

ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ТИПОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАМІНИ БЕЗПОСЕРЕДНЬО НА ОБ'ЄКТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті пропонується рішення науково-технічної задачі діагностування цифрових типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння на рівні їх експлуатації з використанням методу, що ґрунтується на безконтактному зйомі діагностичної інформації.

Ключові слова: військові ремонтні органи, електромагнітний метод діагностування, цифрові типові елементи заміни, радіоелектронні компоненти.

В статье предлагается решение научно-технической задачи диагностирования цифровых типовых элементов замены радиоэлектронных средств вооружения на уровне их эксплуатации с использованием метода, основанного на бесконтактном съеме диагностической информации.

Ключевые слова: военные ремонтные органы, электромагнитный метод диагностирования, цифровые типовые элементы замены, радиоэлектронные компоненты.

In the article solution of scientific and technical task of diagnosing of digital model elements of replacement of radio electronic facilities of armament is offered at the level of their exploitation with the use of method, based on the noncontact output of diagnostic information.

Keywords: war and reconstruction agencies, the electromagnetic method of diagnosis, digital line replaceable, radio-electronic components.

Вступ. Існуюча система технічного обслуговування і ремонту (СТОіР) радіоелектронних засобів озброєння (РЕЗО), а також система технічної діагностики, як її складова частина, лише частково задовольняють вимогам, які висуваються до неї. Наявність трьох рівнів (експлуатації, військових ремонтних органів і ремонтних підприємств) існуючої СТОіР РЕЗО Збройних Сил України, які територіально віддалені на сотні кілометрів, є причиною збільшення середнього часу відновлення цифрових пристроїв радіоелектронної техніки, і як наслідок, зменшення її коефіцієнта готовності [1,2].

Основна частина. Відповідно до структури існуючої СТОіР, приведеної на рис.1, на першому рівні - рівні експлуатації РЕЗО використовуються вбудовані системи контролю (ВСК), які дозволяють при проведенні контролю функціонування або одного з видів технічного обслуговування швидко локалізувати групу підозрюваних несправності типових елементів заміни (ТЕЗ), до складу якої входять як працездатні, так і непрацездатні. Надалі відновлення РЕЗО здійснюється шляхом заміни всієї групи ТЕЗ на відомо працездатні з ЗІП, тобто агрегатним способом [1,2]. ВСК РЕЗО дозволяють проводити діагностування з глибиною до групи з 15...20 ТЕЗ, а більш сучасні системи контролю – з глибиною до групи з 2...15 ТЕЗ.

Зростання середнього часу відновлення об'єкта РЕЗО призводить до зниження його коефіцієнта готовності [1] (K_r)

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_b},$$

де T_o – середній наробіток на відмову,

T_b – середній час відновлення.

$$T_b = P_d(X_o)(T_{до} + T_3) + [1 - P_d(X_o)](T_{дс} + T_3),$$

де $P_d(X_o)$ – імовірність достатності одиночного ЗІП, $T_{дс}$ – середній час доставки ЗІП ТЕЗ зі складу, $T_{до}$ – середній час доставки ТЕЗ з ЗІП-О, T_3 – середній час заміни.

За умови, що $T_{дс} \gg T_{до}$.

