІ можуть бути наступними:

1. Сервери заводів РЕА.
2. У самому пристрої зйому ДІ.
3. У ПК, яка знаходиться поруч.
4. У хмарі.

Далі розглянемо питання вибору моделей.

Вибір моделей проводиться на малій вибірці (приблизно 10% від всіх даних) та визначається на 200 різних моделях. Для цього використовуються методи регресії, градієнтного спуску, удосконаленого спуску, ансамблю спусків, нейронні мережі тощо завдяки малій вибірці моделі тренуються дуже швидко і це дозволяє пришвидчити процес пошуку найкращої моделі.

Після першої ітерації до вибірки додається 10% вибірки, після чого відбираються 90% моделей з кращими результатами. Ітерації повторюються доки не залишиться 20 найкращих моделей натренованих і валідованих на 100% даних. Отже, аналітику немає необхідності визначати правила їх вибору для всіх типів даних - за нього це зробить автоматизована система

машинного навчання. В той же час аналітику залишиться тільки обрати модель оптимальну за параметрами точності та швидкодії.

Відправку ДІ буде здійснювати завод РЕА, які є елементом запропонованої структурної схеми СТОіР.

В якості кінцевого результату буде набір моделей, кожна з яких буде за визначеним критерієм найкращою для того чи іншого ЦП.

На сьогоднішній день відомі три автоматизованих системи:

- 1) datarobot
- 2) dataiku
- 3) h2o.ai

Вибір моделей, як варіант, може здійснювати система однієї з зазначених компаній та відправляти їх заводу РЕА.

Вихідними даними для побудови моделей є дані про значення ДП, отриманих в результаті проведення діагностування ЦП методами фізичного діагностування, а також результати їх форсованих випробувань. Дані про значення ДП можуть подаватися у вигляді додатку. Зручною є форма таблиці, яка містить дані про типи ЦП, серії РЕК, усереднені значення ДП, а також максимальні та мінімальні значення. Після формування додатку оператор відправляє його до бази даних компанії для створення моделей. Все це призводить до економії часу і коштів.

Враховуючи переваги та недоліки зберігання ДІ у зазначених місцях пропонується здійснювати на *серверах* заводів РЕА.

Далі представимо загальну схему проходження ДІ.

Загальна схема проходження ДІ

ЦП - ПД - ДІ – підсилювач – аналого-цифровий перетворювач (АЦП) – БД – порівняння з результатами форсованих випробувань (розрахунок відхилення) - розрахунок часу наступної перевірки згідно формули 3.11.

I рівень СТОіР:

Отримання та перетворення діагностичної інформації

1. Зйом діагностичної інформації ПД з контрольної точки ЦП.

2. Підсилення сигналу.
3. Перетворення у АЦП діагностичної інформації із аналогової форми у цифрову.
4. Запис діагностичної інформації у ПК.
5. Надходження ДІ у базу даних ІСД (II рівень СТОіР).

II рівень СТОіР:

Обробка діагностичної інформації [151]

У ІСД (обробка відповідно до алгоритму)

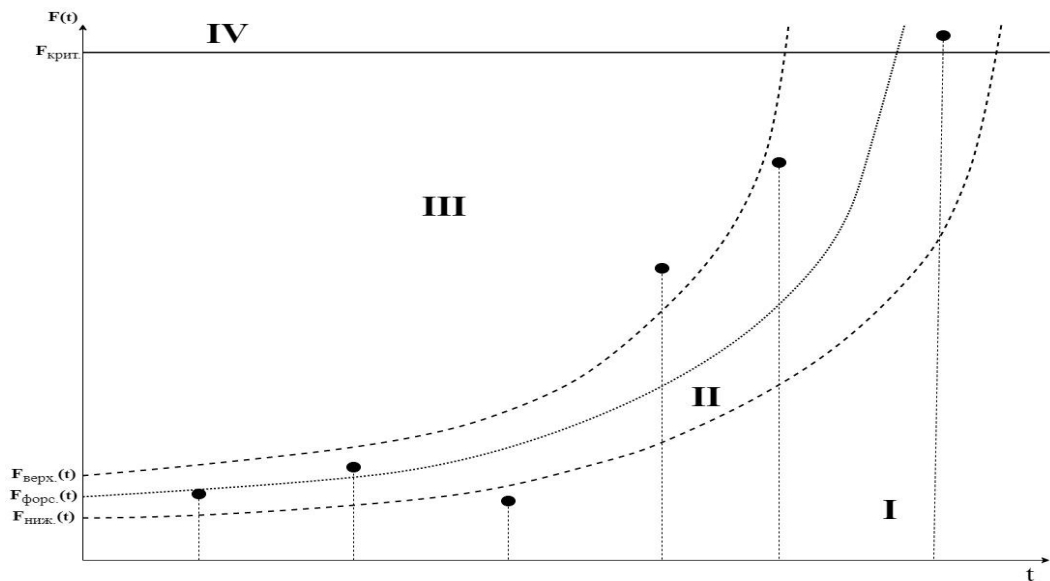


Рис. 3.25. Области можливих значень діагностичного параметру

З рис. 3.25. видно, що ДП можуть приймати значення, які відносяться до однієї з чотирьох областей (табл. 3.3):

Перша область відповідає значенням ДП, які нижче кривої мінімальних значень. У цьому випадку приймається рішення про справний ТС, а інтервал часу між перевітками є детермінованим і рівним попередньому.

Друга область – значення ДП знаходяться між кривими, які відповідають мінімальним та максимальним значенням. У цьому випадку приймається рішення про справний ТС, а перевірочний інтервал є детермінованим і рівним попередньому.

Треття область – значення ДП знаходяться вище кривої, яка відповідає максимальним значенням ДП та нижче лінії критичних значень. У цьому випадку проводиться повторна перевірка ТС, після чого приймається рішення про продовження експлуатації ЦП або його заміну.

Четверта область знаходиться вище лінії критичних значень. У цьому випадку приймається рішення про заміну ЦП.

Таблиця 3.3.

Значення ДП, які відносяться до однієї з чотирьох областей

Номер області	Область значень діагностичних параметрів	Рішення про технічний стан	Подальша дія	Значення наступного інтервалу часу між перевірками
I	Нижче кривої мінімальних значень	Технічно справний	Продовження експлуатації	Позачергова перевірка. Згідно з формулою 3.11
II	Межі між мінімальними та максимальними значеннями	Технічно справний	Продовження експлуатації	Детермінований
III	Вище кривої, яка відповідає максимальним значенням ДП та нижче лінії критичних значень	Не визначено	В залежності від результатів наступної позачергової перевірки	Позачергова перевірка Згідно з формулою 3.11
IV	Вище лінії критичних значень	Технічно несправний	Заміна цифрового пристрою	

Алгоритм обробки ДІ представлений на рис. 3.26.

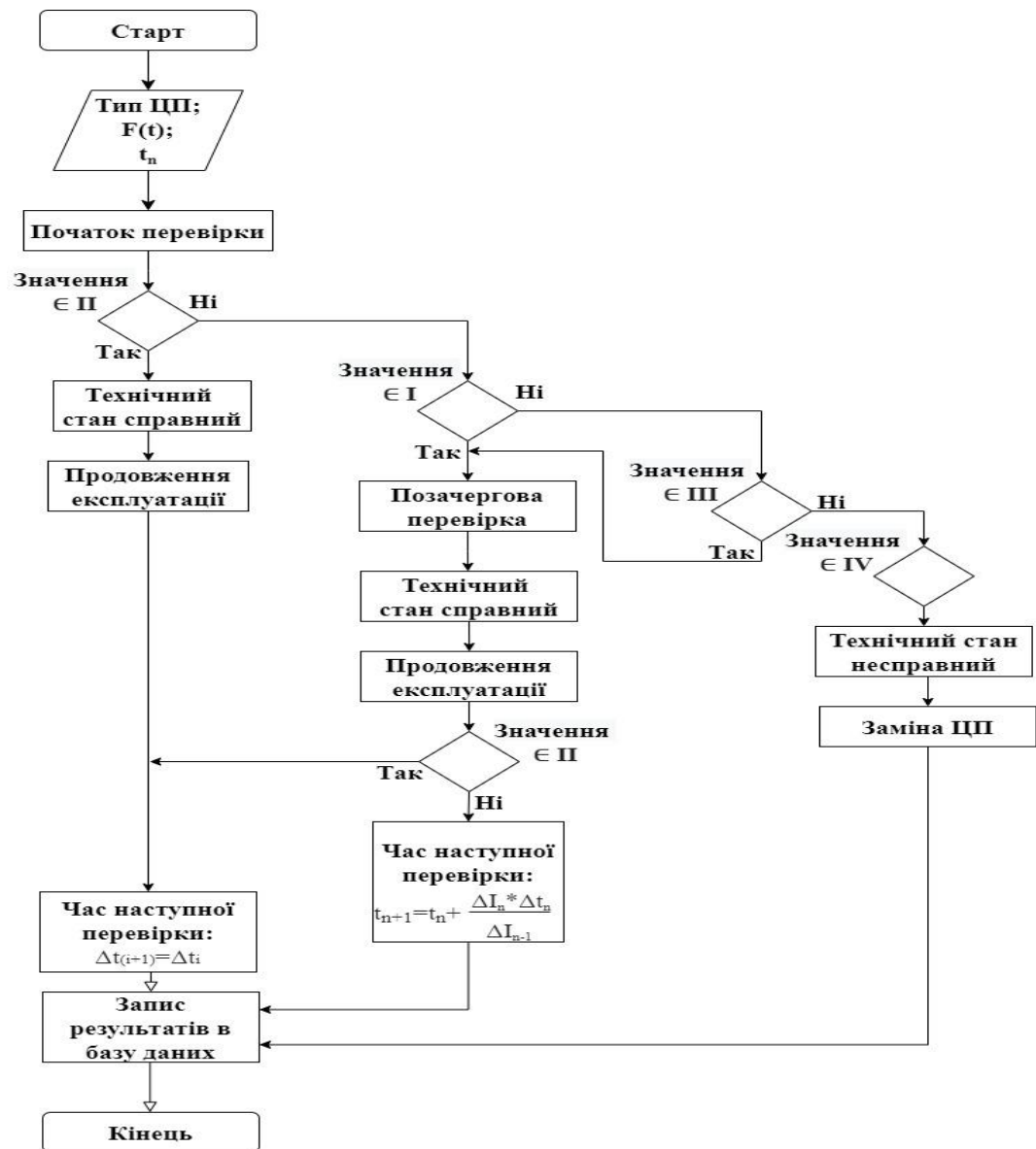


Рис 3.26. Алгоритм обробки діагностичної інформації

Невизначеність оцінки ДП полягає у неможливості передбачити значення ДП у час діагностування, який ще не настав, тобто заздалегідь невідомо, якого значення набуде ДП у розрахований час перевірки. Для визначення часу наступної перевірки будуть враховуватись як міжперевірочний час, який передує наступному, та значення ДП, отримане в результаті останньої перевірки. З огляду на це видно, що міжперевірочний час між першою та другою перевіркою, які ще не наступили, є теж невизначеним.

3.7. Розробка інформаційних технологій обробки діагностичної інформації для виконання функцій технічної діагностики в автоматизованій системі технічної діагностики

Блок-схема обробки ДІ, отриманої з використанням методів фізичного діагностування, представлена на рис 3.27.

У БД зберігаються еталони, якими є тестові впливи, еталонні реакції, ДМ, отримані в результаті проведення форсованих випробувань РЕК на надійність. У ході експлуатації зразків РЕГ при проведенні діагностування значення ДІ, отримані з використанням методів фізичного діагностування, будуть надходити у ПК (перший рівень СТОіР) та базу даних ІСД (другий рівень СТОіР) [167-170].

В результаті обробки ДІ користувач має отримати відповіді на питання щодо якісних та кількісних показників надійності ОД:

1. Визначення реального ТС.
2. Визначення часу експлуатації.
3. Визначення часу наступної перевірки ТС.
4. Визначення залишкового ресурсу ЦП.



Рис 3.27. Блок-схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування

Структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування, яка буде вирішувати викладені завдання, представлений на рис. 3.28 [128].

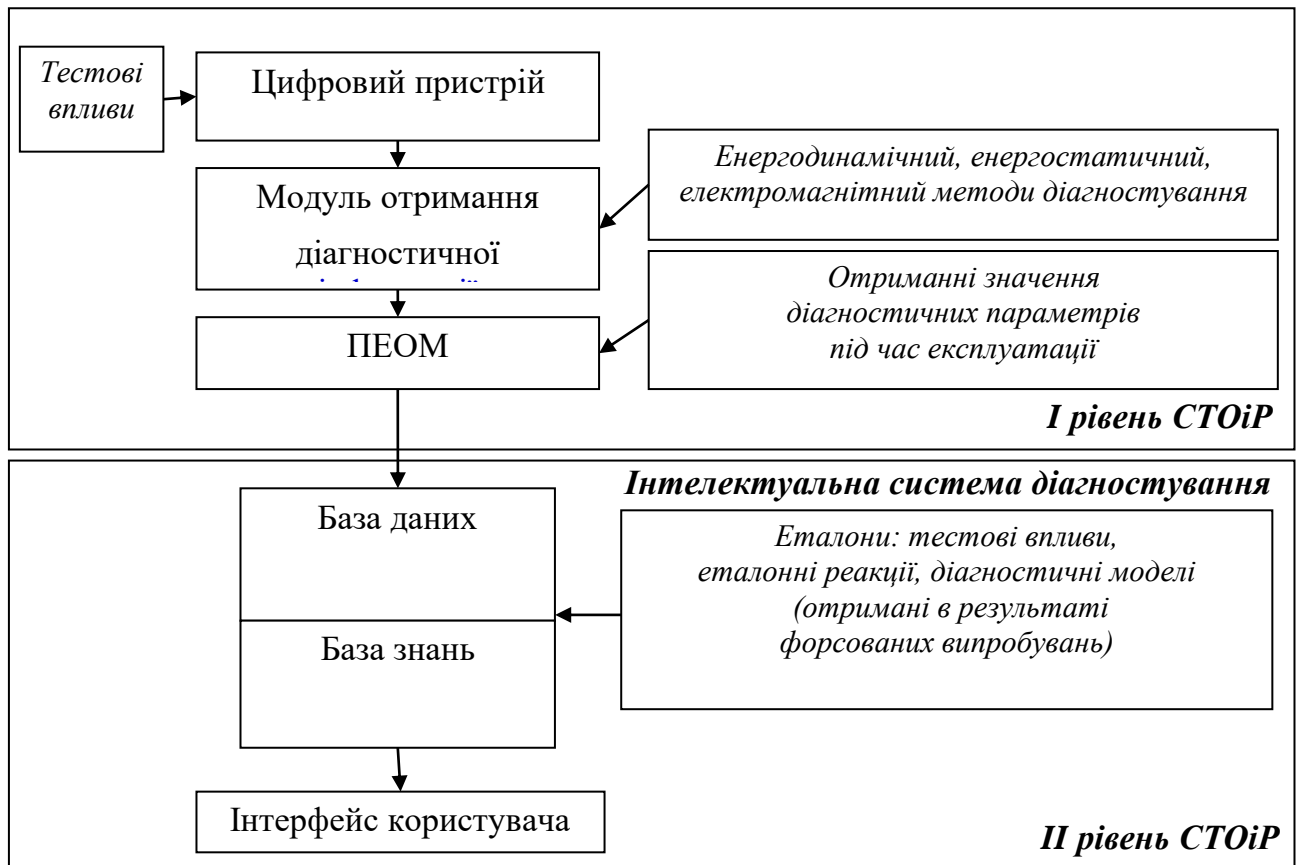


Рис. 3.28. Структурна схема обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування

З рис. 3.28. видно, що її елементами є модулі зняття та обробки ДІ. Вихідними даними для роботи представленої системи є достовірність діагнозу, глибина пошуку, повнота діагностування, середній час діагностування. В залежності від заданої достовірності, система в автоматичному режимі буде обирати метод або сукупність методів діагностування, що забезпечать пристрої вибору методу діагностування та комутації. ДІ, в залежності від методу діагностування, буде представлена різними ДП: значенням струму у ланцюзі електроживлення для енергодинамічного методу, значенням напруги у корпусному ланцюзі електроживлення для енергостатичного методу, значенням напруги у антенному пристрої для електромагнітного методу.

Основні завдання, які вирішуються АСТД [134]:

ДІАГНОСТИЧНІ

1. Визначення характеристик ОД.
2. Визначення ПД об'єкту.
3. Вибір методів діагностування в залежності від заданої достовірності.
4. Проведення діагностування.

ІНФОРМАЦІЙНІ

1. Отримання значень ДІ.
2. Запис ДІ у БЗ.
3. Вивід інформації на інтерфейс.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ

1. Обробка ДІ.
2. Отримання значень показників надійності.
3. Прийняття рішення.

Використання ІСД [167-170], яка є елементом ЦОДІ і елементом другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту РЕГ, призведе до зменшення середнього часу відновлення до 20%, зменшення середнього часу діагностування на 15-20 %, і, як наслідок, збільшення КГ об'єктів РЕГ до 20%.

Висновки до розділу 3

1. В роботі представлено комплексний метод діагностування на основі даних, які отримані при одночасному ітераційному застосуванні методів фізичного діагностування.

2. Розроблено метод отримання та обробки діагностичних даних на основі значень діагностичних параметрів, отриманих за допомогою комплексування результатів енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування та за результатами форсованих випробувань цифрових пристроїв на надійність.

3. Розроблено метод визначення технічного стану цифрових пристроїв при використанні методів фізичного діагностування та прогнозуючої функції.

4. Удосконалено метод локалізації дефектних цифрових елементів на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань.

5. Удосконалено метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв на основі запропонованої діагностичної моделі та розробленого алгоритму отримання та обробки діагностичної інформації.

6. Розв'язані завдання щодо обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв РЕТ.

7. Доведена доцільність використання ІСД для вирішення функцій технічної діагностики та розроблена її структурна схеми ІСД, а також блок-схема обробки ДІ, отриманої з використанням методів фізичного діагностування для нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ та показано в ній місце ІСД.

8. Доведена доцільність використання ІСД як елемента ЦОДІ та розроблена її структурна схема, а також представлені штучні нейронні мережі, що використовуються для її навчання.

9. Формалізовані рішення задач технічної діагностики з використанням інформаційних технологій у вигляді розроблених алгоритмів.

Основні наукові результати опубліковані у роботах [112,113`115,118;121-123;125-130;133,134;151,152;160-162] та доповідались на наукових конференціях [93-95;167-170].

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ПРИБОРІВ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ВІД МЕТОДІВ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ФОРСОВАНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Розділ присвячений удосконаленню методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань.

На основі проведеного аналізу загальних положень побудови ПТ для проведення діагностування ЦП, методик їх побудови для методів фізичного діагностування, обґрунтовано застосування різних ТП для кожного з методів фізичного діагностування та показані їх відмінності.

Обґрунтовані структурні схеми пристроїв діагностування та модулів обробки ДІ, отриманої за допомогою методів фізичного діагностування та наданий опис їх роботи.

З метою збільшення ймовірності упередження відмов ЦП обґрунтовано рішення щодо зміни міжперевірочного інтервалу об'єктів РЕТ.

Запропоновано здійснення фізичного діагностування для визначення ТС цифрових засобів вимірювань, а також автоматизованих вимірювальних систем та комплексів.

Удосконалено метод та розроблено алгоритм діагностування ЦП об'єктів РЕТ, в основу яких покладені рішення щодо поодинокого та комплексного використання методів фізичного діагностування.

Запропоновано оснащення кожного об'єкта РЕТ діагностичним модулем, який реалізує зазначені методи з використанням інформаційних технологій та показані їх переваги.

Запропоновано завдяки використанню інформаційних технологій при проведенні комплексного діагностування скорочення середнього часу

діагностування за рахунок визначення довжини ТП, яка є спільною (однаковою).

Зазначені питання потребують більш глибокого дослідження і є змістом наступного розділу.

4.1. Загальні положення побудови перевірочних тестів для проведення діагностування цифрових пристроїв

До функцій технічної діагностики відноситься визначення ТС, прогнозування його, локалізація несправностей, моніторинг ТС. Для їх виконання необхідно забезпечити надходження ПТ на вхід ЦП, які підлягають перевірці.

Розглянемо загальні положення побудови ПТ для проведення діагностування ЦП.

На практиці основна увага приділяється питанням створення програм моделювання несправностей та програмам синтезу ТП для ЦП [8,55,103,152,153]. Це пояснюється їх відносно нескладною функціональною насиченістю, яка дозволяє на етапі виробничого контролю виявляти достатньо великий відсоток несправностей. З метою спрощення процедури контролю та діагностики ЦП застосовуються різні правила та обмеження при їх проектуванні, сутність яких полягає у забезпеченні для більшості ЦП можливостей побудови ПТ для класу константних несправностей з повнотою виявлення 90-100% та глибиною пошуку не більше трьох-чотирьох ІС.

Для визначення технічного стану ЦП необхідно забезпечити надходження ТП на його вхід, яка генерується генератором ТП, тому важливою є задача побудови ПТ. Вони являють собою ТП, при надходженні якої на всі цифрові РЕК зі складу ЦП надійдуть ЧПТ. Для синтезу ТП використовуються наступні алгоритми [8,55,103,152,153]:

1. Формування тестових наборів, які відповідають повному перебору двійкових комбінацій. Метод підрахунку переходів, метод підрахунку

одиниць і ін. В результаті застосування подібного алгоритму генеруються так звані лічильникові послідовності.

2. Формування випадкових тестових наборів з необхідною імовірністю появи одиничного і нульового символів по кожному входу цифрової схеми.

3. Формування псевдовипадкових ТП.

Відомо що, ЦП діляться на комбінаційні та послідовнісні їх можна розглядати як детермінований автомат, вихідні сигнали якого, можуть бути описані булевими функціями або функціями переходів і виходів [8,103]. Комбінаційні пристрої характеризуються тим, що вихідні сигнали $Y(t)$ залежать від значень вхідних сигналів $X(t)$, тобто $Y(t)=F[X(t)]$, де F – функція виходу комбінаційного пристрою [8,103].

Сигнали на виходах послідовносних пристроїв (пристроїв з пам'яттю) $Y(t)$ у момент t визначаються не тільки значенням сигналів $X(t)$, що надійшли в цей же момент часу, а і внутрішнім станом $S(t)$, в якому знаходився пристрій в цей же момент часу t , тобто $Y(t) = F[S(t), X(t)]$, де F – функція виходу ЦП з пам'яттю [8,103].

Якщо вхідні сигнали ОД $X(t)$ є незалежними випадковими подіями, то модель ОД стає імовірнісним автоматом [153]. Випадковий характер сигналів в будь-якій точці ЦП дозволяє припустити, що послідовність \tilde{x}_i на входах i -го ЛЕ з імовірністю $P_{\text{ЧПТ}}$ містить такі набори, які забезпечують прояв будь-якого несправності в ЛЕ. Сукупність таких наборів називають ЧПТ [75,155].

Відомо, що тестування ЦП засноване на формуванні ТП, які надходять на їх вхід та дозволяють виявляти задану множину їх несправностей.

До класичних методів відносяться детермінований метод і метод випадкового пошуку.

Забезпечення умов проведення процедури тестування передбачає зберігання тестових послідовностей та еталонних вихідних реакцій схем на їх вплив. Рішення про ТС приймається на основі порівняння отриманих вихідних реакцій з еталонними, при цьому у випадку відповідності отриманих реакцій схеми еталонним ТС вважається справним, в інших

випадках несправним.

Для ряду типових ЦП, що випускаються в теперішній час, класичний підхід вимагає значних часових витрат як на формування ТП, так і на процедуру тестування. Крім того, великі об'єми тестової інформації і еталонних вихідних реакцій припускають наявність складного обладнання для проведення тестового експерименту. У зв'язку з цим вартість і час, що необхідні для реалізації класичного підходу, зростають на більшу величину, ніж складність самих ЦП. Тому, на основі вищевикладеного пропонуються використовувати для побудови ПТ [8,14-16,103,154] псевдовипадкову ТП.

В якості генератора, що формує ТП, використовується генератор псевдовипадкових чисел (ГПВЧ). Використання ГПВЧ дозволяє істотно скоротити апаратну частину вбудованої системи контролю ЦП [8,14-16,103,154]. При цьому немає необхідності записувати і зберігати в ЗД детерміновані тести.

ПТ для ЦП являє собою ТП, при якій на всі ІС зі складу ЦП надійдуть їхні ЧПТ. Кінець ТП буде відповідати останньому ЕТВ, при якому ЧПТ поступають на всі елементи ЦП. Для цього пропонується використовувати експериментальну методику визначення довжини ТП. Сутність методики полягає в тому, що для всіх елементів ЦП розробляються спеціальні апаратні засоби комірки реєстрації ЧПТ. До входів ЦП підключаються виходи ГПВЧ. До входів всіх елементів за допомогою "поля контактів" підключаються комірки реєстрації ЧПТ. Особливістю роботи комірки реєстрації ЧПТ є те, що вона формує на своєму виході два управляючих сигнали: сигнал, який повідомляє про те, що на елемент не поступив ЕТВ і сигнал, який повідомляє, що на елемент надійшов його ЧПТ. Перший сигнал використовується для припинення псевдовипадкової ТП та подачі на вхід ЦП певного детермінованого тестового впливу, а другий сигнал використовується для формування загального сигналу зупинки ПТ, коли на всі елементи надійдуть ЧПТ.

Перед початком перевірки на входи ЦП подається первинний вхідний

вплив (код) $D_{\text{ет}}$, який встановлює підвузли (елементи) ЦП в вихідний стан. У загальному випадку таких кодів може бути деяка множина. Потім проводиться запуск ГПВЧ. Кількість тестових впливів, що надійшли на ЦП, безперервно підраховується. Послідовності \tilde{x}_i комбінацій на входах елементів аналізуються комірками реєстрації ЧПТ. Якщо на i -й елемент протягом певного часу не надходить ЕТВ, комірка реєстрації формує сигнал по якому на ЦП подається однократний детермінований тестовий вплив з множини детермінованих тестових впливів $\{M\}$, після якого на ЦП продовжує надходити псевдовипадкова ТП. Якщо на i -й елемент поступили всі набори ЕТВ зі складу ЧПТ, комірка реєстрації формує сигнал, який свідчить, що ЧПТ i -й елемент поступив. Як тільки всі КР зареєструють надходження ЧПТ на всі елементи, подача ПТ на входи ЦП припиняється. Множина ТВ, поданих на ЦП є еталонною і називається $V_{\text{ЦП.ет}}$ – еталонною довжиною ТП. Даній послідовності відповідає певний відгук $\tilde{Y}_{\text{ЦП.ет}}$ на пристрої контролю ТС в корпусній шині електроживлення ЦП. Відгук $\tilde{Y}_{\text{ЦП.ет}}$ називається еталонною реакцією.

Якщо за допустимий час діагностування $t_{\text{д доп}}$ не забезпечується надходження ЧПТ на всі елементи ОД, процес повторюється при інших режимах роботи ГПВЧ і первинному установчому коді.

Отже, після отримання ТП визначаються наступні дані, які є для ЦП паспортними [8,14-16,85,103,154]:

1. Довжина тестової послідовності – $V_{\text{ЦП.ет}}$;
2. Режим роботи ГПВЧ – $Q_{\text{ет}}$.
3. Первинний установчий код – $D_{\text{ет}}$.
4. Множина детермінованих тестових впливів $\{M_m\}$.

У загальному випадку може існувати деяка множина різних послідовностей псевдовипадкових чисел, що забезпечують надходження ЧПТ на всі елементи ЦП. Серед цієї множини є найбільш раціональна

послідовність, яка має найменшу довжину, тобто забезпечує мінімальну тривалість перевірки при тих же значення ДП.

Режим роботи ГПВЧ залежить від розрядності регістру зсуву, а також від кількості і видів зворотних зв'язків і визначається утворюючим поліномом – $Q(x)$. Від даного полінома залежить довжина псевдовипадкової послідовності, т.ч. починати формування тестової послідовності необхідно з такого режиму роботи ГПВЧ (такого полінома $Q(x)$), при якому довжина послідовності максимальна. В табл. 4.1 наведені утворюючі поліноми, які визначають максимальну K – довжину псевдовипадкової послідовності залежно від m – розрядності регістру зсуву [156,157].

Таблиця 4.1

Вид утворюючого полінома, для формування псевдовипадкової послідовності максимальної довжини

	$Q(x)$	K		$Q(x)$	K
	$x+1$	1	1	$x^{21} + x^2 + 1$	$2^{21} - 1$
	$x^2 + x + 1$	3	2	$x^{22} + x + 1$	$2^{22} - 1$
	$x^3 + x + 1$	7	3	$x^{23} + x^5 + 1$	$2^{23} - 1$
	$x^4 + x + 1$	15	4	$x^{24} + x^4 + x^3 + x + 12^{24} - 1$	
	$x^5 + x^2 + 1$	31	5	$x^{25} + x^3 + 1$	$2^{25} - 1$
	$x^6 + x + 1$	63	6	$x^{26} + x^8 + x^7 + x + 12^{26} - 1$	
	$x^7 + x + 1$	127	7	$x^{27} + x^8 + x^7 + x + 12^{27} - 1$	
	$x^8 + x^6 + x^5 + x + 1$	255	8	$x^{28} + x^3 + 1$	$2^{28} - 1$
	$x^9 + x^4 + 1$	1023	9	$x^{29} + x^2 + 1$	$2^{29} - 1$
0	$x^{10} + x^3 + 1$	$2^{10} - 1$	0	$x^{30} + x^{16} + x^{15} + x + 2^{30} - 1$	

1	$x^{11} + x^2 + 1$	$2^{11} - 1$	1	$x^{31} + x^3 + 1$	$2^{31} - 1$
2	$x^{12} + x^7 + x^4 + x^3 + 1$	$2^{12} - 1$	2	$x^{32} + x^{28} + x^{27} + x + 1$	$2^{32} - 1$
3	$x^{13} + x^4 + x^3 + x + 1$	$2^{13} - 1$	3	$x^{33} + x^{13} + 1$	$2^{33} - 1$
4	$x^{14} + x^{12} + x^{11} + x + 1$	$2^{14} - 1$	4	$x^{34} + x^{15} + x^{14} + x + 1$	$2^{34} - 1$
5	$x^{15} + x + 1$	$2^{15} - 1$	5	$x^{35} + x^2 + 1$	$2^{35} - 1$
6	$x^{16} + x^{12} + x^{11} + x + 1$	$2^{16} - 1$	6	$x^{36} + x^{11} + 1$	$2^{36} - 1$
7	$x^{17} + x^3 + 1$	$2^{17} - 1$	7	$x^{37} + x^{12} + x^{10} + x^2 + 1$	$2^{37} - 1$
8	$x^{18} + x^7 + 1$	$2^{18} - 1$	8	$x^{38} + x^6 + x^5 + x + 1$	$2^{38} - 1$
9	$x^{19} + x^6 + x^5 + x + 1$	$2^{19} - 1$	9	$x^{39} + x^4 + 1$	$2^{39} - 1$
0	$x^{20} + x^3 + 1$	$2^{20} - 1$	0	$x^{40} + x^{21} + x^{19} + x^2 + 1$	$2^{40} - 1$

ТП будуть використовуватись для визначення ТС цифрового пристрою ЗД, в яких реалізовані методи фізичного діагностування. З огляду на застосування різних ТП для кожного з методів фізичного діагностування, важливою є задача побудови ТП та її використання для кожного з них. Зважаючи на вихідні дані, в яких визначена достовірність діагностування, яка вимагається, постає задача вибору ТП перед початком діагностування, вирішення якої реалізовано в роботі ІСД [167-170]. При комплексному використанні методів фізичного діагностування буде використовуватись декілька ТП, відповідно до методів, які обрала ІСД. При цьому доцільне використання інформаційних технологій для зменшення середнього часу діагностування при комплектації методів за рахунок скорочення довжини тестової послідовності, яка є спільною, що буде проводиться ІСД (рис. 4.1).

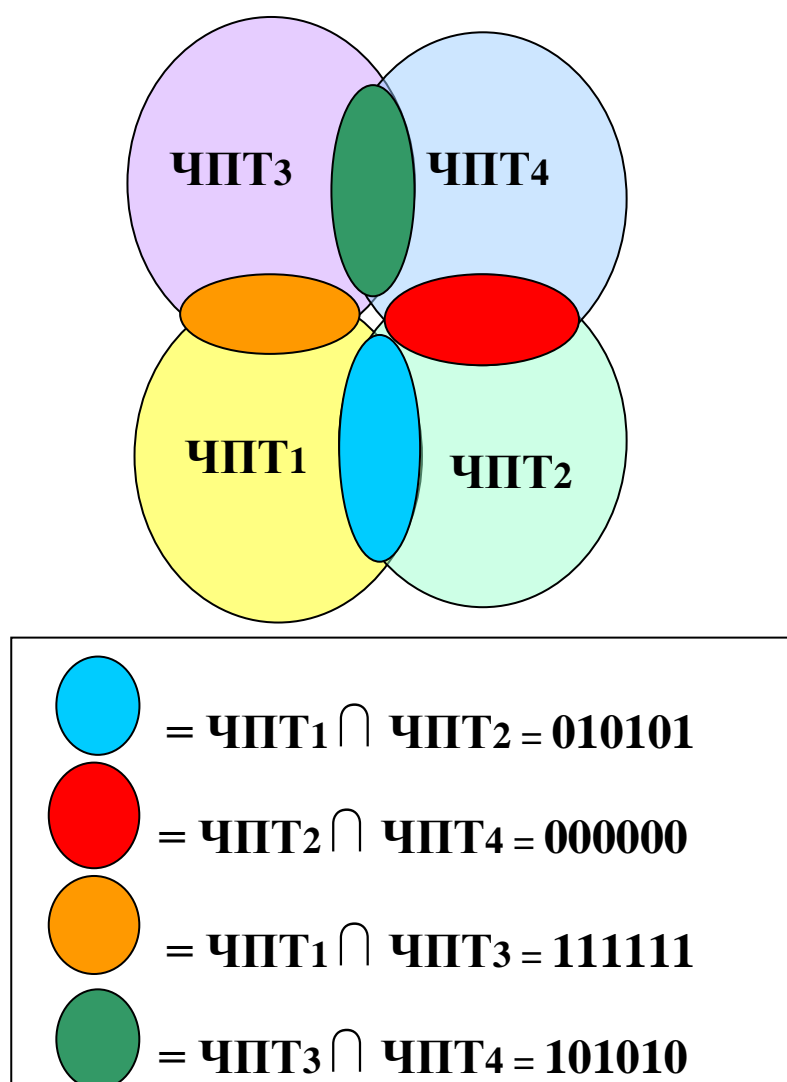


Рис.4.1. Застосування інформаційних технологій для зменшення середнього часу діагностування за рахунок виділення спільної частини тестової послідовності

4.2. Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування, для реалізації енергодинамічного методу

Для наочності на рис. 4.2 представимо, структурну схему ПД, який реалізує енергодинамічний метод.