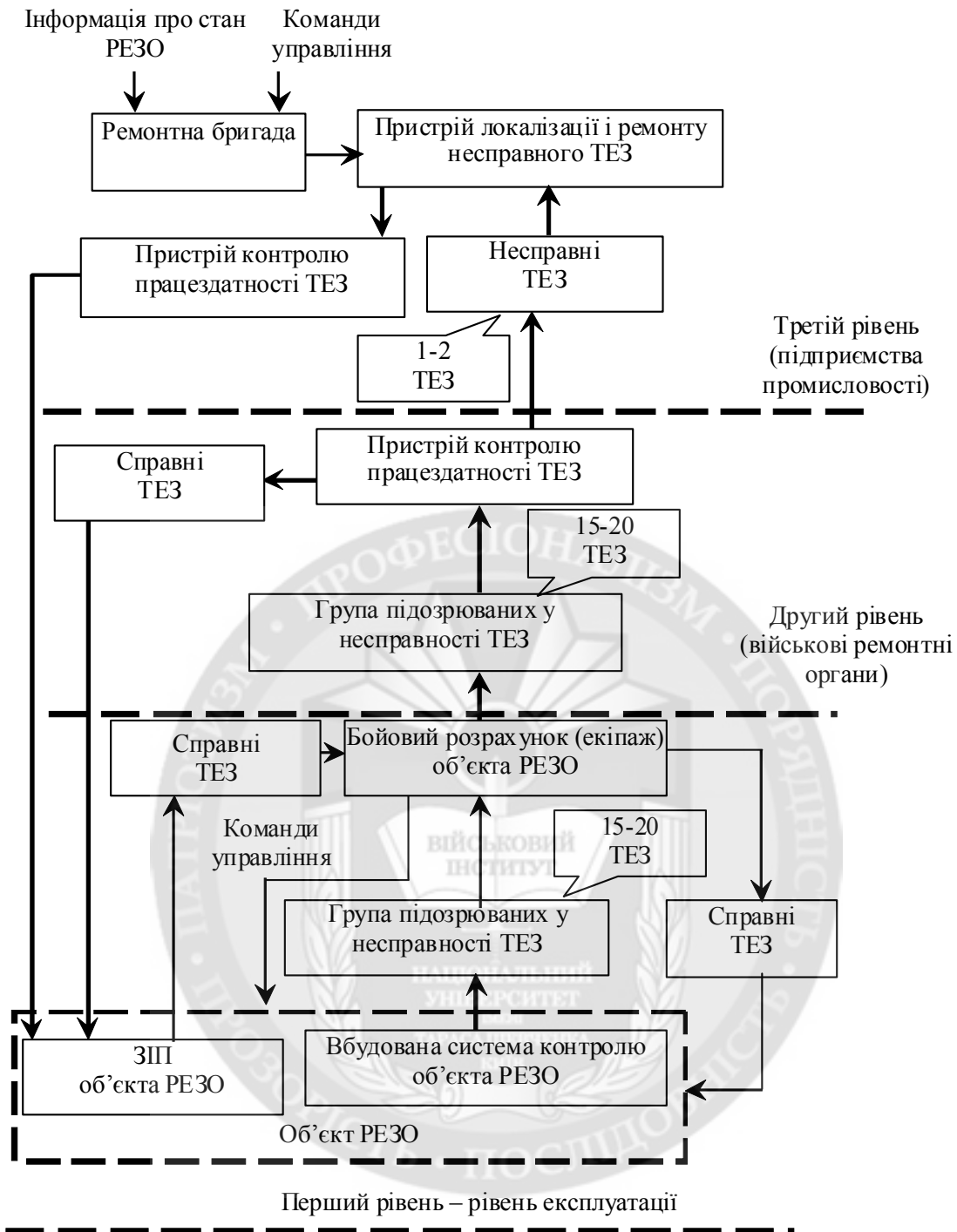


Рис. 1. Структура існуючої системи технічного обслуговування і ремонту РЕЗО

Під імовірністю достатності одиночного ЗПП $P_d(X_0)$ розуміється імовірність того, що протягом заданого періоду поповнення ЗПП при виникненні відмови об'єкта необхідний запасний ТЕЗ знаходиться в ЗПП об'єкта X_0 , де $X_0 = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_k\}$ – вектор, у якому x_i – число наявних у ЗПП об'єкта ТЕЗ i -го типу ($i = 1, 2, \dots, k$) [19].

Імовірність достатності i -го типу ТЕЗ в ЗПП визначається [1]:

$$P_{\tilde{a}}(\tilde{O}_i) = \tilde{a}^{-\tilde{a}_i} \sum_{k=0}^{x_i} \frac{\tilde{a}_i^k}{k!},$$

де \tilde{a}_i – середня кількість відмов цифрових ТЕЗ i -го типу за час t .