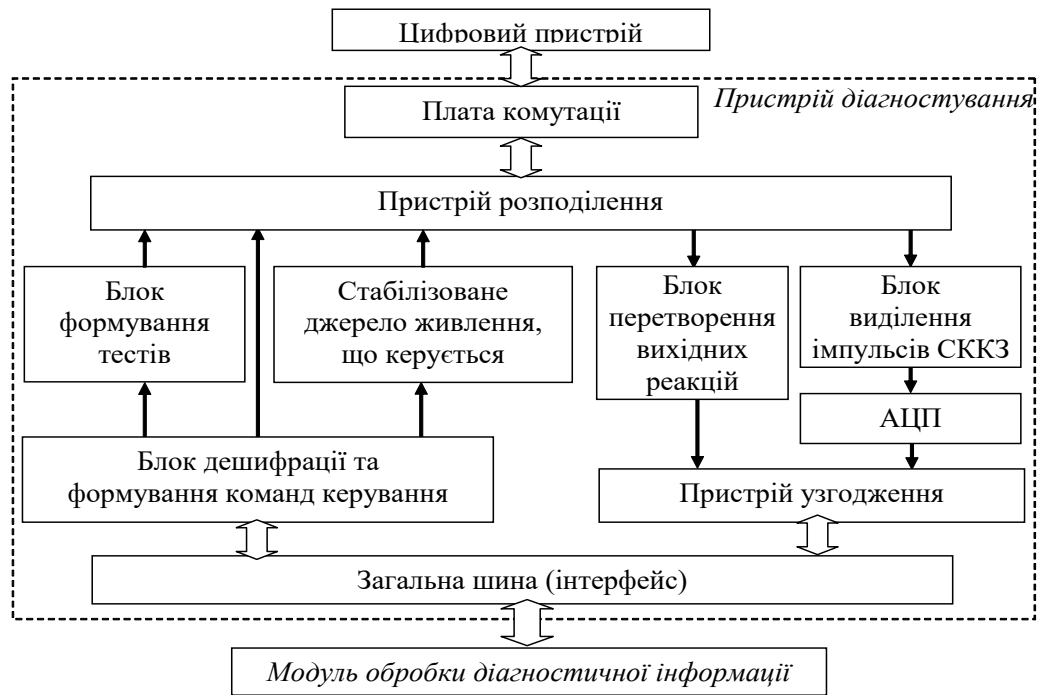


Рис. 4.2. Структурна схема пристрою діагностування, який реалізує енергодинамічний метод

Пристрій складається з двох частин - модуля зйому та модуля обробки ДІ [36,160]. Перший призначений для отримання ДІ та передачі її від ОД до модуля обробки ДІ. До його складу входить (рис. 4.2):

Плата комутації призначена для комутації ПД до різних ЦП, при цьому кожний роз'єм підключається до пристрою розподілу.

Призначення *пристрою розподілу* полягає у комутації відповідного роз'єму плати комутації та узгодження ЦП з блоком формування ТП і блоком виділення імпульсів струму квазікороткого замикання у шині електроживлення, а також пересилання ТП, підключення електроживлення від стабілізованого джерела. Крім того, пристрій розподілу забезпечує надходження на пристрій обробки ДІ отриманих реакцій та параметрів енергодинамічного процесу у шині електроживлення ЦП.

Пристрій розподілу призначений для підключення відповідного роз'єму плати комутації та узгодження ЦП з блоком формування ТП і блоком виділення імпульсів СККЗ в шині електроживлення, пересилання тестових

кодів, підключення напруги електроживлення з стабілізованого джерела електроживлення, а також для передачі на пристрій обробки ДІ отриманих вихідних реакцій і параметрів енергодинамічного процесу в шині електроживлення ЦП.

Блок формування тестових послідовностей призначений для формування заданої послідовності тестових впливів і логічних рівнів (в залежності від технології виготовлення елементної бази ЦП) для проведення діагностування згідно команд управління.

Блок дешифрування і формування команд управління призначений для перетворення коду команд, які надходять від оператора з модуля обробки ДІ, в паралельний код команд управління блоком формування тестових впливів, пристроєм розподілу і програмно-керованим стабілізованим джерелом електроживлення.

Блок перетворення вихідних реакцій ЦП призначений для приведення даної ДІ до виду зручному для подальшого аналізу (перетворення коду, стиснення у сигнатуру).

Програмно-кероване стабілізоване джерело електроживлення призначене для отримання стабілізованих напруг електроживлення, які змінюються згідно із законом, що задається командами управління. Діагностування ЦП необхідно проводити не менше ніж при двох рівнях напруги електроживлення: номінальному, при якому всі складові його елементи працюють стійко; граничному, при якому працездатні елементи працюють стійко, а непрацездатні (або ті, які знаходяться в передвідмовному стані) втрачають свою працездатність і викликають відмову ЦП.

Блок виділення образу імпульсів СККЗ в шині електроживлення ЦП призначений для фільтрації і виділення способу імпульсів, посилення їх до відповідного рівня. Образ - сукупність послідовності імпульсів, утворена ЛЕ при виконанні певного ЕТВ. Блок виділення повинен володіти характеристиками, що дозволяють виділяти імпульси СККЗ амплітудою 100 ... 1000 мВ і тривалістю 4 ... 75 нс на фоні шумів в шині електроживлення.

Блок АЦП призначений для перетворення образу послідовності імпульсів струму квазікороткого замикання із аналогової форми в цифрову АЦП має бути швидкодіючим з метою якісного перетворення сигналів.

Зважаючи на тривалість імпульсів квазікороткого замикання, яка в середньому складає порядку 20 нс, для впевненого розпізнавання та аналізу образу імпульсів треба мати АЦП з частотою дискретизації не менше 1 ГГц та розрядністю не менше 8 бит та швидкодіючим оперативним запам'ятовуючим пристроєм.

Пристрій узгодження призначений для перетворення ДІ до вигляду, зручного для передачі та обробки у модулі обробки ДІ.

Загальна шина (інтерфейс) призначена для підключення модуля зйому до модуля обробки, а також для передачі команд управління з модуля обробки на ЦП та передачі вихідних реакцій та імпульсів квазікороткого замикання до модуля обробки.

Конструктивне виконання та схемотехніка з'єднання визначаються способом підключення блоку до ПК.

Процес діагностування починається з завантаження до ПК даних про ЦП, який підлягає діагностуванню [36]. Через діалогові засоби проводиться уточнення інформації про ЦП. Потім визначаються вимоги до параметрів діагностування (контроль функціонування, скорочена перевірка, повна перевірка тощо). Потім в БЗ проводиться аналіз отриманої інформації про ЦП, а також тієї, яка є, після чого формуються правила проведення діагностування.

На основі заданих умов формуються команди управління модулем зйому інформації. Для блоку формування ТП визначається алгоритм діагностування, а також набори ЕТВ, які являють собою функціонально закінчені послідовності команд и імпульсні вхідні впливи. Елементарні тестові впливи вибираються відповідно до алгоритму діагностування, визначеному у БЗ, виходячи з заданих умов.

Для вибору імпульсних вхідних впливів використовується один з наступних способів [36]:

- заздалегідь підготовлену БД, в яку записані оптимізовані імпульсні вхідні впливи, розраховані для кожного типу ЦП;
- безпосередньо з ПК у процесі діагностування;
- комбінованим способом, який передбачає використання БД, до якої записані оптимізовані імпульсні вхідні впливи, а також удосконалення та поповнення цієї БД за рахунок резерву часу, який забезпечується у процесі діагностування.

У ході експлуатації РЕТ відбувається удосконалення та автоматичне поповнення БД, а також фахівцями-експертами в даній предметній області.

Число ЕТВ визначається у блоці знань, виходячи з заданих ПД, а саме, вірогідності та часу.

З модуля обробки через загальну шину надходять команди управління для формування заданої ТП [36]. Блок дешифрації та формування команд управління перетворює отриманий код у паралельний код команди управління блоком формування тестових впливів та джерелом електроживлення.

Блок формування тестових впливів формує ТП для перевірки технічного стану ЦП та локалізації несправностей. Джерело електроживлення відповідно до команд управління формує відповідну напругу для електроживлення ЦП. Вибір рівня напруги залежить від типу ЦП та задачі діагностування.

З ОД знімається ДІ, яка являє собою імпульси струму квазікороткого замикання та вихідні реакції. Останні надходять до блоку перетворення, де вони перетворюються до вигляду, зручного для подальшої обробки та передачі до моделі обробки. Водночасно у шині електроживлення ЦП відбувається виділення імпульсів струму квазікороткого замикання.

Блок складається з фільтру та підсилювачу, який підсилює імпульси струму квазікороткого замикання до необхідного рівня, після чого вони надходять на швидкодіючий АЦП, в якому відбувається їх перетворення з аналогової форми у цифрову. Далі через пристрій узгодження сигнал

надходить у модуль обробки. Цифрова обробка сигналів проводиться з метою перетворення і аналізу отриманої ДІ у частотній області, після чого приймається рішення про технічний стан ЦП. ДІ надходить до БД модуля обробки [36], де відбувається її накопичення, а з БД вона надходить в блок нечіткого логічного висновку, в цей час до цього блоку надходить інформація з БЗ і значення функцій приналежності з бібліотеки функцій приналежності. У даному блоці відбувається покрокове порівняння параметрів значень отриманої ДІ з еталоном для даного типу ЦП, який знаходиться в БЗ, при використанні відповідних функцій приналежності.

Після порівняння з еталоном у відповідному блоці відбувається прийняття рішення про ТС частини ЦП, яка перевіряється, на основі нечіткого логічного висновку і відображення цієї інформації користувачеві. На основі даної інформації, з БЗ відбираються дані відповідні ситуації, що склалася і пересилаються в БЗ, звідки у вигляді команд управління вони надходять на блок формування ТП. Отже, кількість ЕТВ і наборів даних, а також порядок їх проходження можуть змінюватися в залежності від отриманої ДІ.

Таке рішення дозволяє виключити деякі ЕТВ з тієї причини, що за результатами отриманих даних відпадає необхідність в них. Як наслідок, це призводить до зменшення кількості наборів в ТП, що, в свою чергу, дозволяє скоротити час діагностування.

Рішення щодо використання послідовного виконання команд з поточним аналізом стану дозволяє проводити діагностування до знаходження першого несправного компонента та подальший пошук інших несправних компонентів за рахунок виключення інформації про попередньо виявлених. На основі отриманої ДІ і варіантів прийняття рішень, накопичених в БЗ, проводиться формування нових ЕТВ [36].

У разі неможливості прийняття однозначного рішення, користувач шляхом зміни показника виду функції приналежності або поточних даних в БЗ або БД може внести зміни в механізм прийняття рішення. У випадку, коли

застосування нових даних призведе до підвищення вірогідності діагнозу, вони будуть занесені у БЗ та використовуватися надалі.

Розглянуте дозволяє зробити наступні **висновки**.

1. Енергодинамічний метод дозволяє визначати ТС на рівні ЦП як складової блоку.

2. В якості КТ використовуються шина електроживлення та вихідні контакти ЦП. ДІ знімається з резистору, який ввімкнений у шину електроживлення і являє собою значення струму імпульсів квазікороткого замикання.

3. Для перетворення ДІ з аналогової форми у цифрову використовується АЦП.

4. Глибина діагностування – ЦП, в деяких випадках – РЕК.

5. Еталонна інформація записана у БД (бібліотеку).

6. Оснащення першого рівня ПД, який реалізує зазначений метод, дозволяє досягнути вірогідності правильного діагнозу 0,95.

7. Обмеження методу полягає в застосуванні його для діагностування ЦП.

8. Припущеннями методу є справність ПД.

9. Рішення про ТС приймається на основі порівняння ДІ, отриманої у КТ, з еталонною.

10. Застосування методу – для відновлення працездатності ЦП у РО, тобто, після виходу ЦП зі строю.

11. Енергодинамічний метод діагностування без врахування результатів форсованих випробувань на надійність дозволяє визначати ТС цифрових пристроїв несправним після виходу ЦП зі строю, а не упереджувати (прогнозувати) його.

Для порівняння переваг та недоліків енергодинамічного та інших методів фізичного діагностування, розглянемо детальніше енергостатичний метод.

4.3. Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування, для реалізації енергостатичного методу

Розглянемо особливості використання енергостатичного методу діагностування з точки зору формування ТП та обробки ДІ [70]. Для наочності представимо структурну схему ПД, який реалізує енергостатичний метод, представлена на рис. 4.3. Він складається з трьох модулів та забезпечує роботу у 2-х режимах: автоматичного контролю ТС цифрових пристроїв та ручного введення паспортних даних. Далі представимо призначення елементів.

Модуль комутації призначений для комутації ЦП з ПД, містить в собі плату комутації та пристрій розподілу.

Комутаційна плата складається з наборів роз'ємів для різних ЦП.

Пристрій розподілу призначений для комутації ЦП з генератором ТП і блоком знімання ДІ, передачі тестових впливів та підключення електроживлення від джерела.

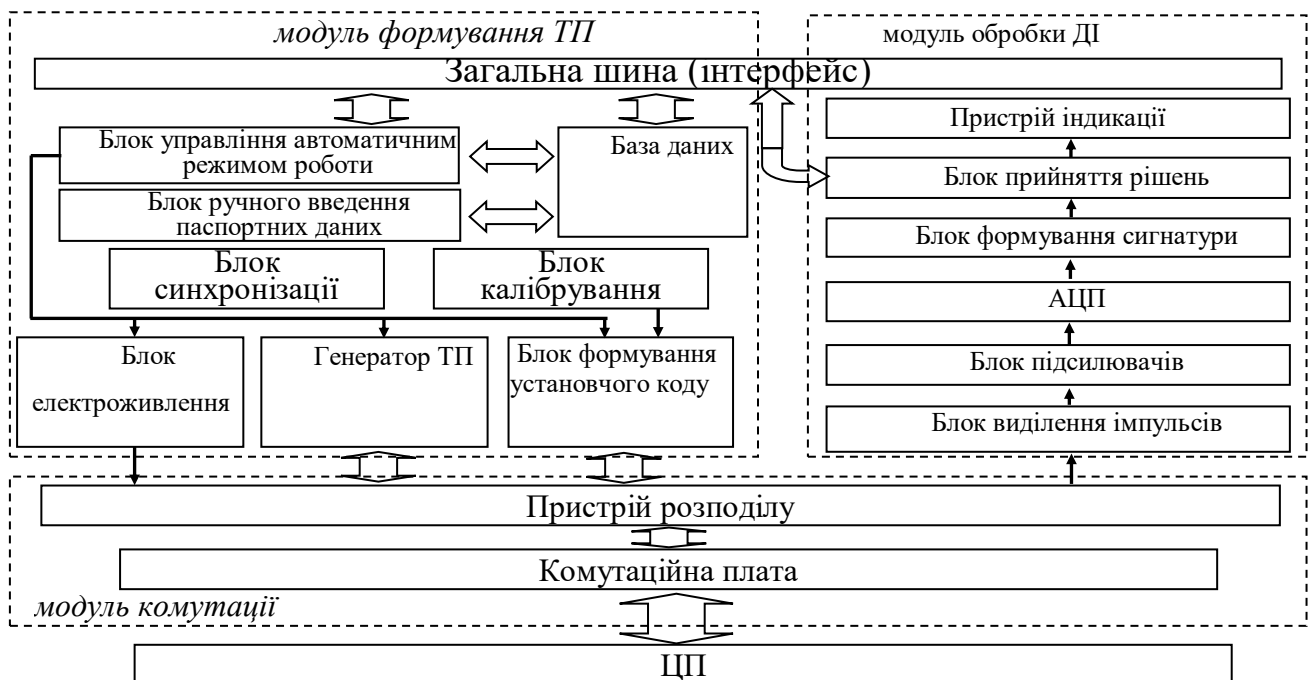


Рис. 4.3. Пристрій діагностування, який реалізує енергостатичний метод

Модуль формування тестових послідовностей служить для генерації

ПТ, які надходять на вхід ЦП та складається з наступних блоків [70].

Блок формування установчого коду призначений для подачі на ЦП первинного тесту, який встановлює його в початковий стан.

Генератор тестової послідовності є ГПВЧ та призначений для формування ТП, а також сигналів логічних рівнів для різних ІМС.

Блок ручного введення паспортних даних призначений для введення паспортних даних про новий ЦП до БД.

Блок управління автоматичним режимом роботи (БУАРР) призначений для формування команд і управляючих сигналів, які зберігаються в базі паспортних даних про ЦП і управляють процесом контролю його ТС, та являє собою мікроконтролер.

База даних призначена для зберігання паспортних даних різних типів ЦП.

Блок калібрування призначений для точного підстроювання коефіцієнта підсилення блоку підсилювачів.

Блок синхронізації призначений для узгодження в часі всіх процесів в УРМ.

База даних призначена для зберігання паспортних даних різних типів ЦП.

Блок калібрування призначений для точного підстроювання коефіцієнта підсилення блоку підсилювачів.

Блок синхронізації призначений для узгодження в часі всіх процесів в УРМ.

Блок електроживлення призначений для одержання стабілізованих напруг.

Модуль обробки діагностичної інформації служить для виділення, перетворення і аналізу ДІ, а також для ухвалення рішення про технічний стан ЦП. Модуль обробки ДІ складається з наступних блоків:

Блок виділення імпульсів в корпусній шині призначений для фільтрації і виділення імпульсів на контрольному опорі, який включений в розрив

корпусної шини.

Блок підсилювачів призначений для підсилення виділених імпульсів до необхідного рівня.

Блок АЦП призначений для перетворення виділених і підсилених сигналів в цифрову форму і перетворення паралельного коду в послідовний. Виходячи з аналізу параметрів імпульсів, швидкодія АЦП повинна відповідати, як мінімум, швидкодії існуючих ЦП, а для перспективних зразків набагато вище.

Блок формування сигнатури являє собою сигнатурний аналізатор.

Блок ухвалення рішень є пристрій порівняння, який призначений для ухвалення діагностичного рішення про технічний стан ЦП.

Пристрій індикації є індикатор, який відображає інформацію про технічний стан ЦП.

Загальна шина (інтерфейс) призначена для підключення модуля формування ТП до модуля обробки, а також для підключення УРМ до зовнішньої ПК для централізованого запису інформації в БД. Найбільш широке застосування знайшли наступні способи підключення зовнішніх пристроїв до ПК [70]:

Інформацією про працездатність ЛЕ є значення параметрів імпульсів, які виникають в корпусній шині [70]. Надходження на входи ЛЕ випадкової ТП \tilde{x}_i викликає спрацьовування елемента відповідно з реалізованою в ньому булевою функцією або функцією переходів і виходів. При цьому в шині електроживлення виникає відповідна послідовність сигналів (відгуків) \tilde{y}_{ki} . Якщо вхідна послідовність \tilde{x}_i містить ЧПТ, то сумарний відгук ЛЕ \tilde{y}_{ki} може бути представлений у вигляді послідовності відгуків елемента на ЧПТ $\tilde{y}_{чпт i}$ і на надлишкові набори $\tilde{y}_{нд.i}$. Цей сумарний відгук є еталонним і позначається $\tilde{y}_{ki ст.}$

В ТП, яка подається на ЦП, передбачається присутність ЧПТ для всіх його елементів за допомогою яких визначається еталонний відгук. Це

означає, що вхідна ТП $\tilde{X}_{ЦП}$ повинна бути детермінованою або псевдовипадковою (тобто відтворюваною). Завдяки вибору досить великого періоду повторення псевдовипадкової послідовності її можна вважати випадковою в межах часу діагностування t_d .

Несправність в ЛЕ приводить до того, що елемент припиняє перемикатися (константна несправність, на його виході постійно фіксується постійний рівень константний „0” або константна „1”) або змінюється його перемикальна функція [70]. Через відсутність спрацьовувань ЛЕ, значення параметрів імпульсів в шині електроживлення ЛЕ зміниться, тобто $\tilde{y}_{ki} \neq \tilde{y}_{ki\text{ет}}$. При цьому змінюються булеві функції, які реалізовані в цифровому пристрої. Це призводить до того, що реакції деяких справних ЛЕ також не відповідатимуть еталонним.

Умова прояву несправності на виходах ЛЕ автоматично трансформується в умову прояву несправності на пристрої контролю ТС. Завдяки цьому, будь-яка несправність, яка виникає в ЛЕ, проявиться в зміні параметрів відгуку \tilde{y}_{ki} цього елемента, який у свою чергу відобразиться на відгуку ЦП – \tilde{Y}_k .

Недоліком імовірнісних методів діагностування ЦП є те, що для забезпечення високої достовірності діагностування потрібно формувати надмірні послідовності, довжина яких значно перевищує оптимальну, що впливає на t_d – загальний час діагностування ЦП. Для усунення цього недоліку пропонується використовувати апаратну реєстрацію ЧПТ на входах і виходах всіх елементів, які входять до складу ЦП. З цією метою на етапі заводських випробувань до їх входів підключаються спеціальні комірки, які аналізують вхідні послідовності. Після реєстрації ЧПТ на виході комірки формується сигнал, який свідчить, що ЧПТ надійшов на відповідний елемент. Поява сигналів на виходах всіх комірок свідчить про те, що ЧПТ поступили на всі елементи ЦП. Еталонний відгук $\tilde{Y}_{k\text{ет}}$ розраховується для справного ЦП, як реакція схеми на пристрої контролю ТС на еталонну ТП $\tilde{X}_{ЦП\text{ет}}$. Ця

послідовність забезпечує надходження ЧПТ на входи всіх елементів ЦП. Існує декілька методів отримання, як еталонної ТП, так і еталонного відгуку. Еталонний відгук може бути розрахований теоретичним способом, з використанням діагностичної моделі ЦП; змодельований на ПК, за допомогою сучасних систем автоматичного проектування (САПР); вимірний на справному ЦП. Проводячи порівняння відгуку ЦП \tilde{Y}_k з еталонним, можна зробити висновок про працездатність даного ЦП. Аналіз існуючих методів діагностування був проведений в першому розділі. Зупинимось детальніше на методах формування перевірконої ТП і способах обробки ДІ:

- 1) підключення до паралельного порту LPT;
- 2) підключення до послідовної шини USB 1.1 або USB 2.0;
- 3) підключення до послідовної шини IEEE 1394 (Fire Wire, i/Link);
- 4) підключення до системної шини за допомогою інтерфейсу IDE;
- 5) підключення до системної шини за допомогою інтерфейсу SCSI.

Найбільш прийнятним є використання послідовної шини. Це ґрунтується на тому, що при цьому досягається висока швидкість передачі даних, відсутні жорсткі вимоги до довжини сполучного кабелю, відсутні змагання сигналів, немає необхідності використовувати додатковий адаптер, зручність підключення [70].

Пристрій працює таким чином [70]. Процес діагностування починається з калібрування УРМ. Для цього команда про початок калібрування надходить у блок формування установчого коду. По цій команді блок формує сигнал еталонної напруги і передає його в модуль обробки ДІ на блок виділення імпульсів в корпусній шині. Далі сигнал посилюється, перетворюється в цифрову форму і поступає на пристрій індикації. У випадку відмінності значення сигналу від паспортної (зазначеного у формулярі на УРМ), оператор змінює коефіцієнт підсилення блоку підсилювачів і домагається заданого значення.

Далі в БУАРР вводиться марка ЦП. Блок управління автоматичним

режимом роботи аналізує присутність даних для контролю технічного стану ЦП у БД. Якщо вихідні дані присутні, то БУАРР формує команди для керування процесом діагностування. Вихідні дані, які зберігаються в БД, надходять на відповідні блоки УРМ. Первинний установчий код надходить на блок формування установчого коду, режим роботи ГПВЧ на блок формування ТП, необхідні напруги від блоку електроживлення, на пристрій розподілу надходять команди, по яких даний пристрій визначає на які входи ЦП будуть подаватися тестові впливи й напруги електроживлення. Еталонна сигнатура надходить у блок прийняття рішень. Коли дані команди надійшли, БУАРР формує сигнал запуску, по якому на ЦП починає подаватися перевіряльний тест. На кожен ЕТВ у КТ формується відгук. Даний відгук надходить на модуль обробки ДІ в блок виділення імпульсів у корпусній шині. Обробка здійснюється в такий спосіб. Сигнал, виділений в КТ, підсилюється блоком підсилювачів і надходить у блок АЦП, де відбувається перетворення дискретного сигналу в цифровий, а також перетворення паралельного виду цифрового сигналу в послідовний. Блок формування сигнатури стискає потік ДІ в сигнатуру. Обробка ДІ завершується, коли на ЦП надійшов останній ЕТВ. Проаналізувавши останній відгук, блок формування сигнатури створює контрольну сигнатуру ЦП на заданий тест, і передає її в блок прийняття рішень, де відбувається порівняння контрольної сигнатури з еталонної. Результат порівняння передається на пристрій індикації, що відображає інформацію про технічний стан ЦП.

Якщо в БД відсутня інформація про ЦП, що перевіряється, то паспортну інформацію необхідно ввести уручну. Далі відбувається аналогічна процедура діагностування.

Розглянуте дозволяє зробити наступні **висновки**.

1. **Енергостатичний метод** призначений для контролю ТС на рівні ЦП як складової блоку.

2. В якості КТ використовуються корпусна шина. ДІ знімається з резистору, який примусово ввімкнений у корпусну шину і являє собою

значення напруги на резисторі. Ді знімається в усталеному режимі та представлена у аналоговій формі.

3. Для перетворення Ді з аналогової форми у цифрову використовується аналогово-ЦП.

4. Глибина діагностування – ЦП.

5. Еталонна інформація записана у базу даних модуля обробки Ді.

6. Оснащення першого рівня СТОіР пристроєм діагностування, який реалізує зазначений метод, дозволяє досягнути вірогідності правильного діагнозу 0,97.

7. Обмеження методу полягає в застосуванні його для діагностування ЦП.

8. Припущеннями методу є справність ПД.

9. “Поведінка” ДП в залежності від часу експлуатації ЦП не досліджувалась, рішення про ТС приймається на основі порівняння Ді, отриманої у КТ, з еталонною, тобто, умовно.

10. Застосування методу – для здійснення контролю технічного стану ЦП на об’єкті РЕТ.

Для порівняння переваг та недоліків енергодинамічного, енергостатичного та електромагнітного методу, останній розглянемо детальніше.

4.4 Обґрунтування структурної схеми пристрою діагностування для реалізації електромагнітного методу

Для наочності представимо структурну схему ПД (рис. 4.4), який реалізує електромагнітний метод [94].

ПД даного методу відповідає наступним вимогам:

- дозволяє проводити діагностування ЦП з достовірністю 0,97;
- дозволяє проводити автоматизацію процесу локалізації несправних РЕК цифрових пристроїв;

- можливість застосування ПД для діагностування нових зразків ЦП виходячи з їх паспортних даних;
- є відносно простим в експлуатації (можливість експлуатації ПД персоналом невисокої кваліфікації);
- має невеликі масово-габаритні показники;
- є відносно недорогим;
- є високопродуктивним.

Крім того, побудова ПД повинна передбачати можливість зберігання паспортних даних різних типів ЦП, а також можливість внесення до наявної бази нових паспортних даних.

Виходячи з даних вимог, ПД повинен працювати в двох режимах: режим діагностування радіоелектронних компонентів ЦП і режим введення паспортних даних уручну. ПД має в своєму складі три модулі: модуль формування ТП, модуль обробки ДІ і комутаційний модуль. Структурна схема ПД представлена на рис. 4.4.

Антенa призначена для зйому ДІ, якою є відеоімпульси, що виникають при спрацьовуванні ЛЕ цифрових РЕК, які підлягають перевірці.

Комутаційний модуль призначений для комутації ЦП з ПД.

ПД складає плата комутації та пристрій розподілу.

Плата комутації являє собою набір роз'ємів під різні типи ЦП, здійснюється підключення ЦП до ПД.

Пристрій розподілу виконує підключення відповідних входів ЦП до блоку формування ТП та пристрою зняття ДІ, а також надходження ТП на входи цифрових РЕК, крім того він забезпечує підключення електроживлення від його блоку.

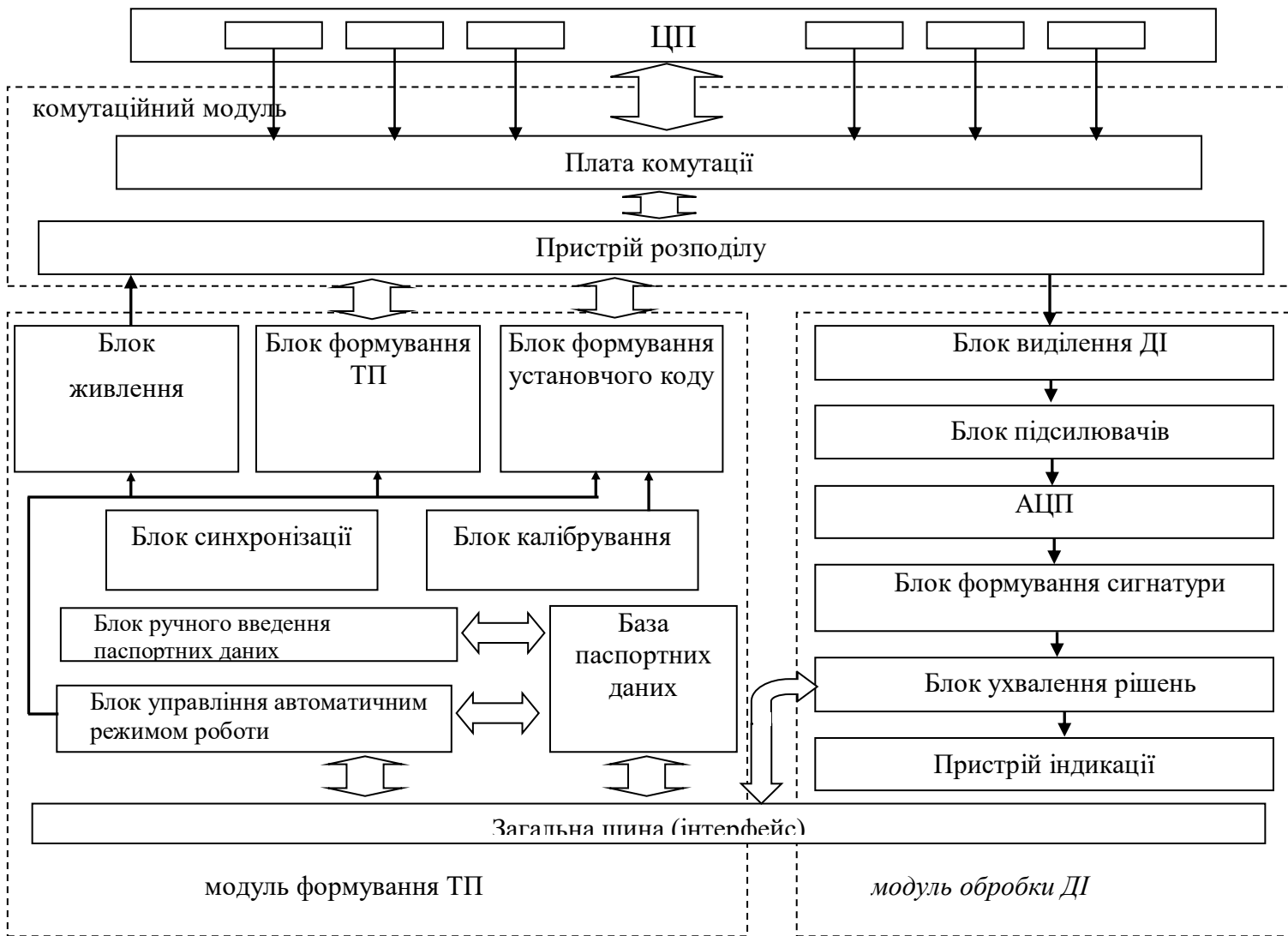


Рис. 4.4. Структурна схема пристрою діагностування для локалізації несправних радіоелектронних компонентів на основі електромагнітного методу

Модуль формування ТП призначений для формування ТП, які дозволяють здійснювати пошук несправних РЕК зі складу ЦП та складається з наступних блоків:

- блоку формування установчого коду;
- блоку формування ТП;
- блоку ручного введення паспортних даних;
- блоку управління автоматичним режимом роботи;
- БД;
- блоку калібрування;

- блоку синхронізації;
- блоку електроживлення.

Блок формування установчого коду формує і подає одноразовий первинний вхідний вплив для установки ЦП в початковий стан.

Блок формування тестової послідовності формує задану послідовність тестових впливів і логічних рівнів (залежно від технології виготовлення елементної бази ЦП) для проведення діагностування РЕК цифрових пристроїв і являє собою генератор детермінованої послідовності чисел.

Блок ручного введення паспортних даних призначений для введення паспортних даних про новий ЦП в БД.

Блок управління автоматичним режимом роботи являє собою мікроконтролер та забезпечує формування команд і управляючих сигналів, які зберігаються в базі паспортних даних про ЦП і управляють процесом діагностування.

База паспортних даних необхідна для зберігання паспортних даних різних типів ЦП.

Блок калібрування служить для точного підстроювання коефіцієнта підсилення блоку підсилювачів.

Блок синхронізації забезпечує узгоджену роботу у часі усіх ПД.

Блок електроживлення видає стабілізовані напруги електроживлення.

Модуль обробки діагностичної інформації служить для виділення, перетворення і аналізу ДІ, а також для ухвалення рішення про технічний стан РЕК цифрових ЦП і складається з наступних блоків і пристроїв:

- блок підсилювачів;
- блок виділення ДІ;
- аналого-цифровий перетворювач;
- блок формування сигнатури;
- блок ухвалення рішень;
- пристрій індикації.

Блок виділення імпульсів призначений для виділення ДІ.

Блок підсилювачів призначений для підсилення виділених імпульсів до необхідного рівня.

Аналого-цифровий перетворювач призначений для перетворення виділених і підсилених сигналів в цифрову форму і перетворення паралельного коду в послідовний. Виходячи з аналізу параметрів імпульсів, швидкодія АЦП повинна відповідати, як мінімум, швидкодії існуючих ЦП, а для перспективних зразків набагато вище.

Блок формування сигнатури призначений для стиску потоку діагностичних даних і являє собою сигнатурний аналізатор.

Блок ухвалення рішень є пристрій порівняння, який призначений для ухвалення рішення про технічний стан ЦП.

Пристрій індикації відображає інформацію про технічний стан ЦП.

Загальна шина (інтерфейс) призначена для підключення модуля формування ТП до модуля обробки ДІ, а також для підключення УРМ до зовнішньої ПК для централізованого запису інформації в базу паспортних даних.

Робота пристрою діагностування. Процес діагностування починається з калібрування ПД. Для цього команда про початок калібрування надходить у блок формування установчого коду. За даною командою блок формує сигнал еталонної напруги і передає його в модуль обробки ДІ на блок виділення імпульсів в прийомному пристрої. Далі сигнал посилюється, перетворюється в цифрову форму і поступає на пристрій індикації. У випадку відмінності значення сигналу від паспортної (зазначеного у формулярі на УРМ), оператор змінює коефіцієнт підсилення блоку підсилювачів до заданого значення.

Далі в БУАРР вводиться марка ЦП. Блок управління автоматичним режимом роботи аналізує присутність даних для діагностування радіоелектронного компоненту ЦП у БД. Якщо вихідні дані присутні, то БУАРР формує команди для керування процесом діагностування. Вихідні дані, які зберігаються в БД, надходять на відповідні блоки УРМ. Первинний

установчий код надходить на блок формування установчого коду, сигнали від генератору детермінованої послідовності на блок формування ТП, необхідні напруги отримують від блоку електроживлення, на пристрій розподілу надходять команди, по яких даний пристрій визначає на які входи ЦП будуть подаватися тестові впливи й напруги електроживлення. Еталонна сигнатура надходить у блок прийняття рішень. Коли дані команди надійшли, БУАРР формує сигнал запуску, по якому на ЦП починає подаватися ПТ. На кожен ЕТВ у антенному пристрої формується відгук. Даний відгук надходить на модуль обробки ДІ в блок виділення імпульсів. Обробка здійснюється в такому порядку. Сигнал, виділений у прийомному пристрої, підсилюється блоком підсилювачів і надходить у блок АЦП, де відбувається перетворення паралельного коду цифрового сигналу в послідовний. Блок формування сигнатури стискає потік ДІ в сигнатуру. Обробка ДІ завершується, коли на ЦП надійшов останній ЕТВ. Проаналізувавши останній відгук, блок формування сигнатури створює контрольну сигнатуру ЦП на заданий тест і передає її в блок прийняття рішень, де відбувається порівняння контрольної сигнатури з еталонною. Результат порівняння передається на пристрій індикації, що відображає інформацію про дефектний цифровий РЕК.

У випадку відсутності у БД інформації про ЦП (для нових ЦП), що перевіряється, її вводять уручну, а далі процедура діагностування відбувається аналогічно.

Розглянуте дозволяє зробити наступні **висновки**.

1. **Електромагнітний** метод дозволяє визначати ТС на рівні ЦП як складової блоку. Крім того, застосування даного методу дозволяє проводити локалізацію несправних РЕК зі складу ЦП.

2. В обох випадках КТ є антенна. При діагностуванні ЦП вона накладається на ЦП, при здійсненні локалізації РЕК вона накладається на кожний РЕК. ДІ являє собою значення напруги в антенні.

3. Для перетворення ДІ з аналогової форми у цифрову використовується АЦП.

4. Глибина діагностування – ЦП та РЕК.
5. Еталонна інформація записана у базу даних МОДІ.
6. Оснащення першого рівня ПД, який реалізує зазначений метод, дозволяє досягнути вірогідності правильного діагнозу 0,97.
7. Обмеження на використання методу полягає в застосуванні його для діагностування ЦП та цифрових РЕК.
8. Припущеннями при використанні методу є справність ПД.
9. “Поведінка” ДП в залежності від часу експлуатації ЦП не досліджувалась, рішення про ТС приймається на основі порівняння ДП, отриманої у КТ, з еталонною, тобто, умовно.
10. Застосування ПД – для діагностування ЦП та РЕК.

Виходячи з висновків щодо розглянутих методів та ЗД з метою запровадження поодинокого та комплексного застосування методів фізичного діагностування, а також розробки методики діагностування ЦП об’єктів РЕТ сформулюємо недоліки розглянутих методів та ЗД та шляхи щодо їх усунення для побудови нової АСТД [161].

Аналіз особливостей методів діагностування, структурних схем ПД, які реалізують їх, рівні СТОіР, де вони застосовуються, а також глибини діагностування дозволяють зробити висновок про ряд недоліків, притаманних ним.

На першому етапі розробки ПД вирішувалось завдання щодо побудови ТП для генераторів, для чого були розроблені методики побудови ТП. Для кожного методу була запропонована ТП, яка забезпечує можливий максимум вірогідності діагностування при зменшенні його часу.

На другому етапі представлено транспортування несправностей у КТ, кожна з яких відповідає певному методу діагностування.

На третьому етапі показано прийняття рішення про ТС, при цьому умовно визначені допустимі межі ДП, поза якими приймається рішення про наявність несправності.

З огляду на зміст зазначених етапів можна зробити наступні **висновки**.

Перший, рішення в основі яких є метод діагностування, ДМ та методика визначення ТС, спрямовані на визначення ТС або його контроль, що є вирішенням окремої наукової задачі.

Другий висновок витікає з першого. Сутність його полягає у тому, що кожний з методів окремо дозволяє отримати ДІ, представлену одним ДП, “поведінка” якого з часом не досліджувалась. Це означає, що здійснення третьої функції технічної діагностики – прогнозування ТС, а також визначення залишкового ресурсу, є утрудненим.

Третій висновок стосується ТС самого ПД.

Важливо відмітити те, що у випадку відключення електроживлення з причини спрацьовування засобів захисту при перевантаженні або короткому замиканні у ланцюгах об’єкта, здійснення контролю ТС за допомогою ВСК стає неможливим навіть на рівні блоку (шафи). При оснащенні ОД одним ПД, який вийшов зі строю, та при відключенні електроживлення, незважаючи на низьку ймовірність таких випадків, проведення діагностування взагалі стає неможливим.

З метою запобігання розглянутим випадкам, виникає необхідність розробки та створення ДМ на основі декількох ПД, і який дозволить проводити діагностування при виході зі строю будь-якого ПД.

Четвертий висновок стосується ТС засобів вимірювання, які використовуються для показів значень ДП для кожного з методів фізичного діагностування, що висвітлено відносно поверхнево.

Пятий висновок стосується обробки ДІ та прийняття рішень про ТС. Обробка ДІ, запропонована у роботах [36,70], ґрунтується на порівнянні отриманого значення ДП з еталонним, яке визначено умовно, тобто без врахування того, що з часом значення ДП набуває змін з причини деградаційних процесів кристалів цифрових РЕК. Відсутність залежностей ДП від часу не дозволяє визначати значення ДП заздалегідь у той чи інший період “життєвого циклу” ЦП. Саме з цієї причини з використанням методів фізичного діагностування були проведені форсовані випробування РЕК (ЦП)

на надійність, в результаті яких були отримані наближені залежності, представлені у роботах [66,67,132].

Шостий висновок стосується відсутності централізованого збору ДІ про стан кожного ЦП блоків об'єктів РЕТ, що не дозволяє проводити її системне отримання, аналіз та приймати своєчасні рішення щодо упередження відмов, що призведе до покращення характеристик надійності та укомплектованості комплекту ЗІП, що є важливим в складних економічних умовах експлуатації об'єктів РЕТ.

Сьомий висновок стосується застосування різних ТП для визначення ТС цифрових пристроїв різними методами і полягає у відмінності ІСД у випадку комплексного використання методів фізичного діагностування дозволяє обрати ТП, яка відповідає методу діагностування. Назви ТП, які застосовуються для визначення ТС цифрового пристрою ЦП методами фізичного діагностування, зведені у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

Назви тестової послідовності

№ з/п	Метод діагностування	Тестова послідовність
1	Енергодинамічний	Псевдовипадкова
2	Енергостатичний	Детермінована
3	Електромагнітний	Випадкова

Зважаючи на різні ТП, які застосовуються при використанні зазначених методів діагностування, довжину ТП, яка залежить від кількості РЕК на ЦП, автор розглядає в якості напрямку подальшого розвитку питання визначення довжини ТП, яка є спільною (однаковою), що надалі дозволить при проведенні комплексного діагностування використовувати при застосуванні будь-якого одного методу. Визначення спільної частини ТП буде проводитись ІСД при визначенні нею методів, які будуть застосовуватись для діагностування при заданій вірогідності діагностування, що, в свою чергу,

буде залежати від вихідних даних, в основі яких є вірогідність діагнозу. Це призведе до скорочення середнього часу діагностування, що дозволить зменшити час проведення регламентних робіт.

Восьмий висновок полягає у тому, що ні для жодного методу не вказана періодичність застосування розглянутих ПД, а також не надані рекомендації щодо їх обслуговування.

Сформульовані висновки як підсумок доводять те, що результати досліджень були спрямовані на рішення першої та другої функцій технічної діагностики, а саме питань, пов'язаних з визначенням ТС та локалізації несправності у випадку виходу зі строю об'єктів, а не на упередження відмов та визначають напрямки подальших досліджень. Зазначені недоліки можна усунути шляхом удосконалення методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань, який буде передбачати як поодинокі, так і комплексне використання методів діагностування. В його основі буде алгоритм діагностування ЦП об'єктів РЕТ з використанням методів фізичного діагностування.

Удосконалення методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань складає зміст наступного підрозділу.

4. 5. Удосконалення методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань

I. Призначення.

Метод призначений для діагностування ЦП об'єктів РЕТ методами фізичного діагностування при заданій вірогідності та визначеному часі.

Відрізняється від відомих:

- можливістю комплексного застосування методів діагностування, що збільшує достовірність діагнозу;
- глибиною діагностування на рівні ЦП та не відновлювального елемента;
- отримання результатів фізичного стану елементів на рівні не відновлювального елемента;
- використанням ІСД для реалізації (автоматизації) процесу діагностування.

II. Вихідні дані:

- припустиме значення достовірності діагностування;
- мінімальні та максимальні допустимі значення ДП;
- припустимий час діагностування.

Вихідні дані одержують із ПК (перший рівень СТОіР) та бази даних ІСД (другий рівень СТОіР).

III. Обмеження:

- метод застосовується для діагностування ЦП об'єктів РЕТ;
- діагностування здійснюється для ЦП та РЕК.

IV. Математичний апарат.

У даному методі використовуються моделі ЦП, приведені раніше.

V. Ефект від впровадження.

Ефект від впровадження методу полягає у підвищенні достовірності діагнозу від 0,95 до 0,99995 (у випадку застосування трьох методів), в скороченні часу діагностування від 2 до 3 разів за рахунок використання трьох ПД, збільшенні середнього часу наробітку на відмову за рахунок завчасної заміни ЦП блоків РЕТ з критичними характеристиками.

VI. Алгоритм реалізації.

Алгоритм реалізації методу діагностування ЦП об'єктів РЕТ з використанням методів фізичного діагностування представлений на рис. 4.5, де Р – вірогідність оцінки технічного стану ЦП. Він передбачає вибір методів

(пристроїв) діагностування в залежності від категорії об'єкту діагностування, а також випадків, в яких неможливе однозначне прийняття рішення про ТС, що зумовлює невизначеність. За відсутністю сумнівів у визначенні ТС кожного ЦП одним методом, немає необхідності проводити діагностування ЦП іншим методом.

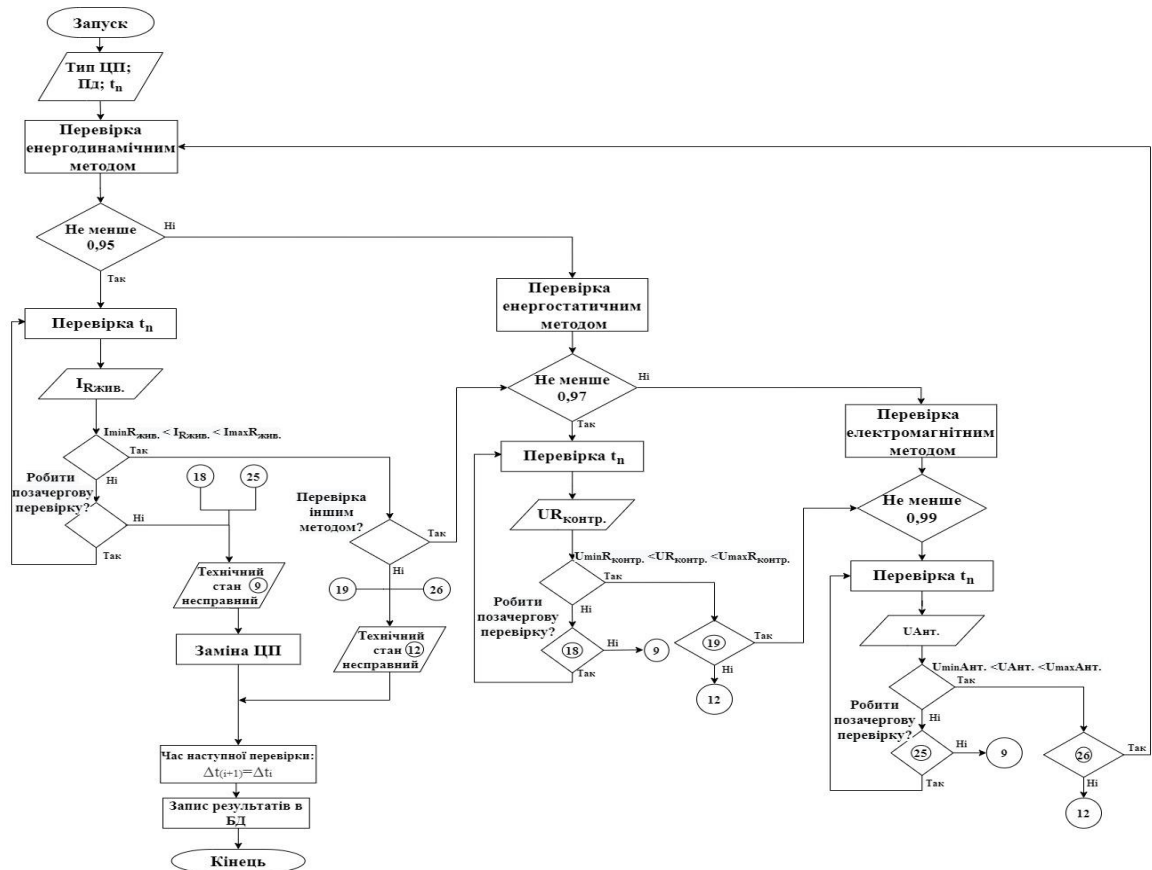


Рис. 4.5. Алгоритм реалізації методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки з використанням методів фізичного діагностування

Отже, удосконалений метод діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань, що забезпечує отримання необхідної достовірності визначення технічного стану, якій являє собою **сьомий науковий результат** [113].

Стосовно ефекту впровадження важливо відмітити наступне. Зменшення часу діагностування у 3 рази треба розглядати як максимально

можливий випадок (ідеальний), коли не виникне жодного разу необхідність провести визначення ТС повторно тим же самим ПД, або провести його з використанням другого або другого та третього ПД.

Для проведення діагностування на першому рівні - рівні експлуатації запропоновано його оснащення ПД, які реалізують енергодинамічний, енергостатичний та електромагнітний методи діагностування.

В залежності від достовірності, яка вимагається, а також у ситуаціях невизначеності ТС при використанні будь-якого одного метода діагностування, можна застосовувати два або три метода. Діагностування одного ЦП можна проводити одним ПД, який реалізує перший метод, в цей час діагностування другого ЦП проводити другим ПД, а діагностування третього ЦП проводити третім ПД. За відсутністю сумнівів у визначенні ТС кожного ЦП одним методом, немає необхідності проводити діагностування ЦП іншим методом. При такій схемі наявність трьох ПД дозволяє проводити діагностування одразу трьох ЦП, тобто здійснювати його паралельно, що значно зменшує середній час діагностування, і як наслідок, збільшує коефіцієнт готовності. Залежність часу діагностування $t_{\text{цп}}$ від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$) при паралельному використанні, представлена на рис. 4.6.

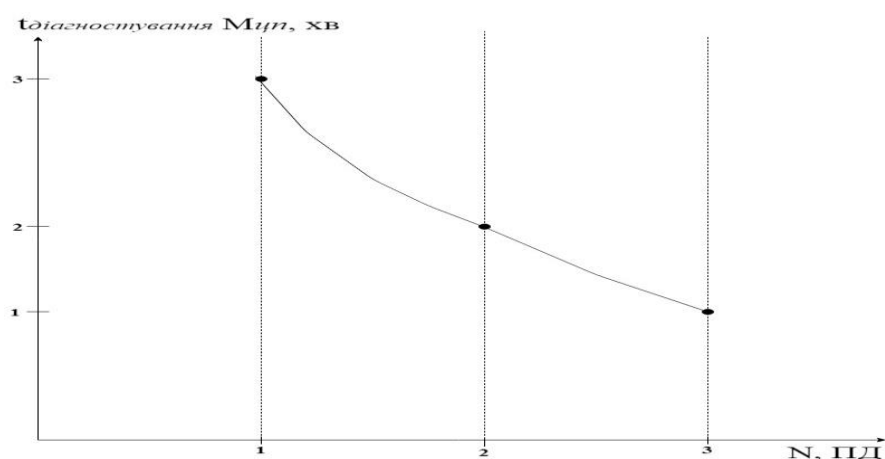


Рис. 4.6. Залежність часу діагностування $M_{\text{цп}}$ від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$) при паралельному використанні

На рис. 4.7. представлена залежність виграшу у часі від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$), які використовуються.

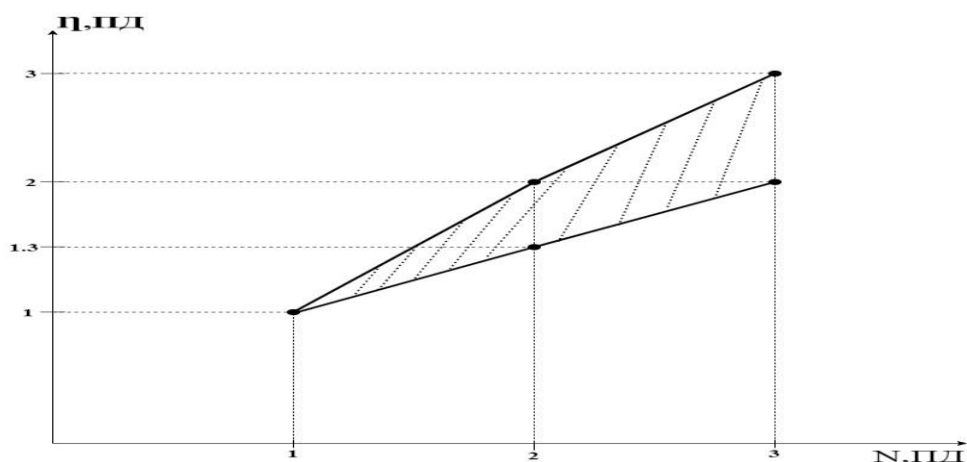


Рис. 4.7. Залежність виграшу у часі від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$), які використовуються

У випадках, коли вимагається максимальна вірогідність, діагностування проводиться трьома методами, що дозволяє досягнути рівня 0,99995. У ситуаціях, коли з різних причин виникає необхідність проведення діагностування одного ЦП різними методами (послідовне використання), а також при діагностуванні ЦП блоків об'єктів критичної інфраструктури, час діагностування буде збільшений, що відображено на рис. 4.8.

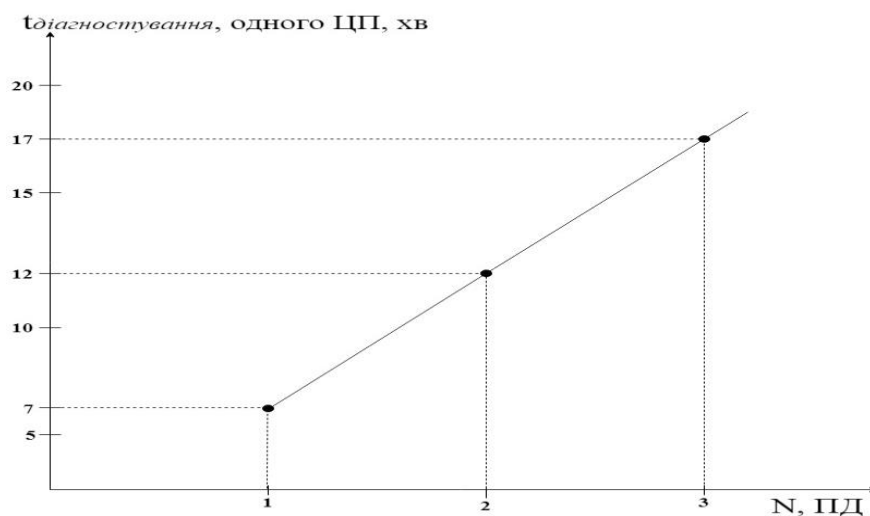


Рис. 4.8. Залежність часу діагностування одного ЦП від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$), які використовуються (послідовне використання)

Зважаючи на загальну кількість ЦП, які налічують шафи об'єктів РЕТ (100, 150, 200), враховуючи час діагностування одного ЦП, був розрахований час діагностування одного об'єкта, що показано на рис. 4.9.

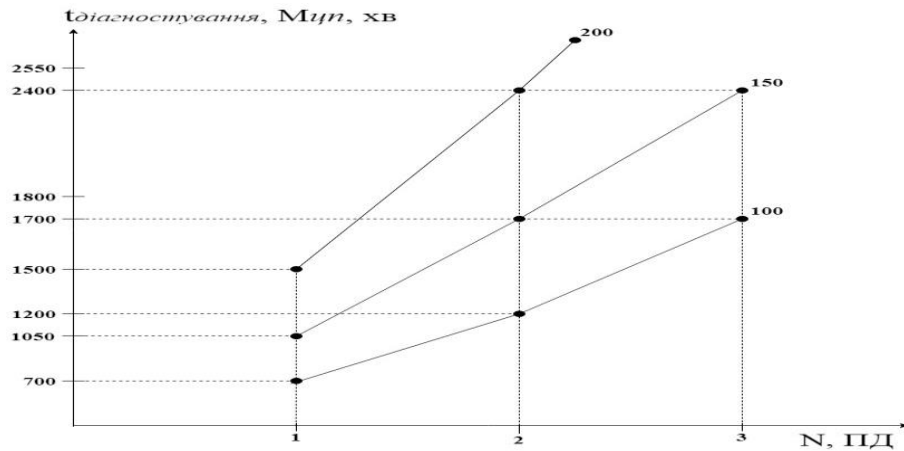


Рис. 4.9. Залежність часу діагностування об'єкта РЕТ від кількості ПД ($N_{\text{пд}}$) для послідовного використання при $M_{\text{цп}}$ 100, 150, 200

У випадках, коли два з трьох методів визначають ТС як справний, а третій як несправний, приймається рішення за мажоритарним принципом. В окремих випадках передбачається проведення повторної перевірки, що передбачено у алгоритмі, який наводиться нижче.

Рішення щодо комплексного використання методів діагностування сумісно з результатами форсованих випробувань РЕК на надійність дозволили з достатньо високою ймовірністю упереджувати поступові відмови, пов'язані з виродженням кристалів ІМС. Це призводить до збільшення середнього наробітку на відмову блоку та збільшенню коефіцієнту готовності об'єкта РЕТ.

Крім того, для локалізації несправного РЕК зі складу ЦП, який вийшов зі строю, запропоновано оснащення першого рівня пристроєм діагностування ПД-4 (рис. 4.10). Це дозволить визначати несправність на глибині не відновлювального елемента на першому рівні СТОіР, що відрізняє її від існуючої СТОіР, в якій локалізація несправних РЕК здійснювалась на другому рівні СТОіР, розташованому від першого на відстанях від сотні до

тисячі кілометрів (рис. 4.10), що значно збільшувало середній час відновлення за рахунок логістичної складової. Це зумовлено відсутністю ПД та засобів ремонту на першому рівні СТОіР, які дозволять проводити діагностування на глибині РЕК та поточний ремонт ЦП шляхом заміни несправних РЕК.

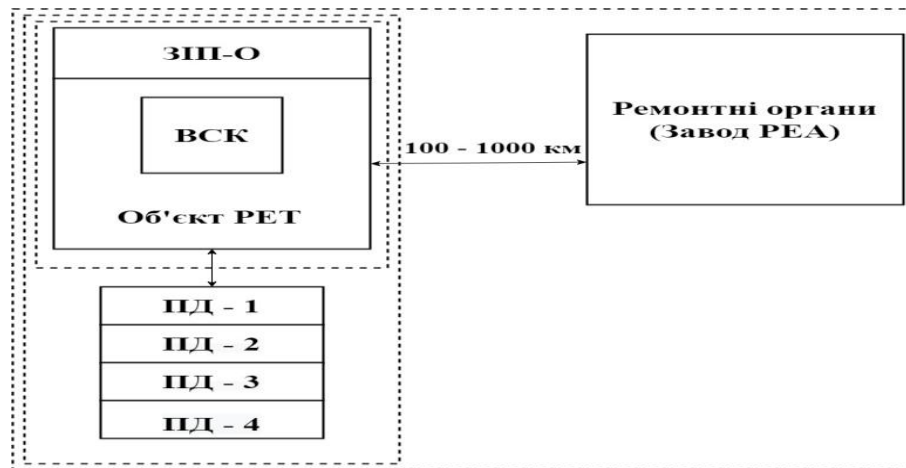


Рис. 4.10. Структурна схема розташування об'єктів радіоелектронної техніки, пристроїв діагностування та ремонтних органів

Рішення щодо здійснення поточного ремонту на першому рівні є новим. Воно дозволить значно зменшити середній час відновлення та збільшити коефіцієнт готовності як комплексний показник надійності. Крім того, таке рішення дозволить підвищити укомплектованість комплекту одиночного (ЗПП-О) (рис. 4.10) відремонтованими ЦП, що дозволить мінімізувати випадки відсутності необхідних ЦП у складі комплекту ЗПП, якими замінили ті, що відмовили [115]. Такі ситуації трапляються все частіше з причини того, що встановлені терміни експлуатації багатьох об'єктів вже вийшли. Поповнення ЗПП-О у Збройних Силах України проводиться один раз на рік при проведенні ТО-2 за рахунок ЗПП-Г, яким комплектуються об'єкти РЕТ з розрахунку один на п'ять-десять об'єктів. Комплект ЗПП-Г підлягає списанню після використання, а комплект ЗПП-О

підлягає списанню тільки зі списанням самого об'єкту. У інших силових структурах, зокрема у Державній службі спеціального зв'язку та захисту інформації, поповнення ЗП-О проводиться один раз на місяць. Важливо відмітити і те, що при проведенні перевірок відповідними органами загальна оцінка готовності об'єкта РЕТ знижується, якщо укомплектованість ЗП складає менше 70%. Наявність даних фізичного діагностування створює сприятливі умови для планування поповнення ЗП, що дозволить зменшити середній час відновлення. Зважаючи на зазначені обставини, рішення про визначення міжперевірочного інтервалу може бути адаптивним, тобто не можна вказати його одним і тим же для всіх об'єктів РЕТ, інформація про що має бути записана у базу даних ІСД [167-170]. Доцільність такого рішення обумовлена ще однією причиною. Дослідження характеру та статистики поступових відмов показало, що кількість їх зростає з часом, що відображає залежність, представлена на рис. 4.11.

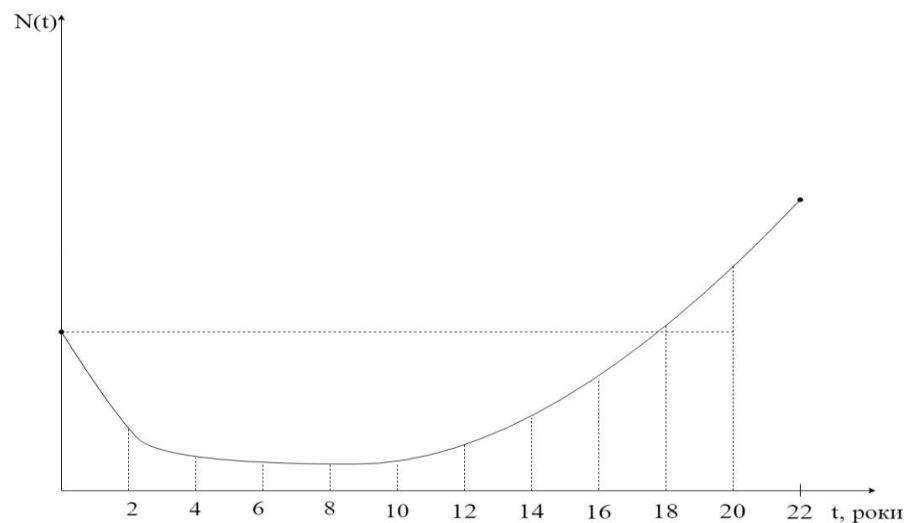


Рис. 4.11. Залежність кількості відмов цифрових пристроїв від часу експлуатації

З огляду на реальні терміни експлуатації, які сьогодні значно перевищили встановлені, все частіше мають прояв відмови РЕК, що обумовлено виродженням кристалів ІМС. Такі відмови будуть відбуватися у

період часу, коли наробіток буде перевищувати 8-10 років (рис. 4.11), що характеризується підвищенням значення ДП та відображає виродження кристалів ІМС.

Далі стисло розглянемо особливості проведення діагностування та локалізації несправних РЕК зі складу ЦП на об'єкті РЕТ.

Загальний час діагностування ЦП всього об'єкту РЕТ буде залежати від наступних факторів:

1. Кількості ЦП, які підлягають діагностуванню.
2. Кількості ПД.
3. Швидкодії ПД.
4. Кількості ситуацій, пов'язаних з неможливістю однозначного прийняття рішення про ТС та потребуючих проведення повторних перевірок одним і тим же ПД або іншими, які є в наявності.
5. ТС самих ПД.
6. Кваліфікації осіб, які проводять діагностику.
7. Кількості осіб, які проводять діагностику.

Дані кількості ЦП свідчать про те, що такий об'єкт РЕТ, як радіолокаційна станція, містить 150-200 ЦП.

Час діагностування одного ЦП одним ПД у випадку однозначного прийняття рішення про справний ТС, складає від двох до трьох хвилин. Розрахунок показує, що час діагностування всіх ЦП одного об'єкта РЕТ за допомогою одного ПД складає від 5 до 10 годин, тобто потребує 1-2 днів. При цьому вірогідність діагностування складає в залежності від кількості методів, які застосовуються, від 0,95 до 0,97. Використання трьох ПД призведе до скорочення часу діагностування у 2-3 рази та збільшення вірогідності діагнозу до 0,99995.

На рис. 4.12. представлений ДМ [115], який складається з трьох ПД та пристрою локалізації, а також генераторів тестових послідовностей, кожний з яких генерує тестову послідовність, яка відповідає методу діагностування. Гнізда для підключення ЦП зображені прямокутниками з колами. Для

здійснення локалізації несправного РЕК використовуються сигнали, які генерує генератор ТП для ПД-3, оскільки в його роботі та роботі ПД-4 використовується електромагнітний метод діагностування. Таким модулем пропонується забезпечити перший рівень СТОІР.



Рис. 4.12. Діагностичний модуль
для здійснення фізичного діагностування

Окремо треба зазначити, що в багатьох наукових роботах технічно справний стан ЗВ розглядався як обмеження. Разом з тим, варто відмітити те, що деградаційні процеси відбуваються у елементах ЗВ, якими комплектується об'єкт РЕТ, і, як наслідок, покази ЗВ стають неправильними. У [25] автори зазначають, що ускладнення ЗВ і контролю обумовлює необхідність їх діагностування. Даний фактор розглядається найважливішим і таким, який визначає якість та трудовитрати при відновленні ЗВ і контролю. Нещодавно питанням метрологічного забезпечення вимірювальної техніки не приділялось посиленої уваги, що спричинило зниження ефективності застосування контрольованих технічних пристроїв. В деяких випадках вони використовувались з настільки зміненими параметрами та характеристиками, що фактично не виконували деяких своїх функцій.

Варто зазначити, що своєчасність та достовірність отримання ДІ залежить не тільки від ТС засобів вимірювань, а і від ТС самих ПД. Тому

виникає необхідність проведення не тільки повірки ЗВ, а і перевірки ТС пристроїв діагностування, внаслідок чого постає питання перевірки та оцінки ТС як ЗВ, так і ПД, а також періодичності таких перевірок.

У випадку виходу зі строю єдиного ПД, яким оснащується об'єкт РЕТ, проведення діагностування стає неможливим.

У випадку, коли ПД є справним, а покази ЗВ не відповідають дійсним, визначення ТС цифрового пристрою може бути помилковим.

Зважаючи на зазначені випадки з метою збільшення ймовірності правильної постановки діагнозу при проведенні діагностування методами фізичного діагностування виникає необхідність обґрунтування вибору ЗВ для використання, що є метою наступного підрозділу.

4.6. Обґрунтування вибору засобів вимірювань, які використовуються при здійсненні фізичного діагностування

У [25] зазначено, що ускладнення ЗВ і контролю обумовлює необхідність їх працездатності. Це один з найважливіших факторів, що визначають якість та трудовитрати при відновленні ЗВ і контролю. При цьому з розвитком цифрової вимірювальної техніки з'явилась необхідність створювати спеціальні засоби для її діагностування та ремонту.

Важливе місце у системі ТО займає повірка ЗВ, загальний порядок організації якої регламентований ДСТУ 2708-2008. Законодавчо регульовані засоби вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, підлягають періодичній повірці та повірці після ремонту. Тривалість [25] міжповірочних інтервалів вибирають залежно від фактичної надійності ЗВ, умов експлуатації, інтенсивності їх використання, а також від значущості результатів вимірювань конкретним засобом. При цьому для ЗВ, які надійшли на зберігання після випуску з виробництва, міжповірочні інтервали встановлюють не більше гарантійних термінів на ці засоби, зазначених в технічних умовах або інструкціях з експлуатації.

У [25] зазначено, що раціонально вибрати ЗВ евристичними методами практично неможливо, оскільки до уваги приймається не тільки необхідна точність, швидкодія, діапазон вимірювань, а й надійність, вартість періодичності повірки ЗВ, стійкість їх до зовнішніх чинників, що впливають, оскільки зазначені параметри визначають якість вимірювань. З цієї причини при їх виборі ураховують їх вплив на надійність. На першому етапі визначають типи ЗВ, придатних за своїм функціональним призначенням, діапазоном вимірюваних фізичних величин, стійкістю до факторів зовнішнього впливу, масогабаритними характеристиками для вирішення вимірювальних завдань, що виникають при метрологічному забезпеченні експлуатації технічного пристрою. Після здійснення вибору ЗВ, який задовольняє умовам та вимогам, необхідно правильно оцінити який з них має найменшу надмірність за точнісними характеристиками.

В даній ситуації виникає суперечність – прагнення зробити вимір з більшою, ніж це необхідно, точністю призводить до подорожчання ЗВ, з іншого боку, зниження точності призводить до зменшення достовірності результатів вимірювань та знецінює їх.

Вибір приладу без точнісної надмірності, дозволяє, як правило, забезпечити менші витрати на вимірювання. Відомі підходи до вибору ЗВ по точності засновані на розгляді двох різних випадків їх використання:

- для вимірювання параметрів пристроїв,
- для контролю параметрів.

У першому випадку задача полягає у виборі такого способу вимірювань, за допомогою якого досягається значення межі сумарної похибки вимірювання параметрів, яке не перевищує необхідної величини.

У другому випадку ЗВ вибираються з умови, що ймовірності помилкового і (або) невиявленої відмови контрольованого параметра не повинні перевищувати допустимих значень.

Вихідними даними для вибору ЗВ за точністю, є:

- склад вимірюваних та контрольованих параметрів пристрою;

- значення допусків на відхилення контрольованих параметрів і допустимі значення сумарної похибки визначення значень вимірюваних параметрів;
- допустимі значення умовних ймовірностей помилкових і невиявлених відмов для кожного з контрольованих параметрів;
- закони розподілу відхилень контрольованих параметрів від своїх номінальних значень.

Зважаючи на те, що залежність ДП отримана в результаті проведення форсованих випробувань, межі допустимих параметрів для кожного з методів фізичного діагностування є відносно точними, тобто є відомості про ширину поля допуску на контрольований параметр. Для подібних випадків використовують вибір ЗВ за коефіцієнтом точності, що характеризує відношення ширини поля допуску на контрольований параметр до межі сумарної похибки вимірювань, щоб забезпечити значення коефіцієнта точності більше припустимого [25].

Залежно від важливості контрольованого параметра коефіцієнта точності обирається 10...2 [25].

При цьому необхідно орієнтуватися на стандартизовану методику вимірювання відповідної фізичної величини або параметра пристрою. За відсутністю таких методик розглядаються можливість вибору ЗВ з числа допущених до застосування відповідними рекомендаціями і обмежувальними переліками. Методика вибору засобів вимірювань по точності наведена у [25].

Стан ЗВ і контролю характеризується наступним: сучасні ЗВ у цілому задовольняють вимогам щодо забезпечення наукових досліджень, якості розробки і виробництва технічних пристроїв створення нових технологічних процесів, обліку матеріальних ресурсів, охорони навколишнього середовища і здоров'я людей. Основний метрологічний показник засобів вимірювань – точність, у більшості випадків достатня і зростає по мірі вдосконалення приладів. За багатьма видами і областями вимірювань точність сучасних

приладів наближається до точності державних еталонів.

Усе більшого значення набувають надійність і рівень автоматизації ЗВ. Досвід експлуатації ЗВ показує, що показник безвідмовності – середнє напрацювання на відмову повинен бути не менше 104 годин [25]. У даний час багато типів приладів уже мають таку надійність, але для більшої їх частини ця межа поки недосяжна. Підвищення надійності ЗВ і контролю є одним з важливих шляхів підвищення якості метрологічного забезпечення технічних пристроїв.

Достовірність результатів вимірювань визначається не тільки досягнутою точністю ЗВ, а й надійністю її збереження за деякий період експлуатації приладів [25]. Останнє визначає метрологічну надійність. Вона нерозривно пов'язана з показниками безвідмовності приладу, зокрема, з середнім напрацюванням на відмову, оскільки остання визначається на основі врахування всіх видів відмов – раптових і поступових, до яких відносяться і метрологічні відмови. У зв'язку з цим, чим вище показники надійності, тим рідше доводиться звіряти ЗВ – зменшується ризик користування несправним приладом протягом міжповірочного інтервалу. У нашій країні експлуатуються сотні мільйонів різноманітних ЗВ, і значна їх частина повіряється залежно від рівня надійності в середньому один раз на 1...2 роки. Сам процес перевірки приладу середньої складності і середньої точності займає час від 30 хвилин до декількох годин, що призводить до великих трудовитрати на підтримання точності ЗВ на необхідному рівні. При перевищенні середнього напрацювання на відмову 104 годин обсяг щорічних перевірок ЗВ в кілька разів зменшиться, оскільки міжповірочні інтервали можна буде збільшити до 3...5 років і більше.

Підвищення показника надійності дозволить також значно скоротити кількість планових і непланових ремонтів ЗВ. Ремонт ЗВ пов'язаний з необхідністю на порівняно тривалий термін вилучати їх зі сфери експлуатації. При цьому після кожного ремонту прилад повинен бути повірений.

В останні роки дедалі наполегливо висуваються вимоги створення ЗВ з автоматизацією процесу вимірювань і обробки їх результатів. Продуктивність праці операторів, що працюють з неавтоматизованими приладами, невисока, що є причиною створення приладів з автоматизацією на всіх етапах вимірювань. Самокалібрування, самоперевірка працездатності, автоматичний вибір меж вимірювань, обробка результатів вимірювань, багаторазове їх повторення для кожного вимірюваного значення фізичної величини, зберігання результатів вимірювань. У зв'язку з цим значно поширені АЦП з вбудованими мікропроцесорами, які дозволяють забезпечити більш високу точність вимірювань. Значне скорочення часу вимірювань забезпечує програмне управління приладами. Поява таких приладів дозволила також автоматизувати процес повірки ЗВ.

Автоматизовані прилади з вбудованими мікропроцесорами виявилися високоефективними. Надійність їх зросла, а габарити і маса зменшилися в порівнянні з неавтоматизованими аналогами за рахунок виключення великої кількості механічних елементів конструкції перемикачів, потенціометрів. Прилад з мікропроцесором виконує вимірювальні операції кожен раз з високим ступенем повторюваності, чого не спостерігалось при вимірюваннях за допомогою приладів з ручним керуванням. Впровадження мікропроцесорів дозволило зменшити вимоги до багатьох комплектуючих елементів процесу вимірювань, ступінь недосконалості яких відображалось на точності вимірювань.

У [25] зазначено, що у даний час в експлуатації знаходяться ЗВ п'яти поколінь. Прилади першого та другого поколінь побудовані на електровакуумних та напівпровідникових елементах, у них заснована аналогова обробка сигналів.

У приладах третього покоління поряд з напівпровідниковими елементами використовуються ІМС малого і середнього ступеня інтеграції та має місце як аналогова, так і цифрова обробка сигналів. ЗВ четвертого та п'ятого поколінь характеризуються використанням мікропроцесорних систем

та ВІС с програмно-керованою цифровою обробкою вимірювальною інформацією. Застосування ВІС призводить до різкого скорочення кількості елементів приладу, однак ця тенденція суттєво нівелюється і навіть перекивається зростанням функціональної складності ЗВ. Об'єктивними причинами ускладнення є збільшення обсягу вимірювальних завдань, що вирішуються одним ЗВ, підвищення рівня автоматизації, введення інтерфейсних функцій та інше. Ускладнення ЗВ, підвищення її точності, високий рівень автоматизації роблять її діагностику трудомісткою і непростюю.

Аналіз принципів побудови приладів з аналоговою та цифровою обробкою сигналів показав, що на відміну від аналогових приладів висновок про правильність роботи ЗВ третього покоління робиться на основі результатів перевірки працездатності окремих вузлів, блоків [25]. Цифрова обробка сигналів суттєво ускладнює схемно-конструктивну побудову ЗВ, що обумовлено специфікою структури і роботи цифрових схемі особливо мікропроцесорних систем. Несправності мікропроцесорних систем практично неможливо шукати за допомогою традиційного устаткування, яке використовується для приладів третього покоління.

У практиці діагностики та ремонту ЗВ використовуються відомі способи виявлення причин несправностей, як контрольні перемикання, порівняння, заміна деталей, які відносяться до зовнішніх ознак її стану [25].

Розглянемо стисло їх.

За допомогою способу характерних несправностей визначаються несправності на основі відомих ознак, однозначно характеризуючи їх. Перелік характерних несправностей часто вказують в експлуатаційно-технічній документації на ЗВ для полегшення локалізації відмов.

За допомогою способу контрольних перемикань шляхом оцінки зовнішніх ознак прояву несправності та аналізу взаємодії елементів у різних режимах роботи послідовно виключаються з розгляду справні вузли приладу. Для цього використовується інформація від засобів поточного контролю, а саме сигнальних ламп, вбудованих приладів.

Для зменшення кількості операцій при проведенні пошуку несправностей був розроблений алгоритм оцінки стану приладу за результатами перевірки на функціонування [25].

При використанні способу порівняння зіставляють ознаки роботи несправного вузла ПД і однотипного вузла працездатного приладу, що дозволяє швидше локалізувати місце знаходження несправності, оскільки при застосуванні даного способу можна отримати достатньо багато інформації.

Незважаючи на цінність рекомендацій [25], які дозволяють впорядкувати діагностику ЗВ, вони не дають чітких правил, які дозволяють відшукати несправний елемент у складному приладі.

Місце знаходження несправності локалізують шляхом виконання різних процедур пошуку, які дозволяють звузити область знаходження дефекту. План пошуку при цьому побудований на основі статистичних апріорних відомостей про надійність ЗВ і елементів, про структуру схеми і результати контролю його параметрів.

Отже, для виявлення несправних елементів ЗВ, у певній послідовності перевіряють справність окремих елементів або їх груп.

Для збільшення ефективності пошуку несправних елементів обираються способи їх перевірки та визначається маршрут пошуку. При цьому враховуються ймовірності відмов елементів, тобто, чим надійніше елемент, тим менше ймовірність його відмови.

Пошук несправностей в аналоговій частині приладу виконується традиційним діагностичним обладнанням. Утруднення в діагностування спостерігається при діагностуванні цифрової частини і особливо мікропроцесора, що обумовлено фактором необхідності наявності навичок персонала в роботі зі спеціально створеними для цієї мети сигнатурними та логічними аналізаторами.

З огляду на це, видно, що дії спрямовані на визначення несправного елемента, а не на упередження відмови.

У [25] представлений алгоритм дефектації ІМС, який допомагає уникнути заміни справних ІМС. Наявність короткого замикання, обривів у колі визначається візуальним оглядом монтажу або одним з наявних приладів – логічним пробником, тестером, осцилографом або сигнатурним аналізатором. При використанні останнього про наявність обривів свідчать сигнатури у точках, що відрізняються одна від одної. При наявності короткого замикання у струмопровідних дорожках друкованого монтажу вони мають збігатися.

Автоматизовані вимірювальні системи і комплекси

Визначне місце займає експлуатація автоматизованих систем, у тому числі ЗВ. Вона являє собою сукупність технічних засобів, як правило, блоково-модульного виконання, об'єднаних загальним алгоритмом функціонування, які характеризуються комплексом нормованих метрологічних характеристик і призначених для автоматичного (автоматизованого) отримання інформації про об'єкт вимірювань, її обробки, збереження і подання у формі, доступній для сприйняття оператором. І введення в систему управління. Отже, автоматизована вимірювальна система є складним технічним утворенням і складається з ряду взаємозалежних та взаємодіючих функціонально самостійних підсистем (вимірювальних каналів, блоків), що приймають і видають вимірювальну інформацію у відповідній формі.

Висновок. Зважаючи на те, що ЗВ, автоматизовані вимірювальні системи і комплекси, побудовані на елементній базі третього та четвертого поколінь, а також те, що діагностику зазначених ЗВ проводять з використанням традиційних методів, яким властива недостатня вірогідність діагнозу та прогнозу, доцільним буде проведення визначення ТС з використанням методів фізичного діагностування. На рис 4.13. представлена загальна структурна схема підключення ОД, ПД та ЗВ.

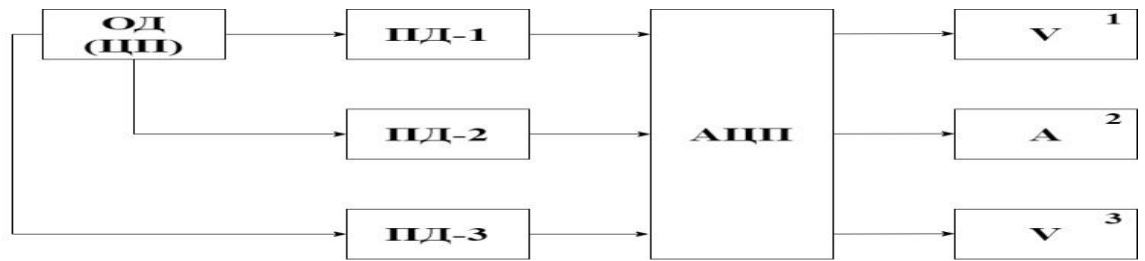


Рис 4.13. Загальна структурна схема підключення об'єкту діагностування, пристроїв діагностування, засобів вимірювань (діагностичний модуль)

Аналіз особливостей проведення діагностування ЗВ зазначеними методами показав, що при діагностуванні цифрового вольтметра, який використовується для вимірювання значення напруги за допомогою енергостатичного методу, можна використовувати цифровий вольтметр, який використовується при визначенні ТС електромагнітним методом. При діагностуванні цифрового амперметра, який використовується для визначення значення ДП енергодинамічного методу, можна використовувати будь-який з цифрових вольтметрів, що використовуються для енергостатичного або електромагнітного методу. Така взаємозамінність може розглядатись як резервування ЗВ, яке підвищує надійність їх експлуатації, що є ще однією перевагою комплексного застосування методів фізичного діагностування. Розглянуте дозволяє представити зв'язок між ПД та ЗВ на об'єкті РЕТ для варіантів діагностування ЗВ методами фізичного діагностування у вигляді схем. Схема підключення пристроїв при діагностуванні цифрового вольтметра при використанні енергодинамічного та електромагнітного методів представлена на рис 4.14.

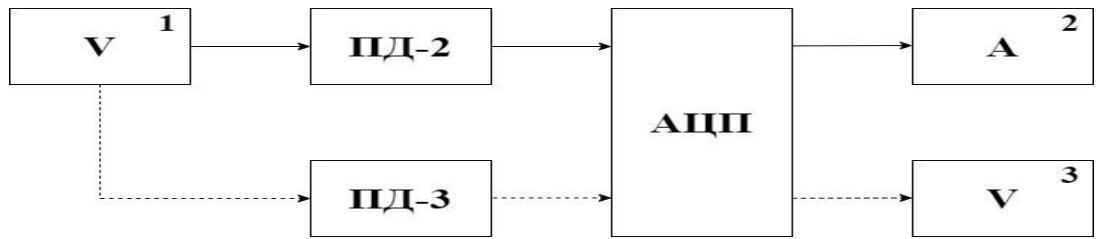


Рис 4.14. Схеми підключення пристроїв при діагностуванні цифрового вольтметра при використанні енергодинамічного та електромагнітного методів

Схема підключення пристроїв при діагностуванні цифрового амперметра при використанні енергостатичного та електромагнітного методів представлена на рис 4.15.

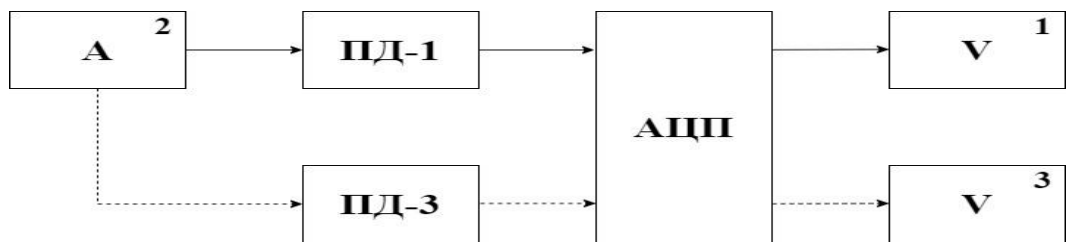


Рис 4.15. Схеми підключення пристроїв при діагностуванні цифрового амперметра при використанні енергостатичного та електромагнітного методів

Схема підключення пристроїв при діагностуванні цифрового вольтметра при використанні енергодинамічного та електромагнітного методів представлена на рис 4.16.

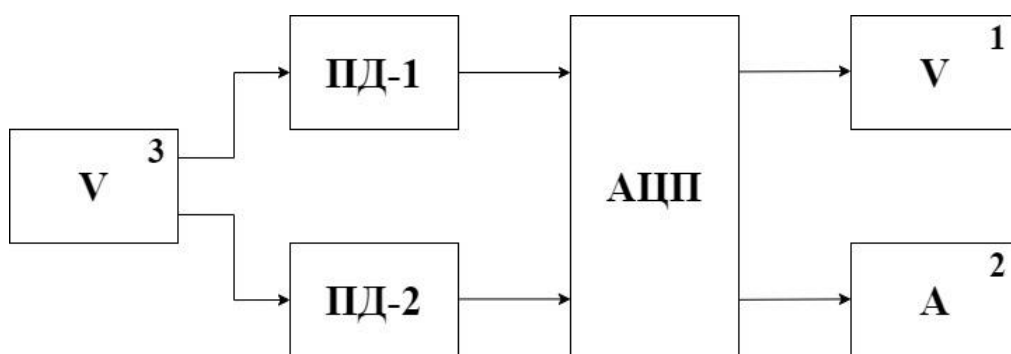


Рис 4.16. Схеми підключення пристроїв при діагностуванні цифрового вольтметра при використанні енергодинамічного та електромагнітного методів

Для наочності представимо схеми цифрового амперметра рис. 4.17 та цифрового вольтметра рис. 4.18. З рис. 4.17. видно, що ОД є ІС, які виконують різні функції в них.

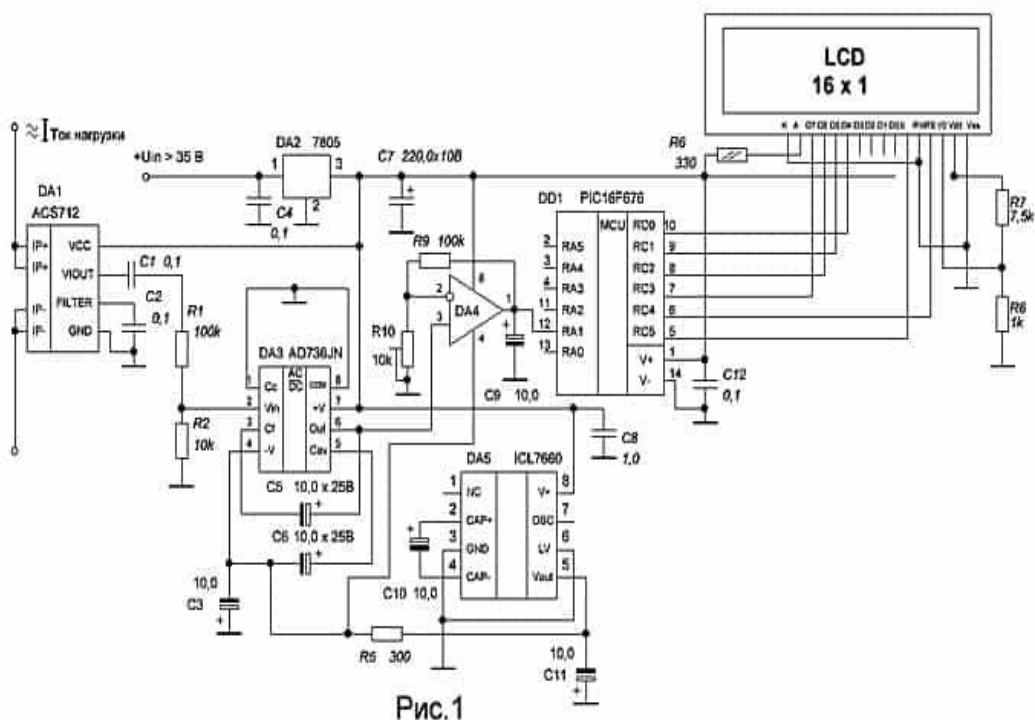


Рис. 4.17. Принципова схема цифрового амперметра

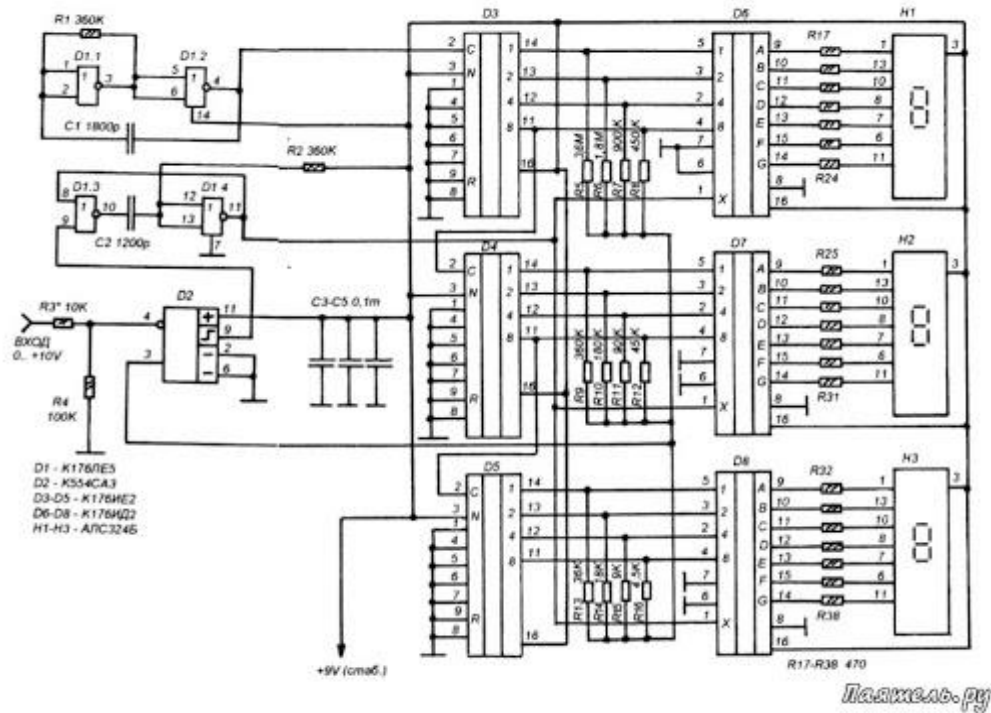


Рис. 4.18. Принципова схема цифрового вольтметра

Варто відмітити, що до складу сучасних автоматизованих вимірювальних систем і комплексів входять багато приладів, побудованих на ІС, діагностика яких проводиться традиційними методами діагностування. Зважаючи на це, з метою підвищення надійності зазначених комплексів доцільно використання методів фізичного діагностування.

Відомо, що з математичної точки зору ймовірність правильного діагнозу буде являти собою добуток ймовірностей технічно справного стану ПД та ЗВ.

$$P_{n\partial} = P_1 * P_2 * P_3,$$

де P_1 - ймовірність технічно справного (похибки) стану пристрою діагностування,

P_2 - ймовірність технічно справного стану (похибки) засобу вимірювань,

P_3 - ймовірність правильно визначених допустимих меж значень ДП.

Розробка та впровадження діагностичного модуля, представленого на

рис. 4.12, дозволить у випадку виходу зі строю одного з ПД провести визначення ТС цифрового пристрою з використанням інших пристроїв, які конструктивно зібрані в даному модулі, що є зручним при використанні. Таке рішення з огляду на кількість ПД у складі діагностичного модуля можна розглядати як резервування ПД.

Зважаючи на терміни експлуатації багатьох зразків РЕТ, які перевищили встановлені, кількість поступових відмов буде збільшуватись. Для упередження таких відмов приймається декілька рішень. Одне з них полягає у скороченні міжперевірочного інтервалу, тобто діагностування треба буде проводити частіше. Формула для розрахунку міжперевірочного часу була представлена у розділі 3.

На сьогоднішній день, як правило, детальні регламентні роботи проводяться один раз на півроку, тобто під час проведення сезонного обслуговування. Використання методів фізичного діагностування дозволить прогнозувати і планувати терміни проведення наступних регламентних робіт без прив'язки до планового технічного обслуговування, але до моменту виникнення поступової відмови, що, позитивно вплине на час відновлення і, в цілому, на Кг об'єкта. Як варіант, при зазначених термінах експлуатації діагностування можна проводити щоквартально.

Зважаючи на фактор збільшення відмов з часом, враховуючи їх кількість, для підвищення ймовірності їх упередження пропонується зменшити міжперевірочний інтервал, графік якого представлений на рис. 4.19 [115].

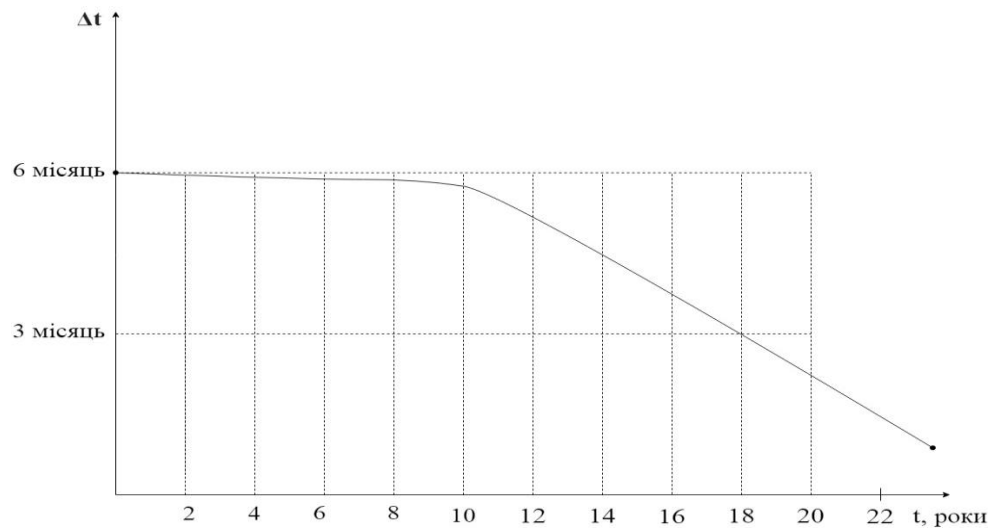


Рис. 4.19. Залежність міжперевірочного інтервалу від часу експлуатації

З рисунку видно, що міжперевірочний інтервал у період нормальної експлуатації є однаковим, оскільки у цей час інтенсивність відмов є постійною. Після восьмого-десятого року, що залежить від об'єктів РЕТ, умов їх експлуатації, міжперевірочний інтервал має зменшуватись за лінійним законом. Визначення нахилу прямої ділянки графіку проводиться для кожного об'єкта індивідуально та може корегуватися в процесі експлуатації ІСД з метою максимального упередження відмов.

Міжперевірочний інтервал слід вибирати з урахуванням надійності та допустимої ймовірності виникнення відмов за цей період. Природною є задача визначення оптимальних міжперевірочних інтервалів. Відшукання такого значення інтервалу дозволить забезпечити максимальний коефіцієнт готовності. Такий підхід треба застосовувати і для визначення міжповірочних інтервалів для визначення часу наступної повірки. Особливість полягає в тому, що автоматизовані вимірювальні системи складаються з агрегуванням ЗВ і вимірювальної техніки. Повірка через установлені для кожного ЗВ, який входить до складу що автоматизованих вимірювальних систем, міжповірочні інтервали, контроль допоміжних пристроїв через призначені для кожного з них періоди може призвести до зниження коефіцієнта готовності системи в цілому, оскільки вона буде неготова до

застосування. Передбачається, що при повірці системи повірці підлягають всі ЗВ, які входять до її складу, і контролюються всі допоміжні пристрої.

Завдання пошуку оптимального міжперевірочного інтервалу формулюється як задача оптимізації групового обслуговування, в якій за цільову функцію приймається Кг автоматизованої вимірювальної системи, а за варійовану величину - міжперевірочний інтервал. Кг такої системи подається як добуток Кг блоків, з яких складається автоматизована вимірювальна система. Зважаючи на групове обслуговування, тобто одночасна повірка ЗВ, при обчисленні Кг ураховуються простої на перевірку лише один раз. Тому у виразі для Кг системи перемножуються Кг ЗВ з найбільшою тривалістю повірки на Кг засобів, у яких цей час менше, при цьому враховуються простої не через повірку, а через ремонт.

Висновки до розділу 4

1. Обґрунтоване використання різних ТП для методів фізичного діагностування.
2. Запропоновано завдяки використанню інформаційних технологій при проведенні комплексного діагностування скорочення середнього часу діагностування за рахунок визначення довжини ТП, яка є спільною (однаковою).
3. Обґрунтовані структурні схеми пристроїв діагностування та модулів обробки ДІ, отриманої за допомогою методів фізичного діагностування та наданий опис їх роботи.
4. Запропоновано оснащення кожного об'єкта РЕТ діагностичним модулем, який реалізує зазначені методи з використанням інформаційних технологій та показані їх переваги.
5. Запропоновано здійснення фізичного діагностування для визначення ТС цифрових ЗВ, а також автоматизованих вимірювальних систем та комплексів.

б. Удосконалений методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки шляхом використання даних від методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань.

Основні наукові результати опубліковані у роботах [67,113,115;160] та доповідались на наукових конференціях [152;167-170].

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТРУКТУРНИХ СХЕМ І ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

У прикінцевому розділі дисертаційної роботи представлено техніко-економічне обґрунтування ефективності та доцільності впровадження нової АСТД [161] як елементу СТОіР радіоелектронної техніки, а також показані роль та місце центрів обробки діагностичної інформації як елементів другого рівня системи технічного обслуговування і ремонту РЕТ.

На сучасному етапі розвитку інформаційних технологій сформувалися умови для впровадження нової АСТД, що надає конструкторам та інженерам, які відповідають за розробку ДЗ, можливість реалізації методів фізичного діагностування (енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного) для отримання ДІ та обробки її з урахуванням результатів форсованих випробувань РЕК на надійність з метою визначення ТС та залишкового ресурсу ЦП об'єктів РЕТ.

Протиріччя між вимогами забезпечення заданого рівня достовірності діагностування, яке потребує конструктивного ускладнення відповідних технічних ЗД та значного збільшення часу на перевірки, тестування, збір статистичної інформації та вимогою щодо обмеження на складність апаратних ЗД та оперативність отримання результату діагностування, яка повністю виключає конструктивне ускладнення та збільшення часу на перевірки, тестування та збір статистичної інформації пропонується вирішити створенням сучасної АСТД на основі розробленої методології її побудови.

У третьому розділі дисертаційної роботи були розроблені рішення, які лежать в основі побудови нової АСТД та спрямовані на отримання діагностичної інформації від різних джерел та її обробку з використанням ІСД як елементу центра обробки діагностичної інформації. У запропонованій

АСТД, на відміну від існуючої СТОіР, ДІ від ОД надходить до ЦОДІ завдяки каналам зв'язку, які являють собою організаційно-технічне об'єднання засобів та можуть використовуватись радіо або кабельні лінії зв'язку, що дозволяє досягати високих показників швидкості передачі інформації. Останнє стає можливим завдяки сучасним досягненням інформаційних технологій та зв'язку.

Завершення досліджень з даної проблеми представлено розробкою рішень для побудови нової АСТД на основі фізичного діагностування, що відображено рішенням завдання технічної реалізації й оцінки ефективності запропонованої АСТД, суть якого визначає доцільність його ділення на дві групи питань - технічних та економічних, що і визначає зміст наступних підрозділів.

Задачі технічної реалізації представлені для випадків застосування зазначених методів фізичного діагностування, при цьому обґрунтована доцільність вибору того чи іншого методу з огляду на вимоги до достовірності діагностування, умови його проведення та типи ЦП.

Представлені залежності достовірності діагностування від кількості методів, які застосовуються, та комплексного показника надійності – КГ від достовірності, оцінки ТС.

На основі розрахунку проведено моделювання значень коефіцієнта готовності від середнього часу наробітку на відмову та середнього часу відновлення, що відображено відповідними залежностями.

Проведений порівняльний аналіз характеристик надійності при існуючій та запропонованій СТД.

Рішення задач економічного характеру ґрунтуються на розрахунку та порівнянні вартості діагностування та обробки ДІ з застосуванням запропонованої АСТД та тієї, що існує. Представлений розрахунок вартості АСТД, а також показана вартість існуючих СТД.

5.1. Обґрунтування структурної схеми автоматизованої системи технічного діагностування

Обґрунтування вимог до автоматизованої системи технічного діагностування. З огляду на постійне підвищення вимог до надійності об'єктів РЕТ, особливості побудови ЦП, з яких складаються блоки об'єктів РЕТ, характеристики методів та ЗД, можливості сучасної мікроелектроніки, зміста функцій технічної діагностики та рівня розвитку інформаційних технологій сформульовані наступні вимоги до АСТД [72,161]:

1. Універсальність, яка полягає у можливості діагностування широкої номенклатури ЦП.
2. Адаптивність під нові типи ЦП.
3. Можливість проведення діагностування з різним ступенем достовірності, що зумовлено значимістю ОД.
4. Застосування сучасних інформаційних технологій.
5. Простота експлуатації.
6. Висока надійність.
7. Висока продуктивність.
8. Відносно низька вартість.

Перша та **друга** вимоги забезпечуються наявністю ланцюга електроживлення та корпусної шини у будь-якому ЦП, що дає можливість зйому ДД.

Третя вимога забезпечується можливістю використання одного з трьох методів діагностування або їх комбінацій, тобто комплексції енергодинамічного, енергостатичного та електромагнітного методів діагностування. Розрахунок достовірності діагностування в залежності від методів, які застосовуються, отримано у третьому розділі роботи.

Четверта вимога забезпечується наявністю коп'ютерної техніки, ІСД та каналів зв'язку, що забезпечує прийом, передачу, зберігання та обробку діагностичної інформації.

Виконання **п'ятої** вимоги стає можливим завдяки мінімальним потребам втручання персоналу у процес отримання ДІ, при цьому ІСД здійснює процес обробки ДІ та керує ним.

Шоста вимога забезпечується мінімальною кількістю відносно простого обладнання, яке застосовується для зйому та обробки ДІ.

Сьома вимога забезпечується відносно швидким часом діагностування та можливостями ІСД до високошвидкісної обробки ДІ.

Восьма вимога визначається вартістю побудови та обслуговування АСТД. Зважаючи на тенденційне зменшення вартості ПК та серверів, а також відносно невисоку вартість обміну інформації з використанням тих чи інших каналів зв'язку, враховуючи “принцип поодинокі відмови” для об'єктів критичної інфраструктури, реалізація якого знаходить впровадження у застосуванні коштовних резервованих блоків, вартість запропонованої АСТД [161] буде відносно невисокою.

Враховуючи зазначені вимоги, а також результати проведених теоретичних досліджень у роботі розроблена структурна схема АСТД [159]. ІСД [167-170] як її елемент має враховувати ту особливість, що ДІ надходить від різних джерел, що відображено схемною побудовою відповідних ланцюгів. З огляду на це, при побудові АСТД при обробці ДІ виникає необхідність створення декількох діагностичних паспортів, які застосовуються. Дані паспортів мають враховувати залежність значень ДП від часу, а також допустимі значення ДП для кожного з методів діагностування, тип ЦП, ТП, відгуки (реакції) на них ЦП у різних станах, рік випуску.

Розробка структурної схеми автоматизованої системи технічного діагностування. Структурна схема АСТД [159] має відображати об'єкти діагностування, ЗД, засоби обробки ДІ, а також їх розташування відповідно до рівнів СТОіР.

На першому рівні СТОіР – рівні експлуатації розташовані об'єкти РЕТ, які є ОД, пристрої діагностування, а також ПК. Отримання ДІ здійснюється на даному рівні СТОіР завдяки ПД, які забезпечують реалізацію методів фізичного діагностування (енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного). Крім того, на випадок виходу зі строю ЦП передбачено проведення локалізації несправного РЕК зі складу ЦП, для чого пропонується оснащення даного рівня відповідними ПД. Ця особливість відрізняє оснащення рівня експлуатації запропонованої СТОіР від існуючої та робить її більш ефективнішою з точки зору витрат. Останнє пояснюється тим, що при запропонованій СТОіР стає можливим визначення несправного РЕК на першому рівні СТОіР та відпадає необхідність його проведення на другому її рівні.

Другий рівень має передбачати ЦОДІ, до яких від ОД за допомогою організованих ліній зв'язку надходить ДІ. Основою ЦОДІ є ІСД [167-170], на яку ДІ надходить з об'єктів РЕТ.

Третій рівень СТОіР являють собою підприємства промисловості, якими є заводи РЕА. Між ними та ЦОДІ з метою обміну діагностичною та службовою інформацією пропонується організація зв'язків.

При проектуванні АСТД всі заходи мають бути спрямовані на досягнення високої надійності, а також задоволення потреб користувачів.

Отримання ДІ на основі методів фізичного діагностування передбачатиме підключення до різних контрольних точок ЦП. На відміну від методів функціонального діагностування, в яких знімання ДІ проводиться з використанням виходів ЦП, дані методи передбачають використання інших КТ (ланцюгів). Крім того, кожний метод дозволяє отримати свій, як правило, один ДП для розрахунку якого використовується своя ДМ. Методи фізичного діагностування, КТ знімання ДІ, ДП, які відповідають зазначеним методам, аналітичні вирази ДМ для розрахунку ДП, представлені у таблиці 2.3.

На рис. 5.1. представлений пристрій діагностування цифрових пристроїв.



Рис. 5.1. Пристрій діагностування цифрових пристроїв

На рис. 5.2. представлена структурна схема з'єднання ЦП з пристроями діагностування та АСТД.

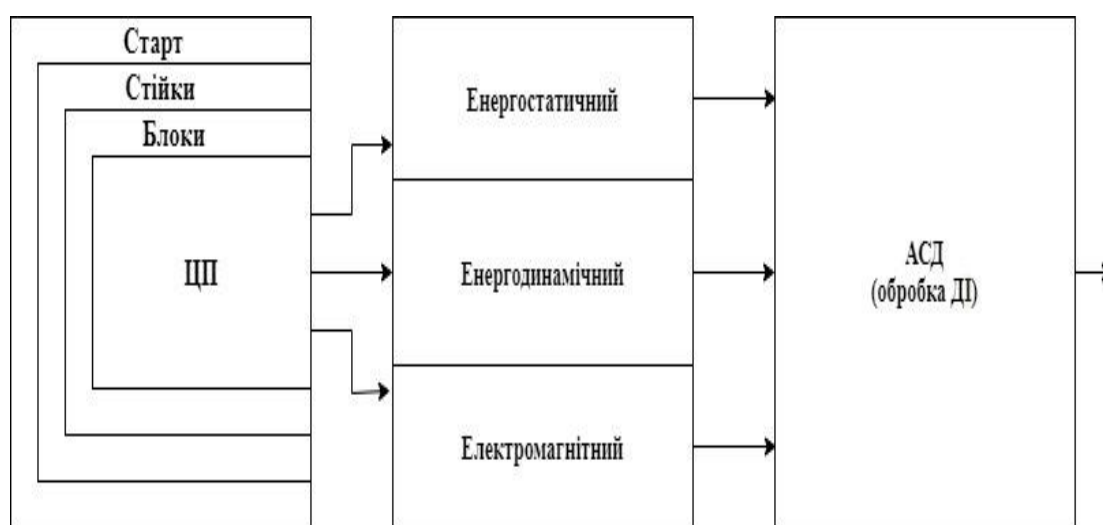


Рис. 5.2. Структурна схема з'єднання ЦП з пристроями діагностування та АСТД

На рис. 5.3. представлена запропонована структурна схема системи технічного обслуговування і ремонту з використанням інтелектуальної системи діагностування.

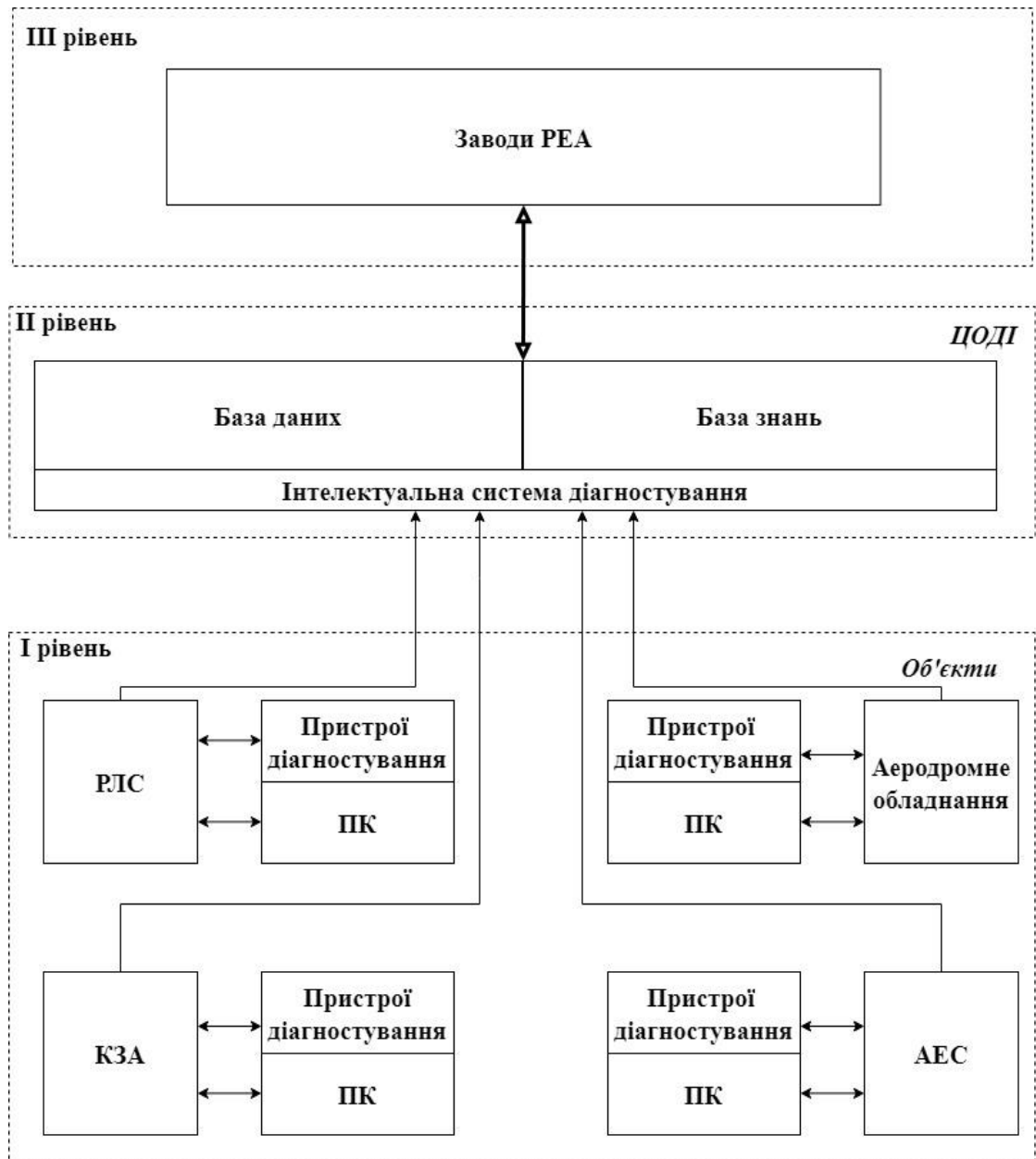


Рис. 5.3. Запропонована структурна схема системи технічного обслуговування і ремонту з використанням інтелектуальної системи діагностування

Дані достовірності діагностування для випадків поодинокого та комплексного застосування методів застосування були представлені у третьому розділі роботи, відповідно до яких представлений графік достовірності діагностування (рис. 5.4).

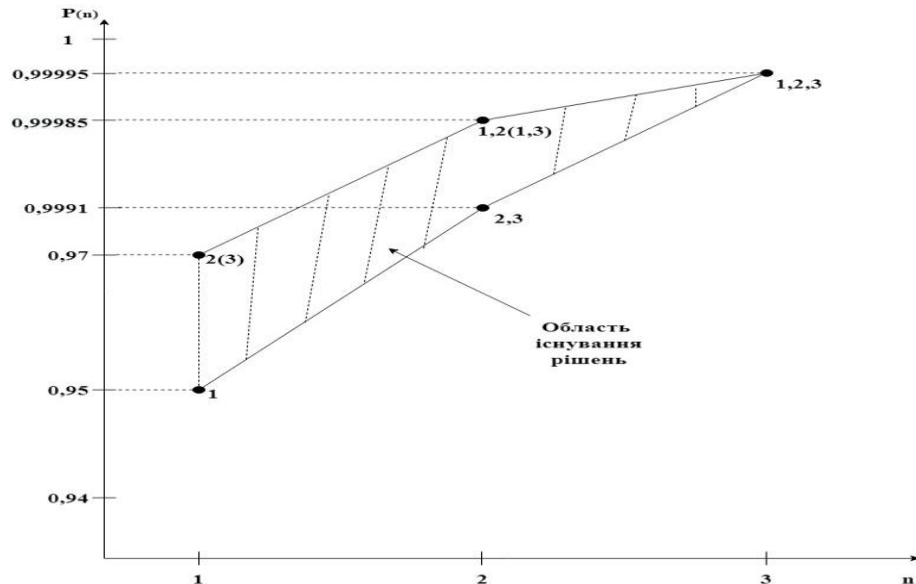


Рис. 5.4. Залежності достовірності діагностування від кількості методів фізичного діагностування, які застосовуються

Зазначене вище спрямовано на підвищення достовірності результатів діагностування, що з точки зору змісту, відповідає виконанню першої функції технічної діагностики.

Її друга функція передбачає проведення локалізації дефектних елементів на рівні не відновлювального елемента, для чого у третьому розділі роботи був представлений алгоритм локалізації дефектних РЕК зі складу ЦП. Виконання другої функції доцільно при використанні електромагнітного методу діагностування, застосування якого передбачає наявність на ОД окремого ПД, до складу якого входить набір антенн – для накладання на кожний РЕК цифрового пристрою. З огляду на забезпечення показників надійності розроблений метод локалізації дефектних елементів, реалізація якого стала можливою завдяки використанню інформаційних технологій, застосуванню фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань. Відмінність даного методу від відомих полягає у можливості визначення саме дефектного, а не несправного РЕК.

Обґрунтування вибору структури комутатора. Обов'язковою умовою роботи запропонованої АСТД є наявність у неї комутатора - пристрою, який забезпечує з'єднання ланцюгів ОД з пристроєм

діагностування. Зважаючи на вимоги до достовірності діагностування, які в переважній більшості зумовлені значимістю ОД, у третьому розділі роботи було запропоновано здійснення діагностування на основі комплексного використання методів фізичного діагностування.

Комутатор має забезпечити можливість з'єднання контрольних точок ОД з відповідними контактами ПД для всіх зазначених випадків. Для цього АСТД [159] у своєму складі має налічувати блок управління комутатором (БУК), на який команди управління будуть надходити з виходу ІСД [167-170].

Важливо відмітити те, що підключення ПД до ОД буде здійснюватись послідовно, незалежно від достовірності, яка вимагається.

Комутатори є універсальними та спеціалізованими. Перші не накладають обмежень на порядок підключення вихідних точок ОД та контактів ПД до входів і виходів комутатора, що досягається їх повнодоступністю, яка являє собою властивістю з'єднання будь-якого входу (загальне число n) з будь-яким виходом (загальне число m) незалежно від кількості раніше встановлених з'єднань. При цьому максимальне число з'єднань буде розраховуватись як nm .

На відміну від універсальних, при використанні спеціалізованих комутаторів обов'язковою є необхідність дотримання певного порядку й правил при з'єднанні ОД та ПД. Вони мають властивість каналності, при цьому каналом є частина комутатора, яка обслуговує один або кілька пристроїв ОД. В універсальних комутаторах властивості визначаються в основному кількістю контрольно-вимірювальних органів, а також генераторів сигналів.

Розглянемо основні характеристики комутаторів ЗД [158]:

1. Точність комутації, що характеризується помилкою коефіцієнта передачі комутатора:

$$\delta = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{ВИХ}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

де $U_{\text{вх}}$, $U_{\text{вих}}$ – напруга на вході й виході комутатора відповідно.

2. Швидкість комутації V , що оцінюється кількістю перемикачів у секунду. Ця характеристика визначається динамічними властивостями (інерційністю) елементів, з яких побудований комутатор.

3. Кількість входних каналів z , що визначає максимальну кількість комутованих датчиків. Швидкість комутації V і кількість каналів z визначають такі динамічні характеристики комутатора, як максимальна кількість повних циклів роботи комутатора за одиницю часу F або максимальну частоту комутації кожного каналу f_k :

$$F = f_k = \frac{V}{z}.$$

4. Термін служби, що визначається числом повних циклів роботи, причому інші характеристики комутатора за цей термін повинні залишатися в визначених межах.

5.2. Розробка структурних схем діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики

Структурні схеми діагностування у запропонованій АСТД в залежності від достовірності, яка вимагається, представлені на рис. 5.5.-5.12 [158,159]. На рис. 5.5. представлена схема діагностування у запропонованій АСТД для енергостатичного методу діагностування.

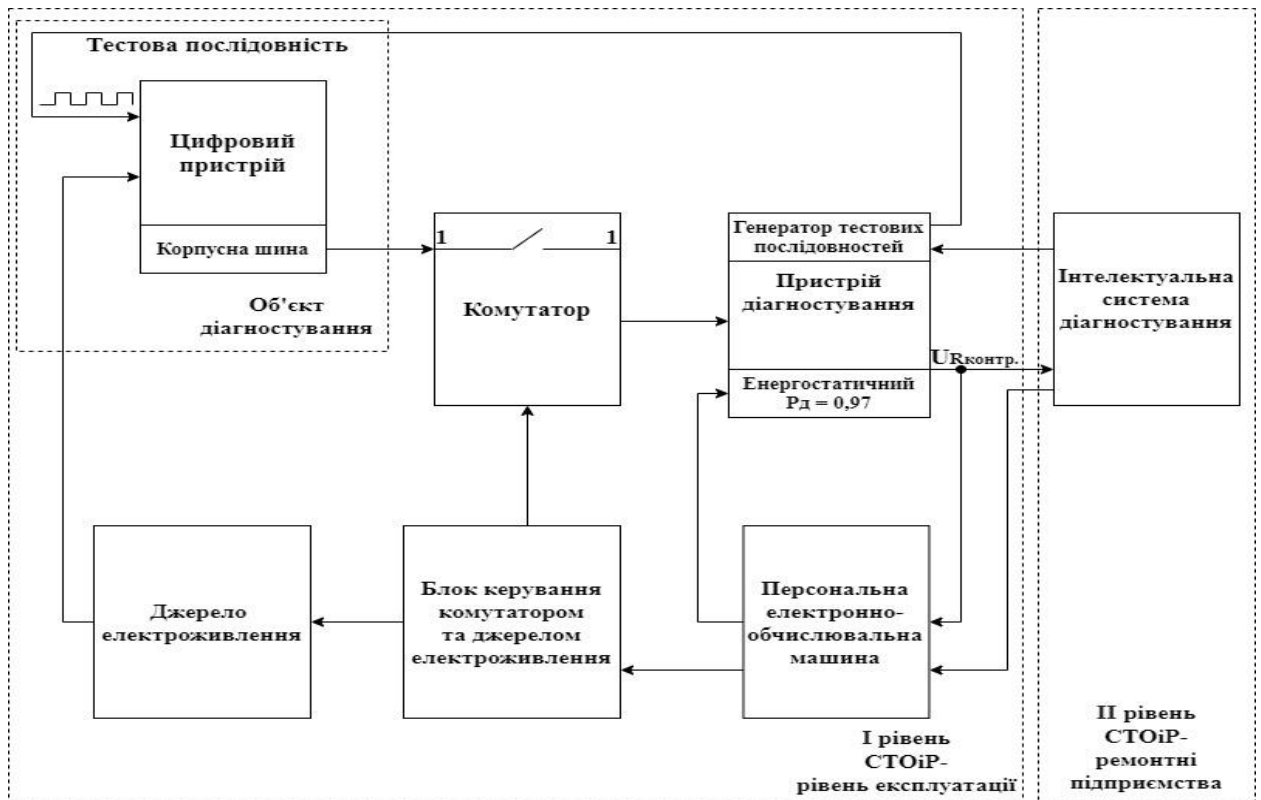


Рис. 5.5. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для енергостатичного методу діагностування

Далі представимо порядок проведення діагностування та обробки ДІ з використанням енергостатичного методу:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення корпусної шини ЦП до ПД.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення $U_{г\text{контр}}$.
5. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.
7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.

10. Визначення ТС цифрового пристрою.

11. Прогнозування ТС.

12. Визначення остаточного ресурсу.

13. Визначення часу наступної перевірки.

На рис. 5.5. представлена схема діагностування у запропонованій АСТД для енергодинамічного методу діагностування.

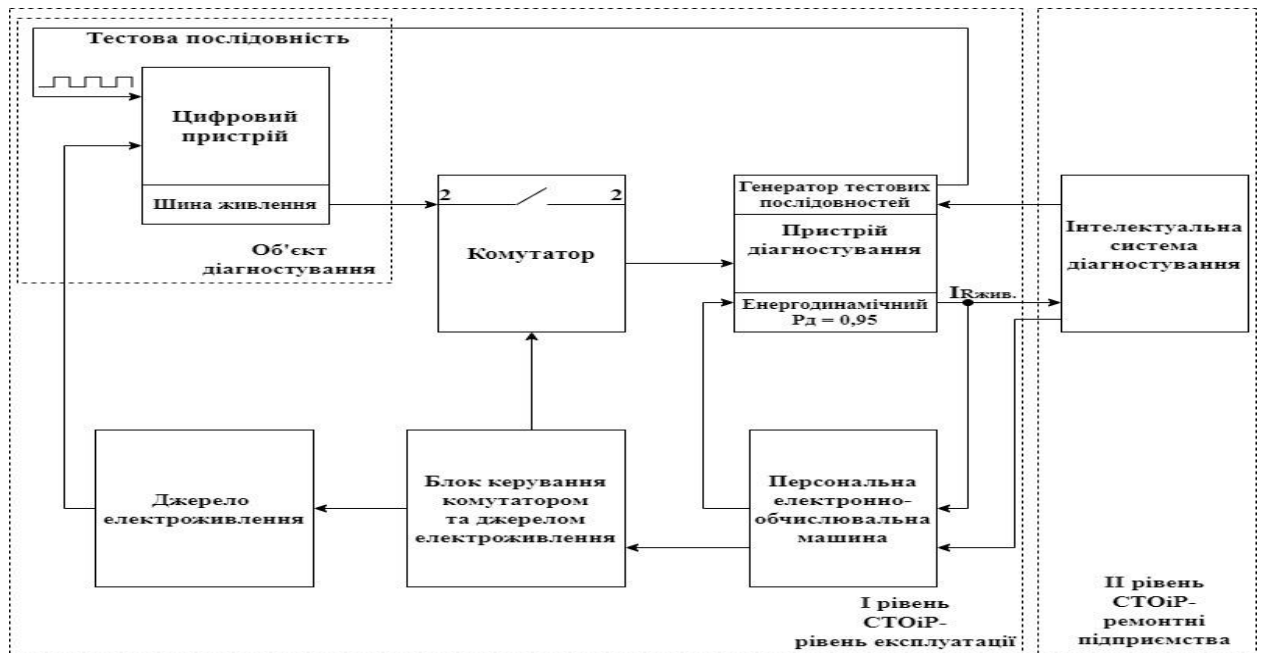


Рис. 5.6. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для енергодинамічного методу діагностування

Далі представимо порядок проведення діагностування енергодинамічним методом:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення шини електроживлення ЦП до ПД.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення U_g електроживлення.
5. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.

7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення остаточного ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

Далі представимо схему для проведення діагностування електромагнітним методом (рис.5.7).

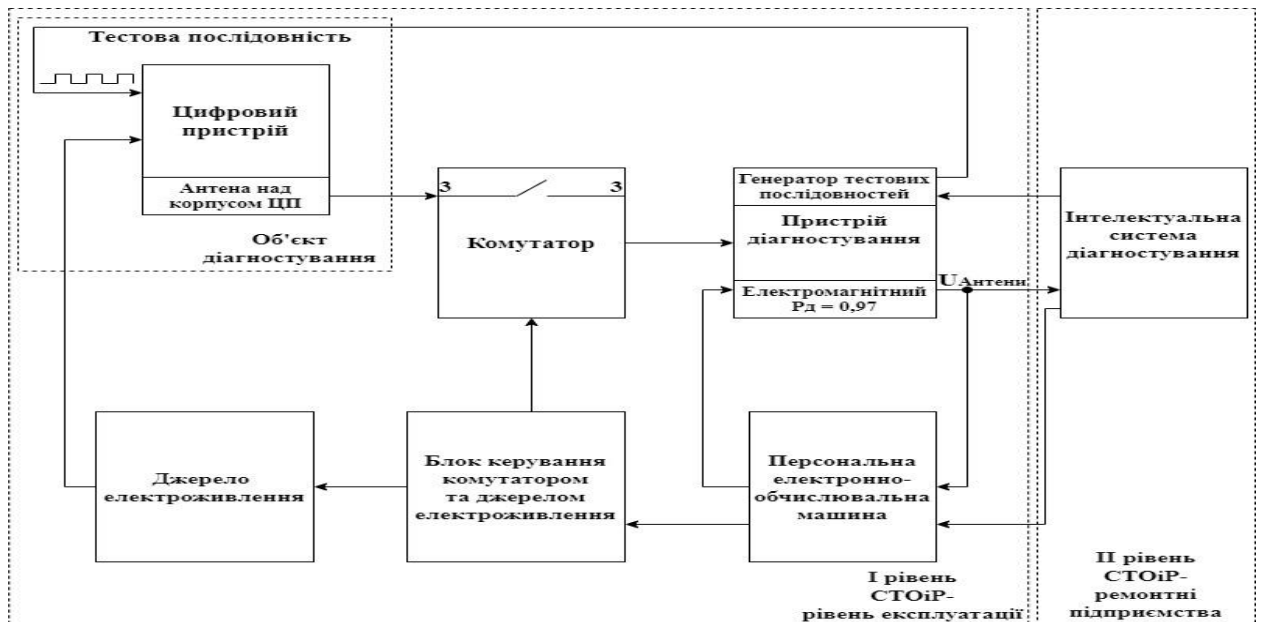


Рис. 5.7. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для електромагнітного методу діагностування

Визначено порядок проведення діагностування електромагнітним методом:

1. Підключення електроживлення.
2. Накладання антени, підключеної до ПД, на ЦП.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.

4. Визначення значення $U_{антенни}$.
5. подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.
7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення остаточного ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

На рис. 5.8. представлена схема діагностування у запропонованій АСТД для випадку комплексного використання енергостатичного та енергодинамічного методів діагностування.

Далі представимо порядок проведення діагностування з комплексним використанням енергостатичного та енергодинамічного методів:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення корпусної шини ЦП до ПД.
3. подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення $U_{г контр}$.
5. подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.
7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення остаточного ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

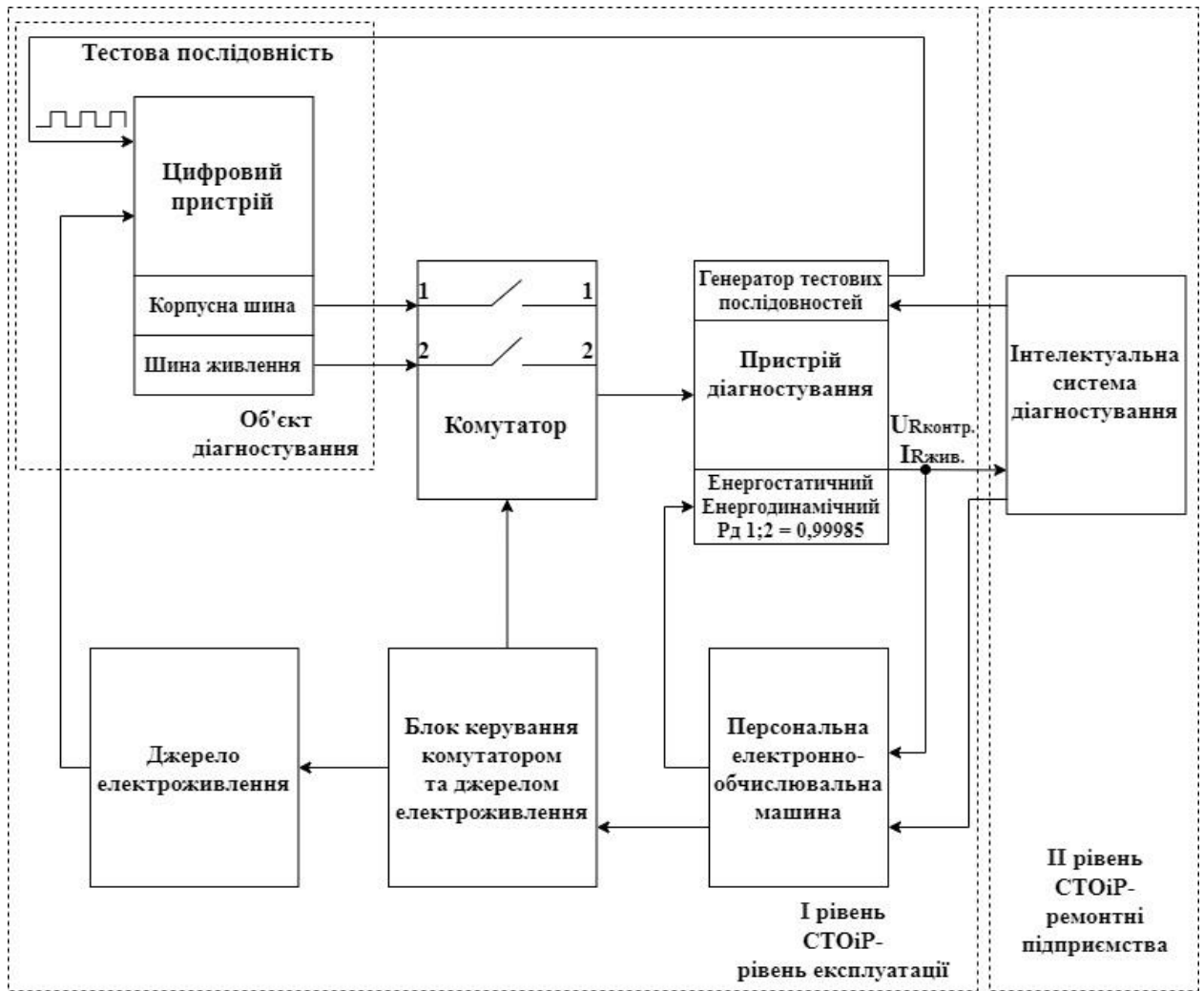


Рис. 5.8. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для випадку комплексного використання енергостатичного та енергодинамічного методів діагностування

Розглянемо порядок проведення діагностування з комплексним використанням енергодинамічного та електромагнітного методів (рис.5.9).

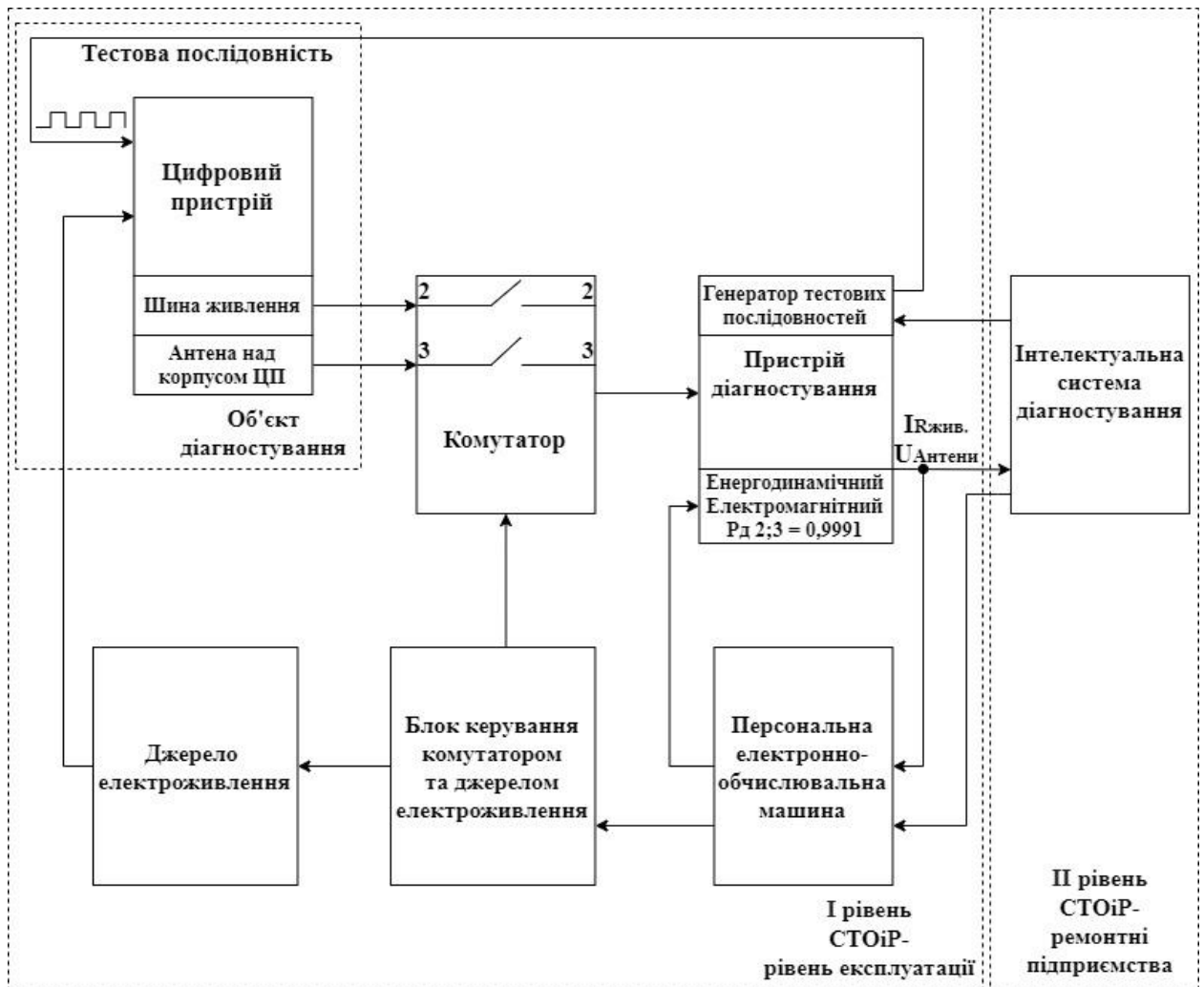


Рис. 5.9. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для випадку комплексного використання енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування

Порядок проведення діагностування з комплексним використанням енергодинамічного та електромагнітного методів:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення шини електроживлення ЦП до ПД.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення $U_{г}$ електроживлення.
5. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.

7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення остаточного ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

Далі представимо порядок проведення діагностування з комплексним використанням енергостатичного та електромагнітного методів (5.10).

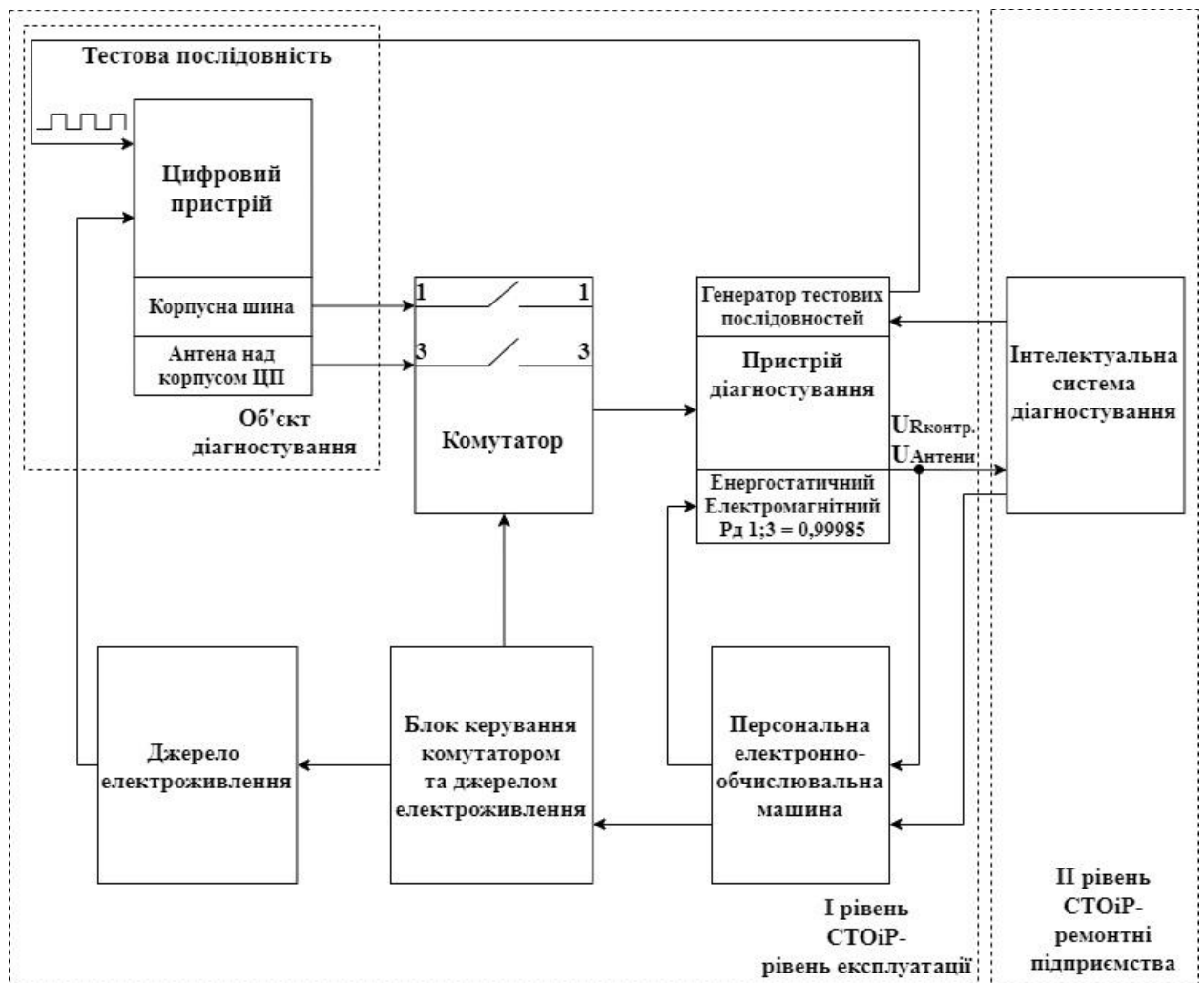


Рис. 5.10. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для випадку комплексного використання енергостатичного та електромагнітного методів діагностування

Далі представимо порядок комплексного використання енергостатичного та електромагнітного методів діагностування:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення корпусної шини ЦП до ПД.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення U_r контр.
5. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на вхід ЦП.
7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення залишкового ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

Далі представимо схему діагностування з комплексним використанням енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів (рис.5.11).

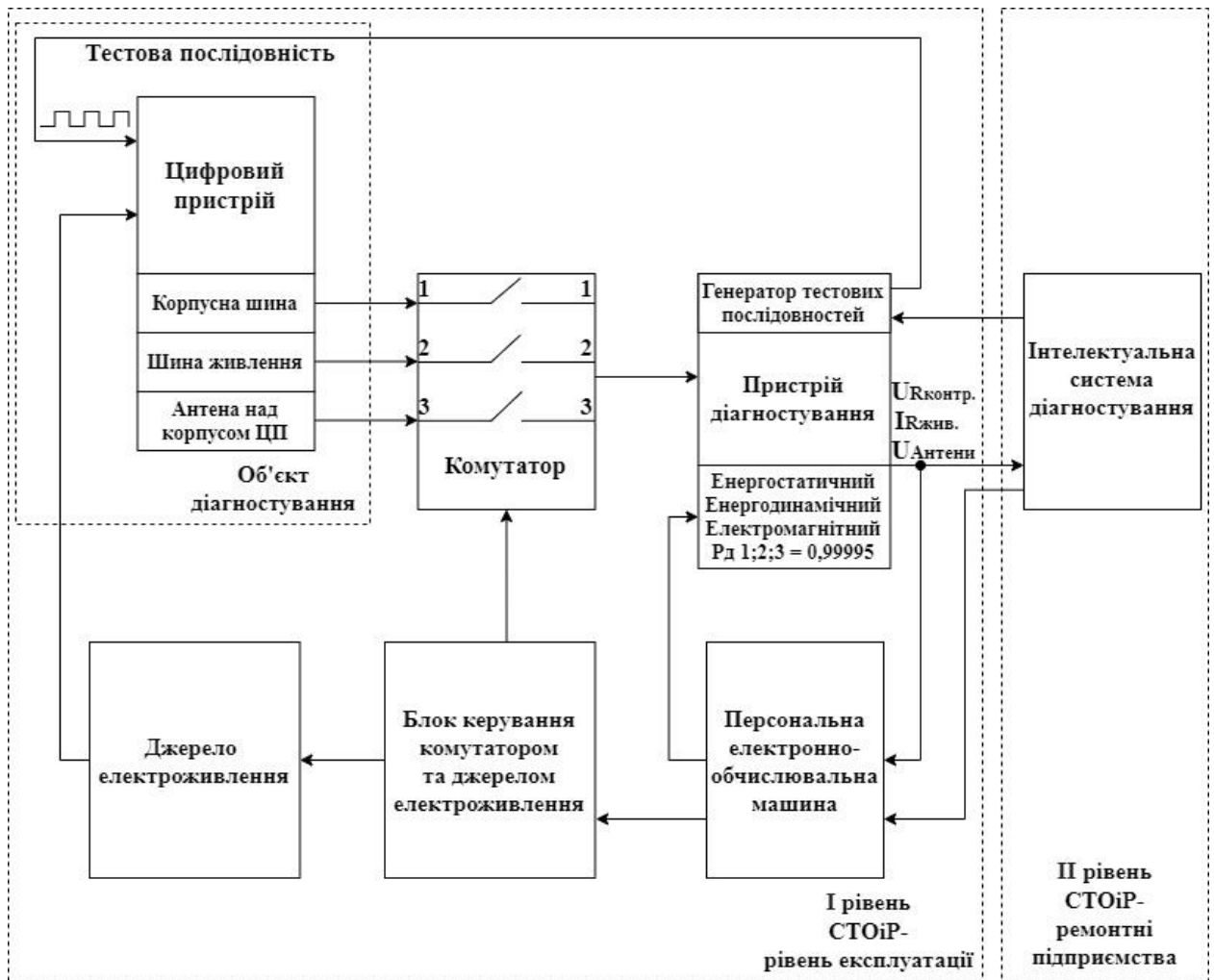


Рис. 5.11. Схема діагностування у запропонованій автоматизованій системі технічної діагностики для випадку комплексного використання енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів

Далі представимо порядок комплексного використання енергостатичного, енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування:

1. Підключення електроживлення.
2. Підключення корпусної шини ЦП до ПД.
3. Подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
4. Визначення значення $U_{г\text{ контр.}}$
5. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
6. Подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД та видачу з нього ТП на

вхід ЦП.

7. Отримання ДІ та запис її у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. Визначення ТС цифрового пристрою.
11. Прогнозування ТС.
12. Визначення залишкового ресурсу.
13. Визначення часу наступної перевірки.

Зважаючи на виконання другої функції технічної діагностики, а також те, що запропонована АСТД не забезпечить упередження виключно всіх відмов, доцільною стала розробка структурної схеми підключення для проведення локалізації несправних РЕК при використанні електромагнітного методу (рис. 5.12).

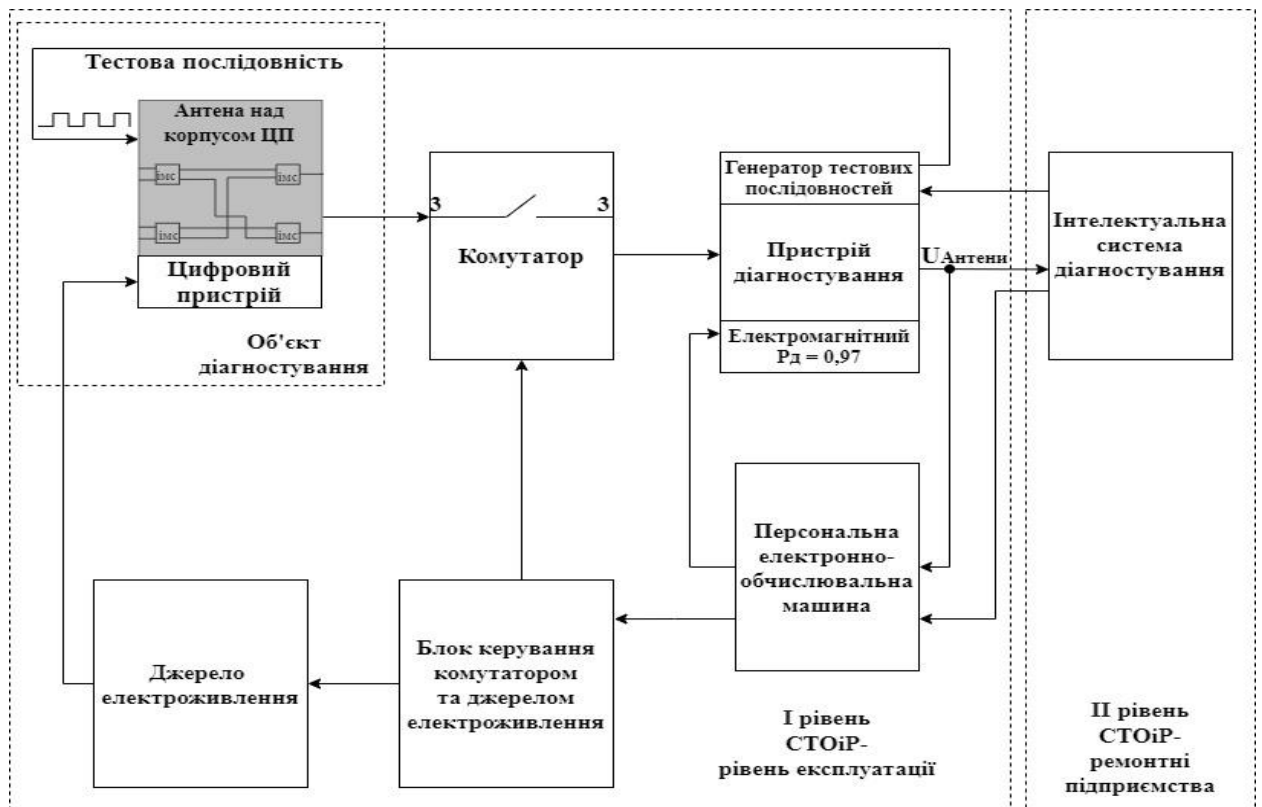


Рис. 5.12. Схема діагностування для проведення локалізації несправних радіоелектронних компонентів при використанні електромагнітного методу

Далі представимо порядок проведення локалізації дефектних РЕК при використанні електромагнітного методу:

1. Підключення електроживлення.
2. подача сигналу з виходу ІСД на вхід БУК.
3. Накладання антенного поля ПД на ЦП.
4. подача сигналу з виходу ІСД на вхід ПД.
5. подача ПТ на вхід ЦП з виходу ГТП.
6. визначення значення $U_{\text{антени}}$.
7. Запис ДІ у ПК.
8. Надходження ДІ до ІСД та запис її у БЗ.
9. Порівняння отриманої ДІ з еталонною.
10. визначення ТС цифрового пристрою.

При здійсненні локалізації дефектних РЕК, на відміну від проведення діагностування, використовується виключно електромагнітний метод, що зумовлено можливістю отримання ДІ про елемент, який відмовив. ТП для проведення локалізації дефектних РЕК є такими, як і при проведенні діагностування. При надходженні ТП на вхід ЦП в антені над несправним РЕК напруга сигналу буде відрізнятися від напруги над технічно справним РЕК. Технічна відмінність при використанні електромагнітного методу для визначення технічного стану та локалізації дефектних РЕК полягає у тому, що у першому випадку на ЦП накладається антена, яка дорівнює йому за розмірами, у другому випадку пристрій для зняття ДІ являє собою набір антен, кожна з яких накладається на РЕК і являє собою КТ. Алгоритм локалізації несправних РЕК був представлений у третьому розділі роботи.

Оснащення рівня експлуатації пристроями діагностування, ПК, до якого буде надходити отримана ДІ, дозволить з високою достовірністю визначати несправний ЦП на даному рівні СТОіР, що відрізняє його можливості від аналогічного рівня СТОіР, яка існує. Крім того, оснащення даного рівня СТОіР пристроєм для локалізації несправних РЕК (ПД-4 на рис.

5.13) надасть можливість визначати несправність на рівні невідновлюваного елемента на рівні експлуатації, що є новим.

Формула, яка визначає середній час відновлення представлена у третьому розділі дисертаційної роботи.

Зважаючи на те, що велика кількість відмов ЦП пов'язана з виходом зі строю РЕК, доцільним є проведення поточного ремонту на даному рівні. Це дозволить виключити значну логістичну складову, обумовлену доставку несправних ЦП від об'єкту РЕТ до РО та в зворотньому порядку. Реальні відстані між зазначеними об'єктами на території держави складають від сотень до тисячі кілометрів. В якості прикладу можна навести той факт, що об'єкти РЕТ військового призначення знаходяться у Львівській області, а завод, який ремонтує складові таких об'єктів, розташований у місті Миколаїв.

Статистичні дані від представників військової частини А 1880 свідчать про те, що середній час відновлення з урахуванням логістичної складової, часу очікування, часу діагностування, часу ремонту та часу вихідного контролю складає від 15 до 30 діб. Крім того, довготривала відсутність ЦП у складі комплексу ЗІП зменшує його ймовірність укомплектування. Це особливо важливо в той час, коли відбувається вихід зі строю в блоці такого ж типу ЦП, який знаходиться у ремонті.

Оснащення другого рівня СТОіР центрами обробки ДІ дозволить проводити централізований збір ДІ від об'єктів РЕТ. Це дозволяє розробити структурну схему запропонованої АСТД об'єктів РЕТ, яка представлена на рис. 5.13 [113].

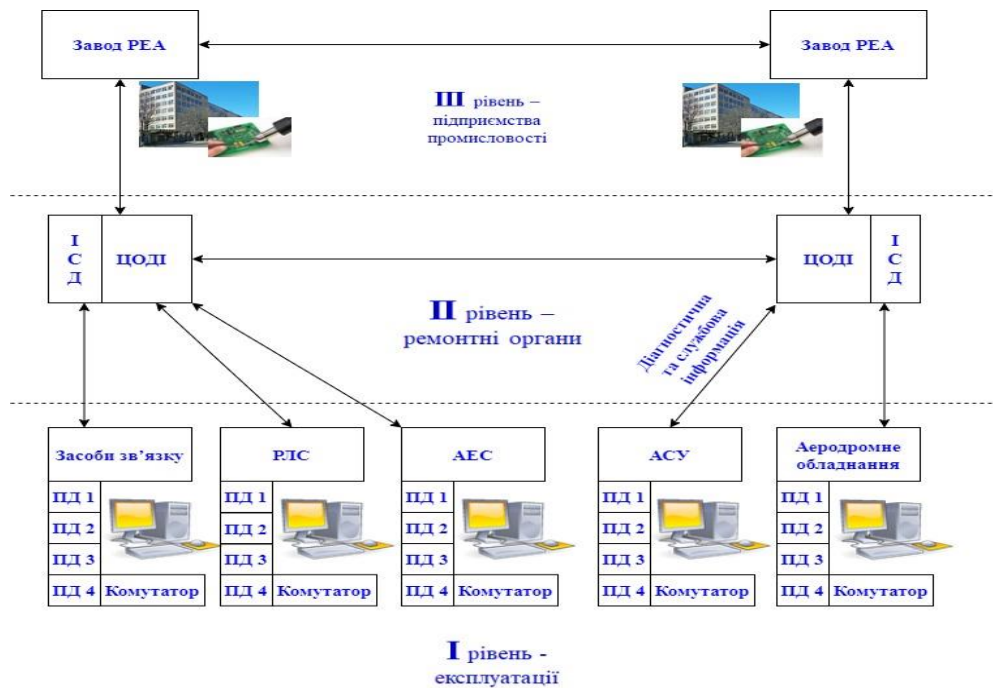


Рис. 5.13. Структурна схема запропонованої автоматизованої системи технічного діагностування об'єктів РЕТ

У процесі експлуатації об'єкта РЕТ при впровадженні запропонованої ІСД [167-170] значення ДП, отриманих під час діагностування методами фізичного діагностування будуть надходити для запису у ПК, яким оснащений перший рівень СТОіР, а також до ІСД [167-170], яка є елементом ЦОДІ.

Оснащення ПК першого рівня СТОіР зумовлено обставинами, при яких порушується зв'язок між ОД та ЦОДІ. Надходження ДІ до ІСД [167-170] забезпечується лініями зв'язку які є в наявності, показники приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Показники діагностування для існуючої та запропонованої СТОіР

Показники діагностування			
№	Назва	Існуючої	Запропонованої
1	Діагностування	Функціональне	Фізичне
2	Рд	0,9 - 0,95	0,9991 - 0,99995
3	Глибина	Блок (ВСК), ЦП	ЦП, РЕК
4	Можливість прогнозування	На основі значень сигнатури визначення реального ТС ЦП на даний момент часу з Рд =0,99995	На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу
5	Можливість визначення залишкового ресурсу	Неможливо	На основі значень ДП з урахуванням залежності від часу

Далі представимо розрахунок основного показника надійності Кг. Представимо розрахунок залежності Кг від достовірності діагностування (рис.5.14). Для розрахунку використовується формула (1.1), при цьому Тпр дорівнює 1 дню, в таблиці 5.2. показано розрахунки залежності Кг від достовірності діагностування для 30,60,90 днів.

$$K_G = \frac{T_o}{T_o + T_B} = \frac{T_o P}{T_o P + T_{пр}}$$

Таблиця 5.2.

Розрахунки залежності Кг від достовірності діагностування для 30,60,90 днів

	30	60	90
0,9	0,9643	0,9818	0,9878
0,95	0,9661	0,9827	0,9884
0,97	0,9668	0,9831	0,9887
0,99985	0,9677	0,9836	0,9890
0,9991	0,9677	0,9836	0,9890
0,99995	0,9677	0,9836	0,9890

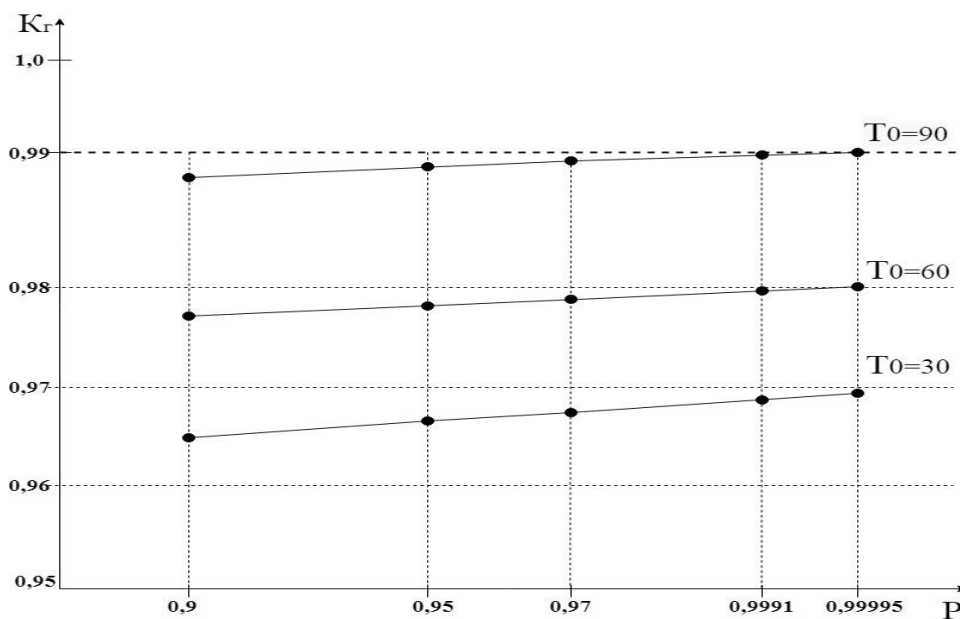


Рис 5.14. Залежності K_{Γ} від достовірності діагностування при різних значеннях T_0

Далі в таблиці 5.3. представлені значення K_{Γ} від середнього наробітку на відмову для 3, 6, 9, 15 днів.

Таблиця 5.3.

Значення K_{Γ} від середнього наробітку на відмову для 3, 6, 9, 15 днів

	3	6	9	15
30	0,909	0,833	0,769	0,666
60	0,952	0,909	0,869	0,8
90	0,968	0,937	0,909	0,857
150	0,98	0,961	0,943	0,909

За даними таблиці 5.3. побудована залежність K_{Γ} від середнього наробітку на відмову (5.15.).

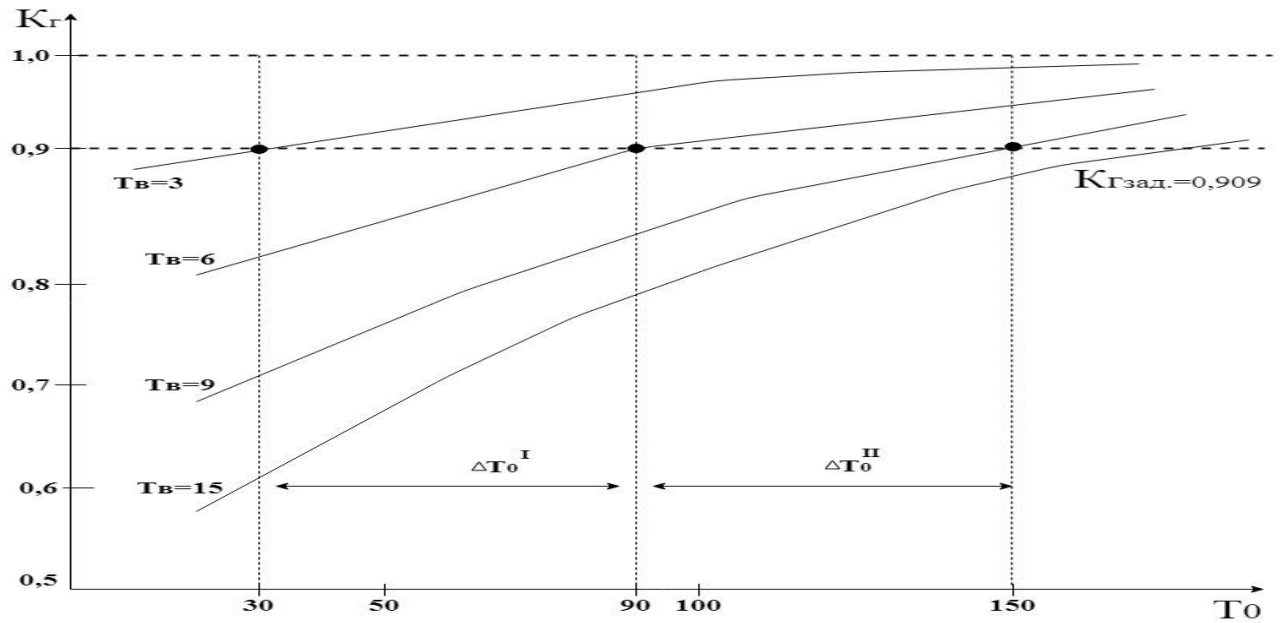


Рис 5.15. Залежності K_γ від середнього наробітку на відмову

Далі в таблиці 5.4 представлені залежності значення K_γ від середнього часу відновлення (рис.5.16) та рис 5.17. область існування можливих значень T_0 .

Таблиця 5.4.

Залежність значення K_γ від середнього часу відновлення для 3, 6, 9, 15 днів

	3	6	9	15
30	0,9	0,86	0,85	0,76
60	0,96	0,9	0,86	0,84
90	0,96	0,94	0,9	0,87

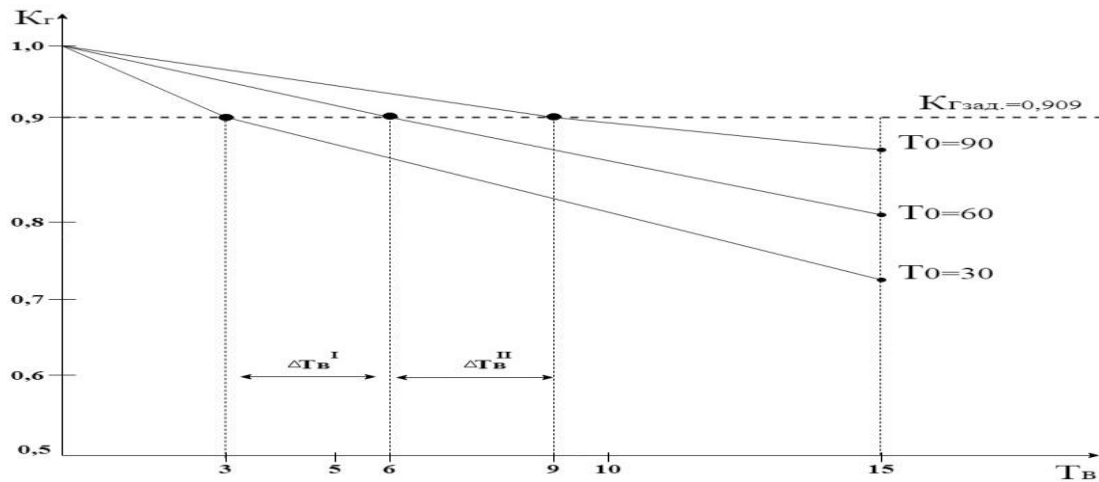


Рис 5.16. Залежності K_T від середнього часу відновлення при різних значеннях T_0

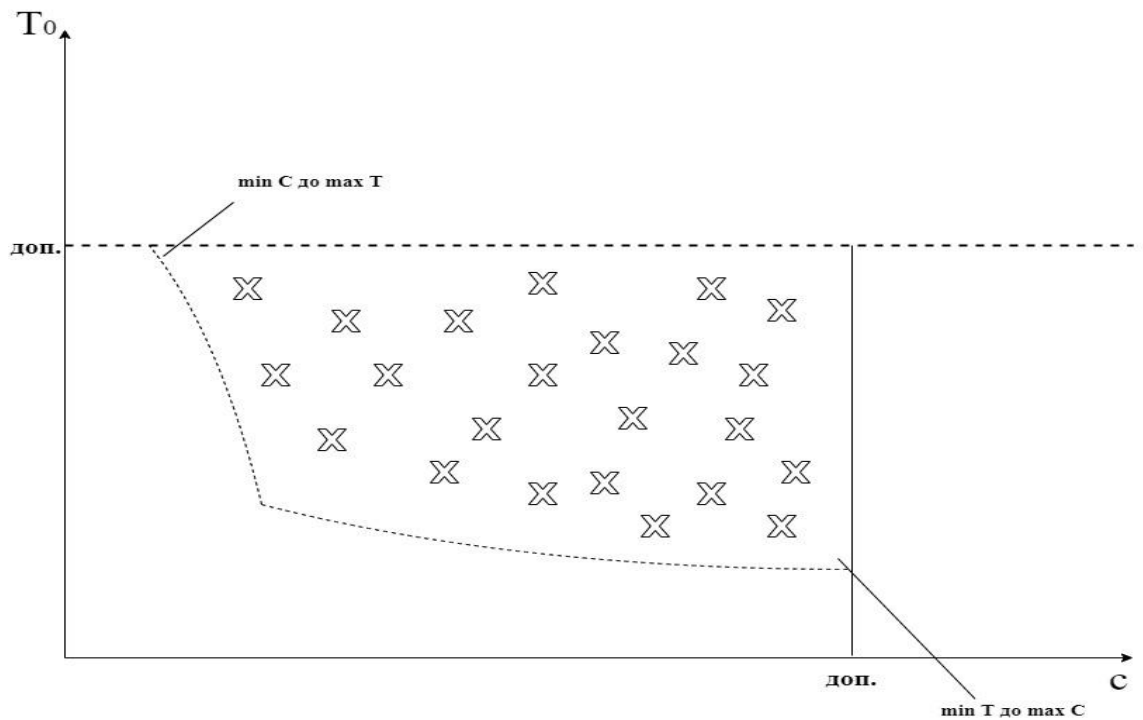


Рис 5.17. Область існування можливих значень T_0

5.3. Оцінка вартості об'єктів автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки та ремонту цифрових пристроїв

Вартість запропонованої АСТД має включати вартість ЗД, ПК, якими має бути забезпечений кожний об'єкт РЕТ, генераторного обладнання, комутаційних пристроїв, серверу, на який буде надходити ДІ від ОД, вартість обслуговування та ремонту, оренди каналів зв'язку або каналів зв'язку у

випадку їх організації. Окремо треба зазначити, що сучасні можливості дозволяють відносно недорого використовувати заздалегідь підготовлені лінії зв'язку, що набагато зменшує загальну вартість АСТД. У випадку організації тих чи інших ліній зв'язку загальна вартість АСТД збільшується. Відносно високої вартості сягає АСТД, яка передбачає організацію каналів зв'язку, утворених з використанням кабельних мереж на великих відстанях від ОД до ЦОДІ.

Для проведення розрахунку вартості запропонованої АСТД будуть використані значення вартостей, які запозичені з джерел [72].

Розрахунок вартості включає в себе наступне.

1. Розрахунок вартості обладнання першого рівня СТОіР.
2. Розрахунок вартості обладнання другого рівня СТОіР.
3. Розрахунок вартості обладнання третього рівня СТОіР.

До обладнання першого рівня СТОіР відносяться такі елементи як ПД, ПК, комутатор, блок управління комутатором тощо.

До ПД відносяться:

ПД-1, який реалізує енергостатичний метод діагностування,
ПД-2, який реалізує енергодинамічний метод діагностування,
ПД-3, який реалізує електромагнітний метод діагностування,
ПД-4, який реалізує електромагнітний метод діагностування для здійснення локалізації несправних елементів.

До обладнання другого рівня СТОіР відноситься ІСД [167-170], яка є елементом ЦОДІ.

До обладнання третього рівня СТОіР відносяться сервери, ДІ на які надходить від ІСД [167-170].

Варто зазначити, що оснащення ПД об'єктів РЕТ може бути різним (можуть містити не всі ПД), в залежності від призначення об'єкту та достовірності діагностування, яка вимагається. До загальної вартості не входить вартість системи обробки інформації третього рівня СТОіР, оскільки на підприємствах вона є в наявності. Загальна вартість

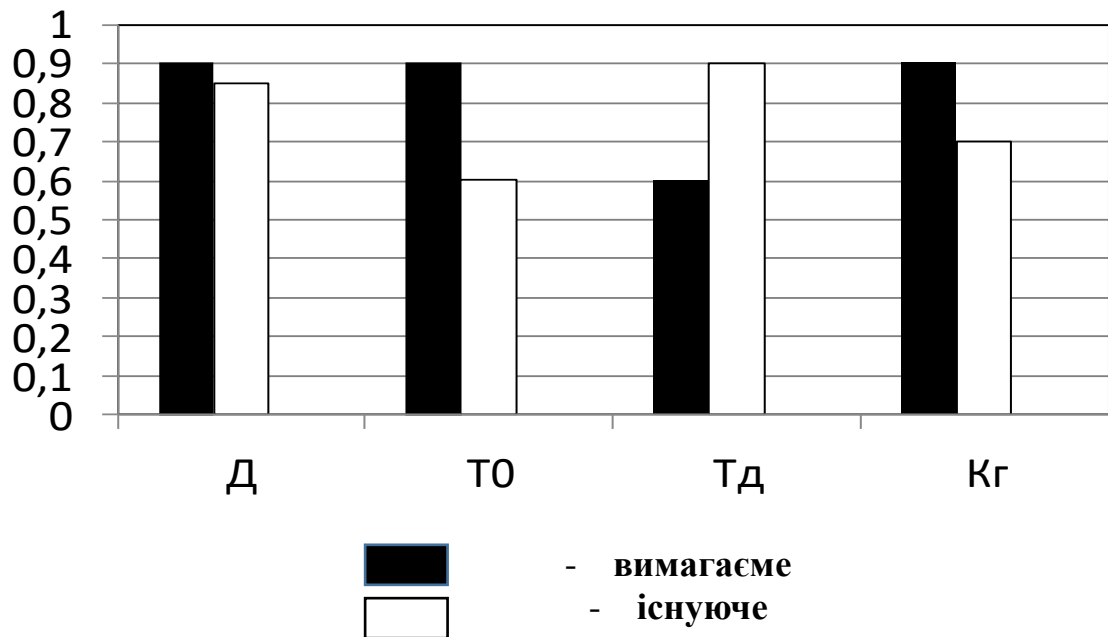
запропонованої АСТД в залежності від значимості об'єктів РЕТ, кількості ПД, вартості ПК та комутатора, ІСД з розрахунку на 10-15 об'єктів складатиме орієнтовно 2000000 гривень станом на 1 січня 2021 року.

В якості об'єктів РЕТ розглядались РЛС сантиметрового та метрового діапазонів. За даними науково-виробничого комплексу "Іскра" вартість сучасної РЛС сантиметрового діапазону становить від ста десяти до ста двадцяти мільйонів гривень, а метрового - від 30000000 гривень. В середньому за один рік заводом виготовляється від однієї до трьох РЛС, тому для переоснащення потрібно близько 35 років.

Вартість нових ЦП, які виготовляються на даному підприємстві для РЛС, в залежності від типу становить від 16000 до 60000 гривень.

Середня вартість ремонту ЦП для РЛС за даними Державного південного виробничо-технічного підприємства становить понад 10000 гривень, при цьому, в залежності від його складності, мінімальна становить 5000, а максимальна 20000 гривень. Статистичні дані свідчать про те, що вартість ремонту становить в середньому 30 % вартості нового ЦП.

Наведені дані свідчать про доцільність побудови та впровадження запропонованої АСТД. На рис. 5.18. представлені діаграми, які ілюструють зміну показників діагностування та надійності при переході від існуючої системи технічної діагностики до запропонованої.



де Д – достовірність діагнозу, T0 – середній наробіток на відмову, Tд – середній час діагностування, Кг – коефіцієнт готовності.

Рис. 5.18. Діаграми, які ілюструють зміну показників діагностування та надійності при переході від існуючої системи технічного діагностування до запропонованої

Висновки до розділу 5

1. Розроблені структурні схеми діагностування для запропонованої АСТД для випадків поодинокого та комплексного використання методів фізичного діагностування.

2. Розроблена структурна схема нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ та показано в ній місце інтелектуальної системи, яка є елементом СТД та здійснює обробку ДІ, яка надходить від різних джерел.

3. Представлені отримані залежності Кг від достовірності діагностування, середнього наробітку на відмову та середнього часу відновлення, які свідчать про результати роботи.

4. Представлений розрахунок технічних показників та надана оцінка економічних показників – вартості об'єктів автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки та ремонту цифрових пристроїв, що доводить доцільність впровадження нової АСТД, що призведе до підвищення показників надійності об'єктів РЕТ та дозволить продовжити їх ресурс. Створена АСТД здатна знизити витрати при виробництві й експлуатації нових зразків об'єктів РЕТ.

5. Впровадження нової АСТД надає можливість визначати реальний технічний стан ЦП, створює прийнятні умови для виконання знеособлюваного ремонту блоків РЕТ, що відповідає вимогам керівного технічного матеріалу з ремонтпридатності, упереджувати відмови з достатньо високою ймовірністю та продовжувати ресурс блоків шляхом завчасної заміни ЦП з критичними характеристиками, що призведе до підвищення комплексного показника надійності, яким є коефіцієнт готовності, на 9-20%.

Основні результати опубліковані у роботах [113,159;161] та доповідались на наукових конференціях [167-170].

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота має теоретичне значення та містить нові науково обґрунтовані результати, які вирішують актуальну науково-прикладну проблему забезпечення достовірного автоматичного діагностування радіоелектронної техніки на основі комплексного діагностування з використанням інформаційних технологій, що має істотне значення в галузі технічних наук.

1. Встановлено, що існуючі методи функціонального діагностування технічного стану об'єктів РЕТ не дозволяють визначати реальний технічний стан з високою достовірністю, а також проводити прогнозування залишкового ресурсу. Існуючі складні багатовитратні СТД не забезпечують

відповідного рівня достовірності діагностування, обмежено використовують інформаційні технології та потребують від обслуговуючого персоналу високої кваліфікації.

2. В дисертаційній роботі розв'язані наступні завдання:

- проаналізовано сучасний стан відомих систем технічної діагностики PET та розроблено концептуальні основи отримання діагностичної інформації з використанням методів фізичного діагностування, а саме, енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного;

- розроблено математичну модель та комплексний метод діагностування на основі енергостатичного, енергодинамічного, електромагнітного методів та метод отримання та обробки діагностичної інформації та блок-схему для комплексного використання методів фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій;

- розроблено метод та алгоритм для визначення технічного стану цифрових пристроїв на основі обробки діагностичної інформації, отриманої з використанням методів фізичного діагностування;

- удосконалено метод локалізації дефектних цифрових елементів і розроблено блок-схему на основі електромагнітного методу діагностування та результатів форсованих випробувань з використанням інформаційних технологій;

- удосконалено метод прогнозування технічного стану та визначення залишкового ресурсу цифрових пристроїв PET та розроблено математичну модель на основі обробки діагностичної інформації з використанням інформаційних технологій;

- удосконалено метод діагностування цифрових пристроїв об'єктів PET з використанням методів фізичного діагностування та розроблено алгоритм реалізації комплексного методу діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки з використанням зазначених методів;

- розроблено структурну схему автоматизованої системи технічної діагностики PET та проведено оцінювання її ефективності.

3. На користь обґрунтованості та достовірності наукових результатів дисертаційної роботи свідчать наступні фактори:

– використання в роботі теоретично обґрунтованих та апробованих на практиці методів побудови сучасних інформаційних технологій, методів теорії технічної діагностики, методів теорії надійності, методів теорії ймовірностей та математичної статистики, методів теорії електричних кіл, методів теорії прогнозування;

– добре співпадіння (довірча ймовірність 0,9) теоретичних розрахунків та результатів експериментальних даних;

– непротириччя наукових результатів основним законам і явищам природи, їх ясна фізична трактовка;

– залучення широкої наукової громадськості до апробації наукових результатів на представницьких наукових форумах, їх публікація у визнаних фахових наукових виданнях.

4. Наукове значення роботи полягає у подальшому розвитку теорії технічної діагностики у напрямку побудови та впровадження автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі використання методів фізичного діагностування.

5. Практичне значення полягає в розробці технології отримання та обробки діагностичної інформації та обґрунтуванні рекомендацій щодо створення нової автоматизованої системи технічної діагностики, алгоритмів для систем підтримки прийняття рішень для існуючих та перспективних зразків РЕТ, що дозволить покращити значення показників надійності та зменшити фінансові витрати на їх досягнення.

6. Отримані нові науково-обґрунтовані практичні рекомендації щодо побудови нової автоматизованої системи технічної діагностики РЕТ на основі фізичного діагностування, впровадження якої дозволить підвищити показники якості діагностування та значення показників надійності об'єктів РЕТ. Використання отриманих наукових результатів, інженерних рішень, розроблених алгоритмів та інформаційної технології дозволило

автоматизувати процес діагностування, скоротити середній час діагностування на 15-20%, збільшити середній час наробітку на відмову за рахунок завчасної заміни цифрових пристроїв з критичними характеристиками до 20%, і, як наслідок, збільшити комплексний показник – коефіцієнт готовності об'єктів РЕТ до 20%.

7. Отримані в дисертаційній роботі наукові результати можуть бути використані:

– в організаціях, що є замовниками науково-технічної продукції та науково-дослідних організаціях при обґрунтуванні тактико-технічних вимог до перспективних систем технічної діагностики РЕТ;

– в науково-виробничих організаціях промисловості при проектуванні та розробці нових систем і комплексів технічного діагностування РЕТ;

– в вищих навчальних закладах України, що займаються підготовкою фахівців з технічного діагностування РЕТ.

8. Подальші дослідження рекомендовано продовжити у напрямку розвитку методології побудови автоматизованої системи технічної діагностики інших видів техніки на основі фізичного діагностування.

9. Таким чином, сукупність отриманих в дисертаційній роботі нових наукових результатів, їх публікація, апробація та реалізація дозволяють вважати поставлену мету досягнутою, а всі завдання дослідження розв'язаними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Звіт НДР «Реставратор». Математичні моделі середнього ремонту сучасних радіоелектронних засобів озброєння, що проводиться в військових ремонтних органах / Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка; №0101U000765; код ЄДРПОУ 22994521; К., 2004. 196 с.
2. Разработка предложений по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта техники связи и автоматизированных систем управления Отчет о НИР шифр «Днистер» (1 этап) «Анализ особенностей и недостатков существующей системы технического обслуживания и ремонта техники связи и автоматизированных систем управления Вооруженных сил Украины» / НЦ при КВИУС. – К., 1998. – 220 с.
3. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення: ДСТУ В 3576–97. [Чинний від 1998.07.01]. – К.: Держстандарт України, 1998. – 60 с.
4. Жибиков В.А. Учет требований технического обслуживания, диагностирования и ремонта в структуре и методологии проектирования радиотехнических систем / В.А. Жибиков, П.В. Яковлев // Вопросы специальной радиоэлектроники. – 1997. – №21. – С.59-66.
5. Волынский А.А. Разработка экспертных систем технического диагностирования средств связи и автоматизации / А.А. Волынский, В.Ф. Шаповалов, Л.Н. Сакович. – К.: КВВИУС, 1987. – 228с.
6. Зайцев Г.Ф. Теорія автоматичного управління / Г.Ф. Зайцев, В.К. Стеклов, О.І. Бріцький. – К.: Техніка, 2002. – 688 с.
7. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика / Сердаков А.С. – Харьков: Техника, 1971. – 244 с.
8. Ярмолик В.Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ. – Мн.: Наука и техника, 1988. – 240 с.

9. Жердєв М.К., Селюков О.В., Глухов С.І., Гахович С.В., Нікіфоров М.М. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2018. Вип. № 2(54). С. 23 – 30.
10. Жердєв М.К., Шкуліпа П.А., Жиров Г.Б., Глухов С.І. Розробка діагностичної моделі транзистора для режиму відсічки при використанні енергодинамічного методу діагностування. Збірник Одеської державної академії технічного регулювання та якості. Одеса, 2012. № 1.С. 61 – 64.
11. Методика контролю технічного стану цифрових пристроїв енергостатичним методом на місці дислокації об'єктів РЕЗО. Жиров Г.Б. // Зб. наук. пр. Одеського ордена Леніна ін-ту Сухопутних військ. – Одеса: ООЛСВ, 2005. – Вип. 11. – С. 39–46.
12. Байда Н.П., Перевозчиков С.И. Алгоритм декомпозиции электронных устройств для систем покомпонентного диагностирования / Н.П. Байда, С.И. Перевозчиков // Электронное моделирование. №2, т. 13, 1991. – С. 58–62.
13. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
14. Дискретні системи управління: навчальний посібник / Жердєв М.К., Тхоржевський В.І., Вишнівський В.В. та ін.; за ред. М.К. Жердєва. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2006. – 170с
15. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердєв М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердєва, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.
16. Вишнівський В.В. Аналіз ефективності вбудованих систем контролю технічного стану радіоелектронних засобів озброєння, які містять аналогові пристрої / В.В Вишнівський. // Збірник наукових праць

Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2007. – № 38, ч.ІІ. – С.45-47.

17. Вишнівський В.В. Аналіз існуючих вбудованих систем контролю об'єктів радіоелектронних засобів озброєння і основні напрямки їх удосконалення / В.В. Вишнівський // Вісник інженерної академії України. – К., 2007. – №3-4. – С.89-92.

18. Вишнівський В.В. Аналіз існуючих датчиків струму та напруги для використання в автоматизованих системах контролю систем живлення РЕЗО / В.В. Вишнівський, В.К. Шваб, В.Г. Панін // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету

19. Вишнівський В.В. Проблема забезпечення необхідного рівня ефективності існуючих вбудованих систем контролю об'єктів РЕЗО / В.В. Вишнівський // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. – К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2007. – №18. – С.6-8.

20. Вишнівський В.В. Використання енергостатичного методу діагностування для побудови вбудованих автоматизованих систем контролю технічного стану об'єктів РЕТ / Вишнівський В.В. // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2008. – № 2. – С.55-58.

21. Вишнівський В.В. Енергостатичний метод визначення технічного стану цифрових пристроїв / В.В. Вишнівський // Нові технології. – Кременчук, – 2006. – № 3(13). –С. 32-36.

22. Шкуліпа П.А. Основні напрямки розвитку автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектроніки // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – Хмельницький, 2012. – № 6.– С.192 – 194.

23. Шкуліпа П.А. Проблема розробки інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки // Збірник наукових праць Національної академії

Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2012. – № 58, ч.ІІ. – С.167 – 170.

24. Основы надежности и технического обслуживания радиоэлектронных средств РТВ ПВО: учебник / А.Н. Буточнов, Б.П. Креденцер и др. – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – Ч.1. – 230 с.

25. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО: навчальний посібник. / В.Б. Кононов, О.В. Водолажко, О.В. Коваль та інші. – Х.: ХНУПС, 2017.

26. Жердев М.К. Напрями розвитку систем контролю технічного стану і діагностування складних технічних систем / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, І.В. Пампуха, О.Ю. Скуйбіда // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2006. – № 3. – С. 22– 25.

27. Гуляев В.А. Техническая диагностика управляющих систем / Гуляев В.А. – К. : Наукова думка, 1993. – 312 с.

28. Шкуліпа П.А., Жердев М.К., Ленков С.В., Гунченко Ю.О. Шляхи і методи підвищення ефективності автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних пристроїв спеціального призначення // Журнал «Сучасна спеціальна техніка», 2012. – № 3(30). – С 69 – 74 .

29. Гуляев В.А. Методы и средства обработки диагностической информации в реальном времени / В.А. Гуляев, В.М. Чаплыга, И.В. Кедровский. – К.: Наукова думка, 1986. – 224 с.

30. Жердев М.К. Удосконалення системи ремонту пристроїв, які містять цифрові елементи / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Ю.І. Сазонов, Г.Б. Жиров // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2005. – № 1. – С.51-56.

31. Жердев М.К. Основні напрямки удосконалення системи ремонту радіоелектронних засобів озброєння / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, М.М.

Охрамович // Матеріали науково-практичної конференції «Пріоритетні напрямки підвищення ефективності діяльності правоохоронних структур і військових формувань України». – Хмельницький, 2007. – С.27-28.

32. Довідник з протиповітряної оборони / Торопчин А.Я., Романенко І.О., Даник Ю.Г., Пащенко Р.Е. та ін. – К: МО України, Харків: ХВУ, 2003. – 368 с.

33. Креденцер Б.П. Совершенствование системы ремонта устройств, содержащих цифровые элементы / Б.П. Креденцер, В.В. Вишневский, М.И. Резников, С.И. Глухов // Труды седьмой научно-практической конференции “Современные информационные и электронные технологии”. – Одесса, 2006, ч2. – С. 25.

34. Глухов С.І., Гальоса А.О., Сакович Л.М. Удосконалення діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки та техніки спеціального зв'язку на основі фізичного діагностування з використанням інтелектуальної системи діагностики. Матеріали науково-практичної конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, м. Київ, 18-19 листопада 2020 р. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 191–192.

35. Жердев Н.К. Контроль устройств на интегральных схемах / Н.К. Жердев, Б.П. Креденцер, Р.Н. Белоконь. – К.: Техніка, 1986. – 160 с.

36. Гахович С.В. Удосконалений метод діагностування цифрових пристроїв з використанням параметрів енергодинамічного процесу при відновленні їх працездатності у військових ремонтних органах: Дис. канд. техн. наук 20.02. 14- 2005.

37. Вишнівський В.В. Застосування датчиків струму та напруги для контролю технічного стану системи живлення об'єктів РЕЗО / В.В. Вишнівський, В.К. Шваб, В.Г. Панін // Актуальні задачі фінансового, психологічного, правового, топогеодезичного, радіотехнічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин Збройних Сил України: наук.-практ. конф., 25 квітня 2008р.: тез. доп. – К., 2008. – С. 107.

38. Вишнівський В.В. Математична модель аналогових електронних кіл з елементами логіки для контролю їх працездатності / В.В. Вишнівський, П.Ю. Катін, Г.Б. Жиров // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. – К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2003. – С. 47-51.
39. Вишнівський В.В. Математична модель аналогового пристрою для проведення діагностування енергостатичним методом / В.В. Вишнівський // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2007. – С.66-70.
40. Вишнівський В.В. Методика контролю технічного стану аналогових пристроїв з використанням енергостатичного методу діагностування / В.В. Вишнівський, А.В. Головань // Збірник наукових праць Одеського інституту Сухопутних військ. – Одеса, 2007. – № 13. – С. 53-55.
41. Вишнівський В.В. Методика контролю технічного стану аналогових пристроїв радіоелектронних засобів озброєння на основі енергостатистичного методу / В.В. Вишнівський, М.М. Охрамович // Актуальні задачі фінансового, психологічного, правового, топогеодезичного, радіотехнічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин Збройних Сил України: наук.-практ. конф., 27 квітня 2007р.: тез. доп. – К., 2007. – С. 42-43.
42. Вишнівський В.В. Методика побудови діагностичного паспорта вторинних джерел живлення / В.В. Вишнівський, В.Г. Панін, В.О. Проценко // Актуальні задачі фінансового, психологічного, правового, топогеодезичного, радіотехнічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин Збройних Сил України: наук.-практ. конф., 24 квітня 2009р.: тез. доп. – К., 2009. – С. 106-107
43. Вишнівський В.В. Мобільна радіолокаційна станція П-18. Будова, принцип дії систем та пристроїв: навчальний посібник / В.В. Вишнівський, В.І. Тхоржевський, І.В. Тхоржевський. – К.: ТОВ “Чайка-Всесвіт”, 2006. – 160 с.

44. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5>
45. Азарсков В. М. Надежность систем управления и автоматики. Учебное пособие / Азарсков В. Н., Стрельников В. П. — К.: НАУ, 2004. — 164с.
46. Бурлаков Е.А. Оптимизация периодичности проверок систем. — АВТ, 1978, №3, С. 32-36.
47. Буроменский Н. Ремонт радиоэлектронного вооружения в армии США / Н. Буроменский, В. Минцкер // Техника и вооружение. — 1991.— № 6 — С.38 – 39.
48. Бэндлер В. Диагностика неисправностей в аналоговых цепях / В. Бэндлер, А.Е. Салама // ТИИЭР. — 1985. — №8. — С. 35–88.
49. Вишнівський В.В. Пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ з використанням параметрів енергодинамічного процесу / В.В. Вишнівський, С.В. Гахович, П.Ю. Катін, В.В. Круценко // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. — К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2003. — Вип. №6. — С. 71-75.
50. Добровольський Ю.Б., Пампуха І.В. Модель функціонування уніфіцированного ремонтного модуля с использованием временного резервирования // Тезисы докладов 1-го Международного молодежного форума "Электроника и молодежь в XXI веке". — Харьков: ХТУРЭ, 1997. — С.126.
51. Звіт НДР «Діагностика». Методика побудови програм перевірки ТЕЗів РЕТ 4-го покоління / Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка; №0101U002251; код ЄДРПОУ 22994521; К., 2004. 150 с.
52. Литвиненко В. Техническое обеспечение в армии США / В. Литвиненко // Техника и вооружение. — 1990. — №9. — С.36-38.
53. Креденцер Б.П. Математична модель дефектації складових частин

радіоелектронних засобів озброєнь при проведенні середнього ремонту у ремонтному органі / Б.П. Креденцер, О.В. Буяло, А.В. Невзоров // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ КПІ. – К.: ВІТІ НТУУ КПІ, 2004. Вип. №3. – С. 81 – 90.

54. Жердев М.К. Пристрій контролю технічного стану цифрових ТЕЗ з використанням енергостатичного методу діагностування / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, М.І. Сергієнко, Г.Б. Жиров // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2006. – №2. – С.63-67.

55. Жердев М.К. Побудова перевірочних тестів для комбінаційних схем типових елементів заміни при контролі їх технічного стану електромагнітним способом / Жердев М.К., Вишнівський В.В., Глухов С.І., Панін В.А. // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. – К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2007. – №17. – С.77-79.

56. Гремальский А.А. Генератор псевдослучайных тест-программ для высокочастотного контроля микропроцессорных СБИС / А.А. Гремальский // Управляющие системы и машины. – 1990. – С.41-45.

57. Дисман А.М. Сравнительный анализ методов контроля и диагностики цифровых устройств / А.М. Дисман // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. Общетеchnическая. – 1982. – Вып. 12. – С. 160-169.

58. Фізичні основи теорії надійності: підручник / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Б.П. Креденцер та ін.; за ред. М.К. Жердева. – К.: ВПЦ “Київський університет”, 2008. – 359с.

59. Клец Ю.П. Бессловарный поиск неисправностей – новый подход к диагностированию цифровых устройств / Ю.П. Клец, Ю.Г. Савченко, В.Н. Чешун // Управляющие системы и машины. – 2001. – № 3. – С. 36–41.

60. Конопаев В.М. Определение полноты перебора входных комбинаций при контроле цифровых устройств с помощью псевдослучайных последовательностей / В.М. Конопаев, Н.С. Петров // Вопросы радиоэлектроники. – 1983. – Сер. ОБТ, № 14. – С. 134–139.

61. Ленков С.В. Розрахунок кількості тестових послідовностей для контролю працездатності цифрових ТЕЗ / С.В. Ленков, С.В. Гахович, О.В. Горшков // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». – К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2005. – №2. – С. 62-66.

62. Ленков С.В. Методика визначення сигнатури аналітичним шляхом / С.В. Ленков, Г.Б. Жиров, В.Г. Панін, О.В. Буяло // Сучасні напрямки розвитку Сухопутних військ ЗС України: Матеріали міжвузівської науково-практичної конференції. – Одеса: ООЛІСВ, 2005. – С. 92-93.

63. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки: підручник для студентів, що навчаються за спеціальності «Електроніка» / В. М. Рябенський, В. Я. Жуйков, Ю. С. Ямненко, А. В. Заграничний ; НТУУ «КПІ». – Київ, 2016. – 757 с.

64. Сунчалина А.Л. Параметрические модели анализа связей в форсированных испытаниях элементов и сложных систем: Дис. канд. фіз. мат. наук: 05.13.01- 2010.

65. Романов В. Количественная оценка надежности интегральных микросхем по результатам форсированных испытаний // ЭЖиС. – Киев: VD MAIS, 2003, № 3.

66. Кузавков В. Застосування методів форсованих випробувань для отримання залежності діагностичного параметру від часу напрацювання цифрових радіоелектронних компонентів / В. Кузавков, Є. Редзюк // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні : науково-технічний збірник. – 2014. – Вип. 2(28). – С. 84-88.

67. Глухов С.І., Жердєв М.К., Кузавков В.І. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 49. С. 40-48.

68. Степаненко И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2003. – 488 с.

69. Савран В.С. Інформаційні технології для автоматизованих систем технічного діагностування цифрових пристроїв на основі аналізу спектру сигналу : Дис. канд. наук: 05.13.06- 2017.

70. Жиров Г.Б. Методика контролю технічного стану цифрових типових елементів заміни з використанням енергостатичного методу діагностування : Дис. канд. наук: 20.02.14 - 2006.

71. ДСТУ 2389–94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. Чинний від 1995.01.01. – К.: Держстандарт України, 1995. – 20 с.

72. Шкуліпа П.А. Інформаційні технології для створення автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних блоків: Дис. док. наук: 05.13.06- 2013.

73. Байда Н.П., Перевозчиков С.И. Алгоритм декомпозиции электронных устройств для систем покомпонентного диагностирования / Н.П. Байда, С.И. Перевозчиков // Электронное моделирование. №2, т. 13, 1991. – С. 58–62.

74. Глазунов Л.П. Проектирование технических систем диагностирования / Л. П. Глазунов, А. Н. Смирнов. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 168 с.

75. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.

76. Диагностирование средств связи и управления при эксплуатационных отказах и множественных аварийных повреждениях / под ред. С.П. Ксенза. – Л.: ВАС, 1987. – 172 с.

77. Резніков М.І., Пампуха І.В., Гахович С.В. Структурно-функціональна модель цифрового типового елемента заміни з урахуванням енергодинамічного процесу // Зб. наук. пр. КВІУЗ. Вип. №1. – К.: КВІУЗ, 2001. – С.126-133.

78. Вишнівський В.В., Гахович С.В., Катін П.Ю., Круценко В.В. Пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ з використанням

енергодинамічного процесу // “Вісник” Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 6. – К.: КНУ ім. Т.Шевченка, 2003. – С. 70-74.

79. Шило В.Л. Популярные цифровые микросхемы: Справочник. – М.: Радио и связь, 1988. – 352 с.

80. Дмитриев А.К. Распознавание отказов в системах электроавтоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 101 с.

81. Теория электрорадиоцепей / Р.П. Карташов, А.П. Медведев; Под ред. А.М. Широкова. – М.: Воениздат, 1980. – 495 с.

82. Заковряшин А.И. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры с учетом особенностей эксплуатации. – М.: Радио и связь, 1988. – 129 с.

83. Ксёэнз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.

84. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Сер. Військово-спеціальні науки, Вип. 11. – С. 54–60.

85. Жиров Г.Б. Методика контролю технічного стану цифрових пристроїв енергостатичним методом на місці дислокації об’єктів РЕЗО // Зб. наук. пр. Одеського ордена Леніна ін-ту Сухопутних військ. – Одеса: ООЛІСВ, 2005. – Вип. 11. – С. 55–61.

86. Жердєв М.К., Вишнівський В.В., Жиров Г.Б. Контроль технічного стану цифрових пристроїв енергостатичним методом // Зб. наук. пр. ВІТІ НТУУ “КПІ”. – К.: ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2005. – № 1. – С. 51–57.

87. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника: Учебник. – К.: Выща школа, 1989. – 431 с.

88. Жиров Г.Б. Математична модель базового логічного елемента транслятора напівпровідникової ВІС ТТЛ – структури в статичному режимі // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Сер. Військово-спеціальні науки, Вип. 9. – С. 62–65.

89. Вишнівський В.В., Гахович С.В., Жиров Г.Б., Майстренко В.С., Савков П.А. Узагальнена математична модель цифрового типового елемента заміни при діагностуванні методом узагальненої контрольної точки // Збірник наук. праць Одеського ордена Леніна інституту Сухопутних військ. – Одеса: ООЛІСВ, 2005. – Вип. 10. – С. 44–46.

90. Жиров Г.Б. Математична модель вихідного транслятора ВІС ТТЛ структури у статичному режимі // Матеріали ІІ науково-практичної конференції “Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем спеціального призначення”. – К.:ВІТІ НТУУ “КПІ”, 2005. – С.110.

91. Жиров Г.Б. Математична модель базового логічного елемента транслятора напівпровідникової ВІС ТТЛ – структури в статичному режимі // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: “Київський університет”, 2005. – Сер. Військово-спеціальні науки, Вип. 9.– С. 62–65.

92. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 21. С. 42-45.

93. Жердєв М.К., Глухов С.І., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 22. С. 20-30.

94. Ленков С.В., Жердєв М.К., Креденцер Б.П., Глухов С.І., Попов П.П. Побудова універсального ремонтного модуля для локалізації дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни з використанням електромагнітного методу діагностування у військових

ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 24. С. 52-57.

95. Глухов С.І., Жердєв М.К., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня: V Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24 квітня 2009 р.: тези доп. Київ, 2009. С.12.

96. Глухов С.І., Жердєв М.К., Савков П.А., Попов П.П., Пистряк В.В. Техніко-економічний аналіз доцільності впровадження уніфікованого ремонтного модуля на основі електромагнітного методу діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ». К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2010. № 1. С. 24-27.

97. Глухов С.І., Попов П.П., Жердєва О.В. Удосконалений електромагнітний метод визначення працездатності цифрових типових елементів заміни. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. Вип. № 1. С.48-53.

98. Глухов С.І., Жердєв М.К., Сакович Л.М., Шевченко В.В. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту техніки зв'язку при використанні електромагнітного методу діагностування. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУІКТ. 2012. № 4(100). С. 40-43.

99. Глухов С.І. Методика розрахунку електричного струму вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної схеми при контролі технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом // Глухов С.І., М.К. Жердєв, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров / Збірник наукових

праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2006. – № 4. – С. 42 – 47

100. Цибизов К. Н., Пасечник С. Г. Военные линии радиосвязи и антенные устройства: Учеб. пособие. – Киев.: КВВИУС, 1987. – С. 80–83.

101. Глухов С.І. Методика розрахунку електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної схеми типових елементів заміни // Глухов С.І., М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров / Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. – К., 2007. – №14. – С. 10 – 12

102. Глухов С.І., Жердев М.К., Сакович Л.М., Попов П.П. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту типового елемента заміни при використанні електромагнітного методу діагностування. *Інформаційні технології у військовій сфері*: матеріали науково-практичного семінару. – Київ, 2012. Вип. № 7. С.27-35.

103. Ярмолик В.Н. Применение сигнатурного анализа для контроля и диагностики сетевых дискретных структур // Автоматика и вычислительная техника. – 1985. – № 4. – С. 73–79.

104. Гордон, Надиг. Локализация неисправностей в микропроцессорных системах при помощи шестнадцатиричных ключевых кодов // Электроника. – 1977. – № 5. – С. 23–33.

105. Иоффе М.И. Оценка способности сигнатурного анализа обнаруживать ошибки заданной кратности в двоичной последовательности // Автоматика и телемеханика. – 1984. – №12. – С. 110–118.

106. Тимонин В.И. Модели и методы сокращения объемов и продолжительности форсированных испытаний: Дис. . докт. физ.- мат. наук. М., 2005. 240 с.

107. Карташов Г.Д., Тимонин В.И. Предварительные исследования в теории форсированных испытаний изделий радиоэлектроники // Электромагнитные волны и электронные системы. 2004. Т. 9, № 6. С. 51-60.

108. Карташов Г.Д., Сунчалина А.Л. Оценивание взаимной связи между наработками изделий радиоэлектроники в двух режимах //Электромагнитные волны и электронные системы. 2007. №9. С. 4-11.

109. Курносоев А.И., Юдин В.В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Высшая школа, 1986.

110. Минайчев В.Е. Нанесение пленок в вакууме. - М.: Высшая школа, 1989.

111. Чернышёв А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. - М.: Радио и связь, 1988.

112. Глухов С.І. Методика обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Збірник наукових праць. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1 (59). С. 81-86.

113. Глухов С.І., Сакович Л.М., Яковлев М. Ю., Гальоса А.О. Розробка та техніко-економічне обґрунтування автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Х.: НАНГУ, 2020. № 1(35). С. 30-40.

114. Глухов С.І. Методика діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань на надійність радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2019. № 63. С. 12-19.

115. Глухов С.І., Сакович Л.М., Бабій О.С., Гальоса А.О. Методика фізичного діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2020. Вип. № 2 (62). С. 93-101.

116. Острейковский В.А. Теория надежности : Учебник для вузов / В.А. Острейковский. — М.: Высш. шк. , 2003. — 463 с: ил.
117. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0
118. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В., Березовська Ю.В. Математичні моделі та алгоритм обробки діагностичної інформації для побудови інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 4(56). С. 5-13.
119. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Ленков С.В. Перевірка адекватності діагностичної моделі радіоелектронного компоненту для електромагнітного методу діагностування. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ, 2012. Вип. № 8 (179). Ч.1. С. 106-109.
120. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем / В.І.Василишин, С.В. Женжера, О.В.Чечуй, А.П. Глушко. – Х. : ХНУПС, 2018 – 268 с.
121. Глухов С.І. Використання електромагнітного методу діагностування цифрових типових елементів заміни безпосередньо на об'єкті експлуатації. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 39. С.35-45.
122. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення радіоелектронних засобів озброєння. Збірник наукових праць Військового інституту університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 42. С. 10-15.
123. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення військової техніки зв'язку. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного

університету України "Київський політехнічний інститут". Київ: Вид-во ВІТІ ДУТ, 2013. Вип. 1. С. 6-12.

124. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння та обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2016. №52. С. 12-19.

125. Глухов С.І. Прогнозування технічного стану радіоелектронної техніки на основі результатів форсованих випробувань з використанням методів фізичного діагностування. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2018. № 62. С. 28-34.

126. Ленков С.В., Жердєв М.К., Толоч І.В., Глухов С.І., Жиров Г.Б. Методика розробки діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2017. Вип. №4(52). С. 46-51.

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

128. Жердєв М.К., Глухов С.І., Нікіфоров М.М. Методика обробки діагностичної інформації для автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. Наука і техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1(34). С. 70-78.

129. Глухов С.І. Обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Новітні технології. Збірник наукових праць

приватного вищого навчального закладу “Університет новітніх технологій”. Київ, 2019. Вип. № 1(8). С. 151-157.

130. Глухов С.І. Побудова алгоритму розрахунку часу прогнозування технічного стану цифрових пристроїв радіоелектронної техніки при використанні методів фізичного діагностування. Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2019. Вип. №1(57). С. 69-76.

131. Жердев М.К. Кузавков В.В. Алгоритм аналізу фізичних процесів та діагностична модель транзистора в ключовому режимі// Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, вип. 1 (27), 2014 р.

132. Кузавков В. Застосування методів форсованих випробувань для отримання залежності діагностичного параметру від часу напрацювання цифрових радіоелектронних компонентів / Василь Кузавков, Євген Редзюк // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні : науково-технічний збірник. – 2014. – Вип. 2(28). – С. 84-88.

133. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В. Прогнозування залишкового ресурсу інформаційних систем з використанням інтелектуальної системи діагностування. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 3(55). С. 5-11.

134. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Сторчак К.П. Особливості використання фізичного діагностування при побудові інтелектуальної системи діагностики радіоелектронної техніки. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУТ, 2019. № 1(137). С. 8-13.

135. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.: ТОВ «Маклаут», 2008. – 444 с.

136. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B8_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5

[D0%BD%D0%B8%D0%B9#:~:text=%D0%A1%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%BA%D0%B8%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B%D1%8F%D1%82%D0%B8%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9%20\(%D0%A1%D0%9F%D0%9F%D0%A0,%D0%B8%20%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%B4%D0%B5%D1%8F%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8.](#)

137. Артюшин Л.М., Кононов О.А., Шморгун Ю.В., Базові умови прийняття рішення щодо створення автоматизованої системи управління груповим застосуванням безпілотних літальних апаратів. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К: НУОУ, 2019. - №2(35). – С. 49-54.

138. Артюшин Л.М., Чернишук С.В., Шляхи підвищення ефективності системи виявлення та оцінювання інформаційних загроз. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, №3(33), Київ, 2018, С. 99-106.

139. Артюшин Л.М., Бойченко О.С., Метод ефективної кластеризації мережі автоматизованої системи управління військами. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, №3(30), Київ, 2017, С. 26-31.

140. Viktor Chumakevych, Volodymyr Pohrebennyk, Oleg Mashkov, Jakub Takosoglu, Vadym Ptashnyk, Structure Optimization of Functionally Sustainable Electromechanical Systems, Przegląd Elektrotechniczny, Poland, doi:10.15199/48.2020.10.32, 2020, Nr.10, pp. 170-173.

141. Mashkov Oleg, Chumakevych Viktor, Sokulsky Oleg, Chyrun Liliay Features of determining controlling effects in functionally-stablesystems with the

recovery of a control Mathematical modeling and computing, Vol. 6, No. 1, pp. 80–86 (2019)

142. Барабаш О. В. Побудова нечіткої бази знань системи управління складною організаційно-технічною системою / О. В. Барабаш, В. А. Савченко, А. С. Слюняєв // *Авиационно-космическая техника и технология*. - 2010. - № 2. - С. 79–82.

143. Гринченко А. С. Статистическое моделирование и прогнозирование надежности при внезапных механических отказах / А. С. Гринченко, В. Б. Савченко, А. П. Юрьева // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. - 2015. - Вип. 163. - С. 23-30.

144. Локазюк В. М., Савченко Ю. Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: Посібник. - К.: Видавничий центр «Академія», 2004. - 376 с.

145. В. М. Локазюк. Інтелектуальні методи та засоби діагностування комп'ютерних систем // *Хмельницький національний університет Том 1, № 23 (2008)*

146. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D1%82%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D1%96%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82

147. Реактори і парогенератори енергоблоків АЕС: схеми, процеси, матеріали, конструкції, моделі : монографія / О. В. Єфімов [та ін.] ; ред. О. В. Єфімов ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків : НТУ "ХПІ", 2017. – 420 с.

148. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6

149. Карпенко, М.Ю. и Макогон, Н.В. Конспект лекцій з курсу комп'ютерні мережі // М. Ю. Карпенко, Н. В. Макогон; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 99 с.

150. <https://studfile.net/preview/5740125/>
151. Глухов С.І. Особливості отримання та обробки інформації з використанням методів фізичного діагностування в новій автоматизованій системі технічного діагностування. Військово-технічний збірник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, 2019. Вип. № 20. С. 8-13.
152. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Аналіз існуючих методів перевірочних тестів для цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу діагностування. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка: Всеукраїнська наук.-практ. конф., 24 квітня 2015 р.: тези доп.* Київ, 2015. С. 124.
153. Жердев М.К., Ленков С.В., Шкуліпа П.А. Обґрунтування можливості використання інформаційних технологій для розробки тестів діагностування радіоелектронних пристроїв електромагнітним методом // Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». – Харків, - 2013. - № 1(60). – С.40 – 46.
154. Савков П.А. Апаратно-програмний комплекс обладнання діагностики та аналізу схем, що побудовані на базі логічних елементів / П.А. Савков // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. – К.: ВПЦ “Київський ун-т”, 2000. – № 2. – С. 52-56.
155. Тоценко В.Г. Алгоритм технического диагностирования дискретных устройств / В.Г. Тоценко. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.
156. Макуильмс Ф.Д., Слоан Н.Д. Псевдослучайные последовательности и таблицы // ТИИЭР. – 1976. – Т. 64, № 12. – С. 80-95.
157. Stahnke W. Primitive binary polynomials // Math. Comput. – 1973. – Vol. 27. – P. 977–980.
158. Кудрицкий В.Д. Автоматизация контроля РЭА / В.Д. Кудрицкий. – Сов. Радио. – 1977. – 255 с.

159. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Oleksandr Maistrenko, Andrii Fedorov, Anatolii Andriienko, Oleksandr Koplik. The method of ADS-B receiver systems synchronization using MLAT technologies in the course of radar control of air environment. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Volume 8. No. 5, May 2020, p. 1946-1951

160. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Andrey Halosa, Viktor Hudyma, Andrii Zvonko, Iryna Yuzova. The Energodynamic Method of Diagnostics of Electronic Equipment Digital Devices. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 8, No.9, September 2020, p. 5681 – 5687.

161. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Viacheslav Podlipaiev, Vladislav Pavlii, Irina Khizhnyak, Iryna Yuzova. The multiscale image processing method from on-board earth remote sensing systems based on the artificial bee colony algorithm. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 9, No.3, May - June 2020, p. 2557-2562.

162. Igor Ruban, Hennadii Khudov, Vitaliy Lishchenko, Andrii Zvonko, Sergey Glukhov, Irina Khizhnyak, Volodymyr Maliuha, Yurii Polonskyi, Ruslan Kushpeta. The calculating effectiveness increasing of detecting air objects by combining surveillance radars into the coherent system. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Volume 8. No. 4, April 2020, p. 1295-1301.

163. Глухов С.І., Попов П.П. Аналіз сучасного стану розвитку системи технічного обслуговування і ремонту Збройних Сил України. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутнє: VII Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24-25 листопада 2011 р.: тези доп. Київ, 2011. С.34 – 35.

164. Глухов С.І., Шевченко В.В. Аналіз існуючих систем технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів озброєння у Збройних Силах України. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутнє: VIII Міжнародна наук.-практ. конф.*, 23 листопада 2012 р.: тези доп. Київ, 2012. С. 35.

165. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Шевченко В.В. Діагностування цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу знімання діагностичної інформації. *Новітні технології – для захисту у повітряному просторі*: ІХ наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба, 9-10 квітня 2013 р.: тези доп. Харків, 2013. С.304 – 305.

166. Глухов С.І., Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування. *Сучасні проблеми розбудови ЗСУ*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 26 квітня 2013 р.: тези доп. Київ, 2013. С. 114.

167. Глухов С.І. Обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при діагностуванні радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XII Міжнародна наук.-практ. конф., 25 листопада 2016 р.: тези доп. Київ, 2016. С. 34.

168. Глухов С.І. Методика вибору діагностичного параметру для інтелектуальної системи діагностування РЕТ. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 28 квітня 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С. 79 – 80.

169. Глухов С.І., Ришов Є.В. Методологія побудови інтелектуальної системи діагностування військової техніки зв'язку. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності*: наук.-практ. конф., 16 листопада 2017 р.: тези доп. Львів, 2017. С. 64.

170. Глухов С.І. Використання інтелектуальної системи для діагностування об'єктів радіоелектронних засобів озброєння України. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XIII Міжнародна наук.-практ. конф., 24 листопада 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С.30.

ДОДАТОК

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 21. С. 42-45. (Видання індексується Google Scholar).

2. Жердєв М.К., Глухов С.І., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 22. С. 20-30. (Видання індексується Google Scholar).

3. Ленков С.В., Жердєв М.К., Креденцер Б.П., Глухов С.І., Попов П.П. Побудова універсального ремонтного модуля для локалізації дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни з використанням електромагнітного методу діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2009. № 24. С. 52-57. (Видання індексується Google Scholar).

4. Глухов С.І., Жердєв М.К., Савков П.А., Попов П.П., Пистряк В.В. Техніко-економічний аналіз доцільності впровадження уніфікованого ремонтного модуля на основі електромагнітного методу діагностування у військових ремонтних органах. Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”.

К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2010. № 1. С. 24-27. (Видання індексується Google Scholar).

5. Глухов С.І., Попов П.П., Жердева О.В. Удосконалений електромагнітний метод визначення працездатності цифрових типових елементів заміни. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». К.: ВІТІ НТУУ «КПІ», 2011. Вип. № 1. С.48-53. (Видання індексується Google Scholar).

6. Глухов С.І., Буяло О.В., Гахович С.В., Жиров Г.Б. Математична модель процесів відмов електромеханічних складових частин сучасних складних радіоелектронних систем. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2012. № 38. С. 14-19. (Видання індексується Google Scholar).

7. Глухов С.І., Жердев М.К., Сакович Л.М., Шевченко В.В. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту техніки зв'язку при використанні електромагнітного методу діагностування. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУІКТ. 2012. № 4(100). С. 40-43. (Видання індексується Google Scholar).

8. Глухов С.І. Використання електромагнітного методу діагностування цифрових типових елементів заміни безпосередньо на об'єкті експлуатації. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 39. С.35-45. (Видання індексується Google Scholar).

9. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення радіоелектронних засобів озброєння. Збірник наукових праць Військового інституту університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. № 42. С. 10-15. (Видання індексується Google Scholar).

10. Глухов С.І. Методичні рекомендації з розробки діагностичного забезпечення військової техніки зв'язку. Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації Національного технічного

університету України "Київський політехнічний інститут". Київ: Вид-во ВІПІ ДУТ, 2013. Вип. 1. С. 6-12. (Видання індексується Google Scholar).

11. Глухов С.І., Зайцев О.В., Савченко Т.В. Модель інтеграції даних від різних інформаційних джерел на основі теорії свідочств. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2013. Вип. № 43. С. 142-145. (Видання індексується Google Scholar).

12. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння та обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2016. №52. С. 12-19. (Видання індексується Google Scholar).

13. Глухов С.І. Прогнозування технічного стану радіоелектронної техніки на основі результатів форсованих випробувань з використанням методів фізичного діагностування. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2018. № 62. С. 28-34. (Видання індексується Google Scholar).

14. Глухов С.І. Методика діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань на надійність радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2019. № 63. С. 12-19. (Видання індексується Google Scholar).

*Статті у наукових фахових виданнях України,
які входять до міжнародних наукометричних баз даних:*

15. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Ленков С.В. Перевірка адекватності діагностичної моделі радіоелектронного компоненту для електромагнітного

методу діагностування. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Луганськ, 2012. Вип. № 8 (179). Ч.1. С. 106-109. (Журнал включено до Міжнародної наукометричної бази даних Index Copernicus International (ICV 2018: 59.34). Видання індексується Google Scholar).

16. Ленков С.В., Жердєв М.К., Толоч І.В., Глухов С.І., Жиров Г.Б. Методика розробки діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2017. Вип. №4(52). С. 46-51. (Журнал включено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

17. Жердєв М.К., Селюков О.В., Глухов С.І., Гахович С.В., Нікіфоров М.М. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2018. Вип. № 2(54). С. 23-30. (Журнал включено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

18. Жердєв М.К., Глухов С.І., Нікіфоров М.М. Методика обробки діагностичної інформації для автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. Наука і техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1(34). С. 70-78. (Журнал включено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 92.41), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

19. Глухов С.І. Методика обробки діагностичної інформації на основі методів фізичного діагностування та результатів форсованих випробувань

радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Збірник наукових праць. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2019. Вип. № 1 (59). С. 81-86. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 86.84), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

20. Глухов С.І. Обґрунтування вибору інтервалу прогнозування при використанні методів фізичного діагностування для цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Новітні технології. Збірник наукових праць приватного вищого навчального закладу “Університет новітніх технологій”. Київ, 2019. Вип. № 1(8). С. 151-157. (Видання індексується міжнародними наукометричними базами Index Copernicus (Польща, ICV 2016 = 48.53), Scientific Indexing Services (SIS).

21. Глухов С.І. Побудова алгоритму розрахунку часу прогнозування технічного стану цифрових пристроїв радіоелектронної техніки при використанні методів фізичного діагностування. Системи озброєння і військова техніка. Харків, 2019. Вип. №1(57). С. 69-76. Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

22. Глухов С.І. Особливості отримання та обробки інформації з використанням методів фізичного діагностування в новій автоматизованій системі технічного діагностування. Військово-технічний збірник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, 2019. Вип. № 20. С. 8-13. (Видання індексується Google Scholar).

23. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Сторчак К.П. Особливості використання фізичного діагностування при побудові інтелектуальної системи діагностики радіоелектронної техніки. Загальногалузевий науково-виробничий журнал «Зв'язок». К.: ДУТ, 2019. № 1(137). С. 8-13. (Видання індексується Google Scholar).

24. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В. Прогнозування залишкового ресурсу інформаційних систем з використанням інтелектуальної системи діагностування. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 3(55). С. 5-11. (Видання індексується Google Scholar).

25. Глухов С.І., Толубко В.Б., Вишнівський В.В., Березовська Ю.В. Математичні моделі та алгоритм обробки діагностичної інформації для побудови інтелектуальної системи діагностування радіоелектронної техніки. Наукові записки УНДІЗ. К.: ДУТ, 2019. № 4(56). С. 5-13. (Видання індексується Google Scholar).

26. Глухов С.І., Сакович Л.М., Яковлев М. Ю., Гальоса А.О. Розробка та техніко-економічне обґрунтування автоматизованої системи технічної діагностики радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування. Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. Х.: НАНГУ, 2020. № 1(35). С. 30-40. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus, індексується Google Scholar).

27. Глухов С.І., Сакович Л.М., Бабій О.С., Гальоса А.О. Методика фізичного діагностування цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Системи озброєння і військова техніка. Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба. Харків, 2020. Вип. № 2 (62). С. 93-101. (Журнал включено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus(ICV 2018 = 83.86), міжнародний каталог журналів відкритого доступу DOAJ, довідник періодичних видань Ulrich's Periodicals Directory (USA)).

28. Igor Ruban, Hennadii Khudov, Vitaliy Lishchenko, Andrii Zvonko, Sergey Glukhov, Irina Khizhnyak, Volodymyr Maliuha, Yurii Polonskyi, Ruslan Kushpeta. The calculating effectiveness increasing of detecting air objects by combining surveillance radars into the coherent system. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8. No. 4, April 2020, p. 1295-1301. (Індексується в SCOPUS).

29. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Oleksandr Maistrenko, Andrii Fedorov, Anatolii Andriienko, Oleksandr Koplik. The method of ADS-B receiver

systems synchronization using MLAT technologies in the course of radar control of air environment. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Volume 8. No. 5, May 2020, p. 1946-1951 (Індексується в SCOPUS).

30. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Viacheslav Podlipaiev, Vladislav Pavlii, Irina Khizhnyak, Iryna Yuzova. The multiscale image processing method from on-board earth remote sensing systems based on the artificial bee colony algorithm. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 9, No.3, May - June 2020, p. 2557-2562. (Індексується в SCOPUS).

31. Hennadii Khudov, Sergey Glukhov, Andrey Halosa, Viktor Hudyma, Andrii Zvonko, Iryna Yuzova. The Energodynamic Method of Diagnostics of Electronic Equipment Digital Devices. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. Volume 8, No.9, September 2020, p. 5681 – 5687. (Індексується в SCOPUS).

Тези наукових доповідей:

1. Глухов С.І., Жердєв М.К., Крихта В.В., Жиров Б.Г., Ряба Л.О. Локалізація дефектних цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу і умовного алгоритму діагностування у військових ремонтних органах. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: V Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24 квітня 2009 р.: тези доп. Київ, 2009. С.12.

2. Глухов С.І., Попов П.П. Аналіз сучасного стану розвитку системи технічного обслуговування і ремонту Збройних Сил України. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє: VII Міжнародна наук.-практ. конф.*, 24-25 листопада 2011 р.: тези доп. Київ, 2011. С.34 – 35.

3. Глухов С.І., Жердєв М.К., Сакович Л.М., Попов П.П. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компоненту типового елемента заміни при використанні електромагнітного методу діагностування. *Інформаційні*

технології у військовій сфері: матеріали науково-практичного семінару. – Київ, 2012. Вип. № 7. С.27-35.

4. Глухов С.І., Шевченко В.В. Аналіз існуючих систем технічного обслуговування і ремонту радіоелектронних засобів озброєння у Збройних Силах України. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: VIII Міжнародна наук.-практ. конф., 23 листопада 2012 р.: тези доп. Київ, 2012. С. 35.

5. Глухов С.І., Шкуліпа П.А., Шевченко В.В. Діагностування цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу знімання діагностичної інформації. *Новітні технології – для захисту у повітряному просторі*: IX наук. конф. Харківського університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба, 9-10 квітня 2013 р.: тези доп. Харків, 2013. С.304 – 305.

6. Глухов С.І., Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу діагностування. *Сучасні проблеми розбудови ЗСУ*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 26 квітня 2013 р.: тези доп. Київ, 2013. С. 114.

7. Глухов С.І., Шевченко В.В., Савран О.В. Удосконалення методу діагностування цифрових ТЕЗ на основі електромагнітного методу. *Актуальні завдання гуманітарного, фінансово-економічного, правового, матеріально-технічного та лінгвістичного забезпечення підрозділів та частин*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 25 квітня 2014 р.: тези доп. Київ, 2014. С.72.

8. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Аналіз існуючих методів перевірочних тестів для цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння з використанням електромагнітного методу діагностування. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка*: Всеукраїнська наук.-практ. конф., 24 квітня 2015 р.: тези доп. Київ, 2015. С. 124.

9. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Визначення технічного стану цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного способу діагностування. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XI Міжнародна наук.-практ. конф., 27 листопада 2015 р.: тези доп. Київ, 2015. С. 86.

10. Глухов С.І. Обґрунтування необхідності використання інформаційних технологій при діагностуванні радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XII Міжнародна наук.-практ. конф., 25 листопада 2016 р.: тези доп. Київ, 2016. С. 34.

11. Глухов С.І. Методика вибору діагностичного параметру для інтелектуальної системи діагностування РЕТ. *Молодіжна військова наука у КНУ імені Тараса Шевченка*: Всеукраїнська наук.-практ. конф. молодих вчених, ад'юнктів, слухачів, курсантів і студентів, 28 квітня 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С. 79 – 80.

12. Глухов С.І., Рижов Є.В. Методологія побудови інтелектуальної системи діагностування військової техніки зв'язку. *Застосування Сухопутних військ Збройних Сил України у конфліктах сучасності*: наук.-практ. конф., 16 листопада 2017 р.: тези доп. Львів, 2017. С. 64.

13. Глухов С.І. Використання інтелектуальної системи для діагностування об'єктів радіоелектронних засобів озброєння України. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня*: XIII Міжнародна наук.-практ. конф., 24 листопада 2017 р.: тези доп. Київ, 2017. С.30.

14. Глухов С.І., Романенко В.П. Використання інформаційних технологій у процесі діагностування радіоелектронної техніки. *Теорія та практика створення, розвитку і застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції*: XXII Всеукраїнська наук.-практ. конф., 26-27 квітня 2018 р.: тези доп. Житомир, 2018. С.195 – 196.

15. Глухов С.І., Рижов Є.В. Застосування інформаційних технологій під час діагностування радіоелектронної техніки. *Перспективи розвитку*

озброєння та військової техніки Сухопутних військ: наук.-техн. конф., 17-18 травня 2018 р.: тези доп. Львів, 2018. С. 193 – 194.

16. Глухов С.І., Романенко В.П. Методика діагностування та прогнозування технічного стану об'єктів радіоелектронної техніки при використанні автоматизованої системи технічного діагностування. *Сучасні інформаційні технології та кібербезпека*: наук.-практ. конф., 15-16 листопада 2018 р.: тези доп. Київ, 2018. С. 161-164.

17. Глухов С.І., Савран В.О. Пристрій інтелектуалізації автоматичного контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових пристроях з використанням енергетичних методів діагностування. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XIV Міжнародна наук.-практ. конф., 22 листопада 2018 р.: тези доп. Київ, 2018. С. 32.

18. Глухов С.І., Рижов Є.В. Особливості використання методів фізичного діагностування при побудові автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ*: наук.-техн. конф., 16-17 травня 2019 р.: тези доп. Львів, 2019. С. 218.

19. Глухов С.І., В.П. Романенко. Застосування інтелектуальної системи в автоматизованій системі технічної діагностики радіоелектронної техніки. Матеріали науково-практичної конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, м. Київ, 19-20 листопада 2019 року. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 157.

20. Глухов С.І. Використання інтелектуальної системи для діагностування радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогодні та майбутнє*: XV Міжнародна наук.-практ. конф., 29 листопада 2019 р.: тези доп. Київ, 2019. С. 35.

21. Глухов С.І., Гальоса А.О. Шляхи підвищення надійності радіоелектронної техніки на основі фізичного діагностування з використанням інтелектуальної системи діагностики. *Спільні дії військових*

формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи, 10-11 вересня 2020 р.: тези доп. Одеса, 2020. С. 40 – 41.

22. Глухов С.І., Гальоса А.О., Сакович Л.М. Удосконалення діагностичного забезпечення радіоелектронної техніки та техніки спеціального зв'язку на основі фізичного діагностування з використанням інтелектуальної системи діагностики. Матеріали науково-практичної конференції “Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання”, м. Київ, 18-19 листопада 2020 р. К.: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С. 191–192.

23. Глухов С.І., Гальоса А.О. Обґрунтування застосування інтелектуальної системи діагностики при використанні фізичного діагностування для радіоелектронної техніки. *Військова освіта і наука: сьогоднішня та майбутня: XVI Міжнародна наук.-практ. конф.*, 27 листопада 2020 р.: тези доп. Київ, 2020. С. 21.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Жердєв М.К., Сакович Л.М., Глухов С.І., Попов П.П. Діагностична модель цифрового радіоелектронного компонента техніки спеціального зв'язку. *ДССЗЗІ Information Technology and Security*. Київ, 2012. Вип. №1(1). С. 62-69. (Журнал ключено до міжнародної бази даних наукових журналів Index Copernicus, індексується Google Scholar).

2. Могилевич Д.І., Правило В.В., Явісія В.С., Глухов С.І., Семеха С.М. Застосування технології МІМО при побудові базових станцій систем мобільного зв'язку. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2012. № 36. – С. 128-131. (Видання індексується Google Scholar).

3. Жердєв М.К., Шкуліпа П.А., Жиров Г.Б., Глухов С.І. Розробка діагностичної моделі транзистора для режиму відсічки при використанні енергодинамічного методу діагностування. Збірник Одеської державної

академії технічного регулювання та якості. Одеса, 2012. № 1.С. 61-64. (Видання індексується у наукометричних базах даних: Index Copernicus (індексований в списку наукових журналів ICI Journals Master List 2018), Scientific Indexing Services (SIS) та Google Scholar).

4. Горшколєпов В.Б., Бурбело Р.М., Ісаєв М.В., Андрусенко Д.А., Ліщук П.О., Глухов С.І. Дослідження теплофізичних властивостей у композитах на основі поруватого кремнію фотоакустичними методами. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2015. № 47. С. 10-14. (Видання індексується Google Scholar).

5. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Шевченко В.В. Методика діагностування сучасних цифрових пристроїв на основі електромагнітного методу. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВІКНУ, 2015. № 49. С. 30-33. (Видання індексується Google Scholar).

6. Глухов С.І., Жердєв М.К., Кузавков В.І. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Вип. № 49. С. 40-48. (Видання індексується Google Scholar).

7. Глухов С.І., Вишнівський В.В., Охрамович М.М., Шевченко В.В. Використання універсального ремонтного модуля для діагностування цифрових типових елементів заміни за допомогою електромагнітного методу на рівні експлуатації об'єкта. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К., 2015. № 50. С. 14-17. (Видання індексується Google Scholar).

1. Електромагнітний спосіб локалізації несправних радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроях: пат. 77934 Україна. МПК G05B 23/00, H01F 41/00. № 201300795; заявл. 23.01.2013; опубл. 25.02.2013, Бюл. №4.

2. Електромагнітний спосіб локалізації непрацездатних радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроїв в частотній області: пат. 105269 Україна. МПК H02H 9/02 (2006.01), G01R 33/00. № u201509031; заявл. 21.09.2015; опубл. 10.03.2016, Бюл. №5.

3. Пристрій контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових радіоелектронних пристроях з використанням часових і амплітудних параметрів електромагнітного процесу при перехідному процесі в шині живлення: пат. 106889 Україна. МПК G05B 23/00. № u201511216, заявл. 16.11.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. №9.

4. Комбінований енергодинамічний спосіб контролю технічного стану радіоелектронних пристроїв в частотній області та вихідним реакціям: пат. 119792 Україна. МПК H05K 13/00, G05B 23/00. № u201703441, заявл. 10.04.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. № 19.

5. Пристрій інтелектуалізації вибору способу контролю працездатності та локалізації дефектів в сучасних цифрових радіоелектронних пристроях: пат. 131576 Україна. МПК G05B 23/00. № u201807042; заявл. 23.06.18; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.

6. Спосіб постановки перешкод радіолокаційним станціям та головкам самонаведення ракет: пат. № 104677 Україна. МПК B4. №u201508313; заяв. 21.12.2015, опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3.

7. Радіолокаційна станція спостереження траєкторій балістичних об'єктів при використанні режиму перебудови частоти від імпульсу до імпульсу за випадковим законом: пат. № 122886 Україна. МПК F41G 3/08. №u201709123; заяв. 15.09.2017, опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

Додаток А

Акт впровадження результатів

Заступник директора Державного підприємства “Науково-дослідний інститут “Квант” з наукової роботи, кандидат технічних наук



В.Д. СТЕФАНОВИЧ
2019 р.

Акт

**впровадження результатів наукових досліджень
Глухова Сергія Івановича**

Комісія у складі: голови комісії – начальника НДВ1 – начальника відділу 33, головного конструктора ДКР шифр “Термінал” Петруша О.О., та членів комісії: заступника начальника НДВ1 Волошина О.В., заступника начальника дослідного виробництва Карпенко О.В. встановила, що результати наукових досліджень, розроблені особисто Глуховим Сергієм Івановичем, при проведенні дослідно конструкторської роботи з розробки та виготовлення зразку терміналу заправки, шифр “Термінал”, що виконувалась відповідно до річного плану наукової і науково-технічної діяльності ДП “НДІ Квант” на 2018 рік, дозволяють обґрунтовано підходити до вирішення питань проведення обробки діагностичної інформації цифрових пристроїв радіоелектронної техніки, зменшити середній час діагностування на 15-20% та збільшити коефіцієнт готовності складових частин на 10-15%.

Елементи запропонованого науково-методичного апарату – методології побудови системи технічного діагностування на основі інформаційних технологій використовувалися для розробки пристроїв діагностування зразків радіоелектронної техніки сучасними методами, обробки діагностичної інформації, локалізації дефектних радіоелектронних компонентів цифрових пристроїв та прогнозування їх стану.

Голова комісії:


Начальник НДВ1 – начальник відділу 33,
головний конструктор ДКР шифр
“Термінал”

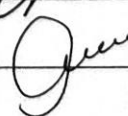
Члени комісії:

Заступник начальника НДВ1

Заступник начальника дослідного
виробництва, кандидат технічних наук


О.О. ПЕТРУША


О.В. ВОЛОШИН


О.В. КАРПЕНКО

Акт
впровадження результатів наукових досліджень
Глухова Сергія Івановича

Комісія у складі: Голова - к.т.н., доцент, лауреат державної премії технічний директор - головний конструктор ТОВ НВФ «АДРОН» Туренко С.М.

Члени: к.т.н., доцент, лауреат державної премії начальник науково-дослідного відділу ТОВ НВФ «АДРОН» Кравчук І.С.
 провідний конструктор ТОВ НВФ «АДРОН» Скляр В. Г.

встановила, що результати наукових досліджень, особисто отримані Глуховим Сергієм Івановичем, використані при проведенні ДКР «Модернізація системи викиду хибних цілей» (шифр «Безпека-27»), дозволяють проводити діагностування та прогнозування технічного стану цифрових пристроїв блоків об'єктів радіоелектронної техніки.

Елементи запропонованого науково-методичного апарату, а саме методів фізичного діагностування, моделей обробки діагностичної інформації та методики визначення технічного стану цифрових пристроїв використовувалися при розробці засобів діагностування цифрових пристроїв та обробки діагностичної інформації для побудови автоматизованої системи технічного діагностування.

Запропоноване автором комплексне використання енергодинамічного, енергостатичного, електромагнітного методів діагностування, результатів прискорених випробувань радіоелектронних компонентів на надійність та моделей обробки діагностичної інформації дозволяють з вірогідністю від 0,95 до 0,99995 визначати технічний стан цифрових пристроїв, проводити його прогнозування та визначати залишковий ресурс.

Реалізація зазначених рішень, запропонованих Глуховим Сергієм Івановичем, дозволяє збільшити середній час наробітку на відмову, зменшити середній час відновлення та збільшити коефіцієнт готовності блоків об'єктів радіоелектронної техніки на 9-12%.

Голова комісії:  С. Туренко

Член комісії:  І. Кравчук

 В. Скляр



28.04.2020р.

ЗАТВЕРЖУЮ

Директор Державного науково-дослідного
інституту хімічних продуктів

В.В. ЩЕРБАНЬ

2019 р.



Акт

**впровадження результатів наукових досліджень
Глухова Сергія Івановича**

Комісія у складі:

Голова комісії:

В.о. Головного інженера

В.П. Батурин

Члени комісії:

Начальник лабораторії полігонних випробувань

С.М. Титович

Начальник лабораторії АСУТП

В.М. Косюк

встановила, що результати наукових досліджень, розроблені особисто Глуховим Сергієм Івановичем при проведенні робіт з модернізації дослідних комплексів по оцінці зовнішньо балістичних характеристик виробів дозволяють обґрунтовано підходити до вирішення питань діагностування та прогнозування технічного стану цифрових пристроїв блоків радіоелектронної техніки. Запропоноване комплексне використання методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань радіоелектронних компонентів на надійність було використано при проведенні діагностування цифрових пристроїв, локалізації несправних радіоелектронних компонентів, прогнозуванні технічного стану та визначенні остаточного ресурсу безвідмовної роботи. Це дозволило зменшити середній час діагностування на 15-20% та збільшити коефіцієнт готовності блоків об'єктів радіоелектронної техніки на 10-15%.

Елементи запропонованого науково-методичного апарату - методології побудови автоматизованої системи технічного діагностування на основі методів фізичного діагностування використовувалися при розробці модулів діагностування цифрових пристроїв, а також центрів обробки діагностичної інформації, як елементів нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки.

Голова комісії:

В.о. Головного інженера

В.П. Батурин

Члени комісії:

Начальник лабораторії полігонних випробувань

С.М. Титович

Начальник лабораторії АСУТП

В.М. Косюк

Додаток Б

Патенти





УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 122886

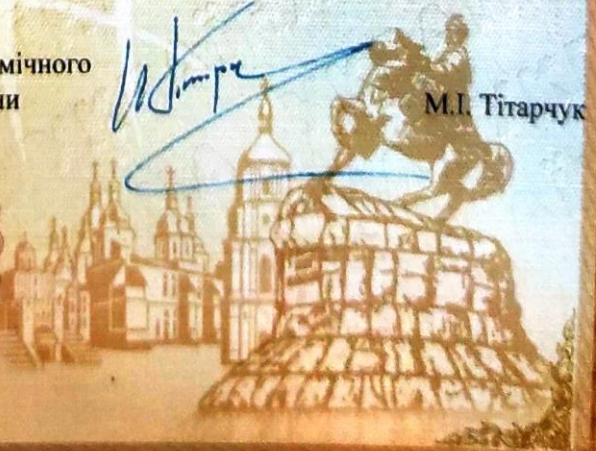
**РАДІОЛОКАЦІЙНА СТАНЦІЯ СПОСТЕРЕЖЕННЯ
ТРАЄКТОРІЙ БАЛІСТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ПРИ
ВИКОРИСТАННІ РЕЖИМУ ПЕРЕБУДОВИ ЧАСТОТИ ВІД
ІМПУЛЬСУ ДО ІМПУЛЬСУ ЗА ВИПАДКОВИМ ЗАКОНОМ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.01.2018.

Заступник міністра економічного розвитку і торгівлі України


М.І. Тітарчук



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 131576

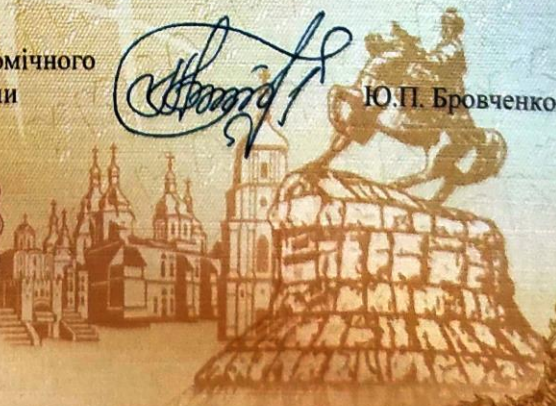
**ПРИСТРІЙ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ АВТОМАТИЧНОГО
КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА ЛОКАЛІЗАЦІЇ ДЕФЕКТІВ
В СУЧАСНИХ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЯХ З
ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕТОДІВ
ДІАГНОСТУВАННЯ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.01.2019.

Заступник Міністра економічного розвитку і торгівлі України

Ю.П. Бровченко







УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
№ 105269

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ СПОСІБ ЛОКАЛІЗАЦІЇ
НЕПРАЦЕЗДАТНИХ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ
РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ В ЧАСТОТНІЙ ОБЛАСТІ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.03.2016.

В.о. Голови Державної служби
інтелектуальної власності України

А.А.Малиш



УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 104677

СПОСІБ ПОСТАНОВКИ ПЕРЕШКОД РАДІОЛОКАЦІЙНИМ
СТАНЦІЯМ ТА ГОЛОВКАМ САМОНАВЕДЕННЯ РАКЕТ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.02.2016.

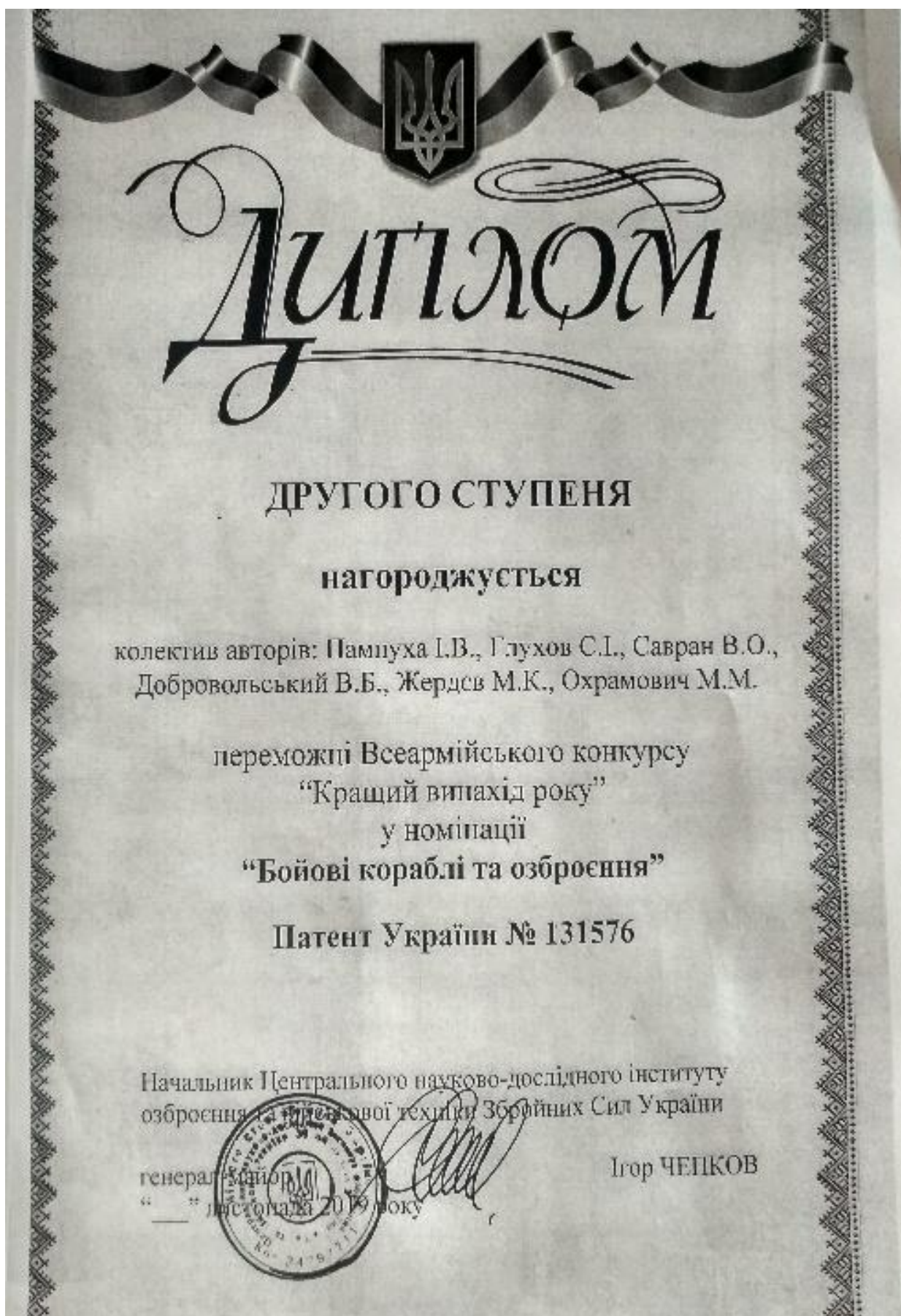
Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова



Додаток В

Дипломи





Додаток Г

Код програми

```
library(h2o)
h2o.init()
file_path <- path/to/file/with/train/data
data_frame_with_data <- h2o.importFile(file_path)

y <- "predictant"
x <- setdiff(names(data_frame_with_data), y)

aml <- h2o.automl(y = y, x = x,
                training_frame = data_frame_with_data,
                max_models = 10,
                seed = 1)

lb <- aml@leaderboard
print(lb)

h2o.saveModel(aml@leader, path = "./path/to/new/file/with/model_bin")
h2o.download_mojo(aml@leader, path = "./path/to/new/file/with/model_bin")

data_from_object <- h2o.importFile("path/to/file/with/data/from/object")

prediction_result <- h2o.predict(aml, test)
```