На другому рівні даної системи, у військових ремонтних органах (ВРО), проводиться селекція підозрюваних у несправності ТЕЗ на справні й несправні. Справні повертаються назад на об'єкт – рівень експлуатації та поповнюють комплект одиночного ЗІП, а несправні, як правило, це (1–2) ТЕЗ відправляються для проведення ремонту на третій рівень СТОіР (ремонтні підприємства), який знаходиться на значному віддаленні від другого. З цієї причини час доставки несправних ТЕЗ у ремонтні підприємства, як складова середнього часу відновлення, має значний показник. У результаті таких нераціональних переміщень зменшується імовірність достатності укомплектованості ЗІП, збільшується вартість і середній час відновлення цифрових об'єктів РЕЗО.

На третьому рівні (на підприємствах промисловості) здійснюється відновлення працездатності ТЕЗ. За допомогою відповідної апаратури відбувається локалізація несправних радіоелектронних компонентів (РЕК), заміна і контроль працездатності відремонтованого ТЕЗ, після чого він повертається для поповнення ЗІП об'єкта.

Ситуація останніх років характеризується тим, що проведення ремонту РЕЗО третього та четвертого поколінь при існуючих термінах служби у ВРО утруднено. Використання застарілих методів і засобів діагностування, недосконалість існуючих робіт, що не забезпечують задану якість і своєчасність при проведенні діагностування, стають неадаптованими для нових зразків РЕЗО. Непристосованість нормативно - технічної документації виробів до задач технічного діагностування, низький рівень професійної підготовки особового складу строкової служби, термін якої становить 9–12 місяців, ускладнює можливість проведення технічного діагностування цифрових пристроїв РЕЗО згідно з висунутими вимогами. Крім того, реалізація можливостей ВРО утруднена економічними причинами, наслідками якої є відсутність постачання експлуатаційно-витратних матеріалів у належному обсязі, низька адаптивність, невідповідність вимогам щодо підтримання експлуатаційної надійності сучасних РЕЗО, недостатня укомплектованість сучасними засобами діагностики й ремонту та недосконалість існуючих, низька кваліфікація ремонтного персоналу. Все це є причиною недостатньої ефективності в роботі ВРО [3,4].

Таким чином, у сучасних умовах недостатнього фінансування склалося протиріччя між жорсткими вимогами до основних показників надійності РЕЗО [5-7] та багатьма вищеописаними недоліками ВРО. З цієї причини виникає необхідність розробки та використання відносно недорогих і, на відміну від існуючих, більш ефективних нових методів і засобів діагностування РЕЗО.

Для діагностування широкого класу радіотехнічних систем існує багато відомих методів і пристроїв діагностування, в яких зняття діагностичної інформації проводиться з використанням вихідних контактів схем із застосуванням пробника [8-13]. На основі порівняння вихідних сигналів ТЕЗ, який перевіряється, і еталонного, робиться висновок про його технічний стан. Вихідні ланцюги обох ТЕЗ підключаються за допомогою контактних зондів, які мають омичний і ємнісний контакти. При використанні зонду з омичним контактом порушується технологічне покриття елементів ТЕЗ, який перевіряється. При застосуванні ємнісного контакту при малій відстані між виходами інтегральних мікросхем (ІМС) і їх великій кількості ускладнюється процес перевірки, що ІМС призводить до збільшення середнього часу діагностування як складової середнього часу відновлення. Наприклад, для перевірки технічного стану одного цифрового ТЕЗ (при підключенні до кожної ІМС й опитуванні за визначеним алгоритмом одного і того ж чутливого елемента), який містить у своєму складі 40 ІМС, витрачається 25–70 хвилин [8-10]. Для покращення основних показників надійності (зменшення середнього часу відновлення, збільшення коефіцієнту готовності та імовірності достатності укомплектованості ЗІП), в сучасних складних економічних умовах в роботі [14] було запропоновано використання енергостатичного методу (узагальненої контрольної точки) для визначення дійсно несправного ТЕЗ з групи підозрюваних із використанням універсального ремонтного модуля (УРМ) вже на першому рівні СТОіР – рівні експлуатації РЕЗО. Структурна схема УРМ-1 наведена на рис. 2.

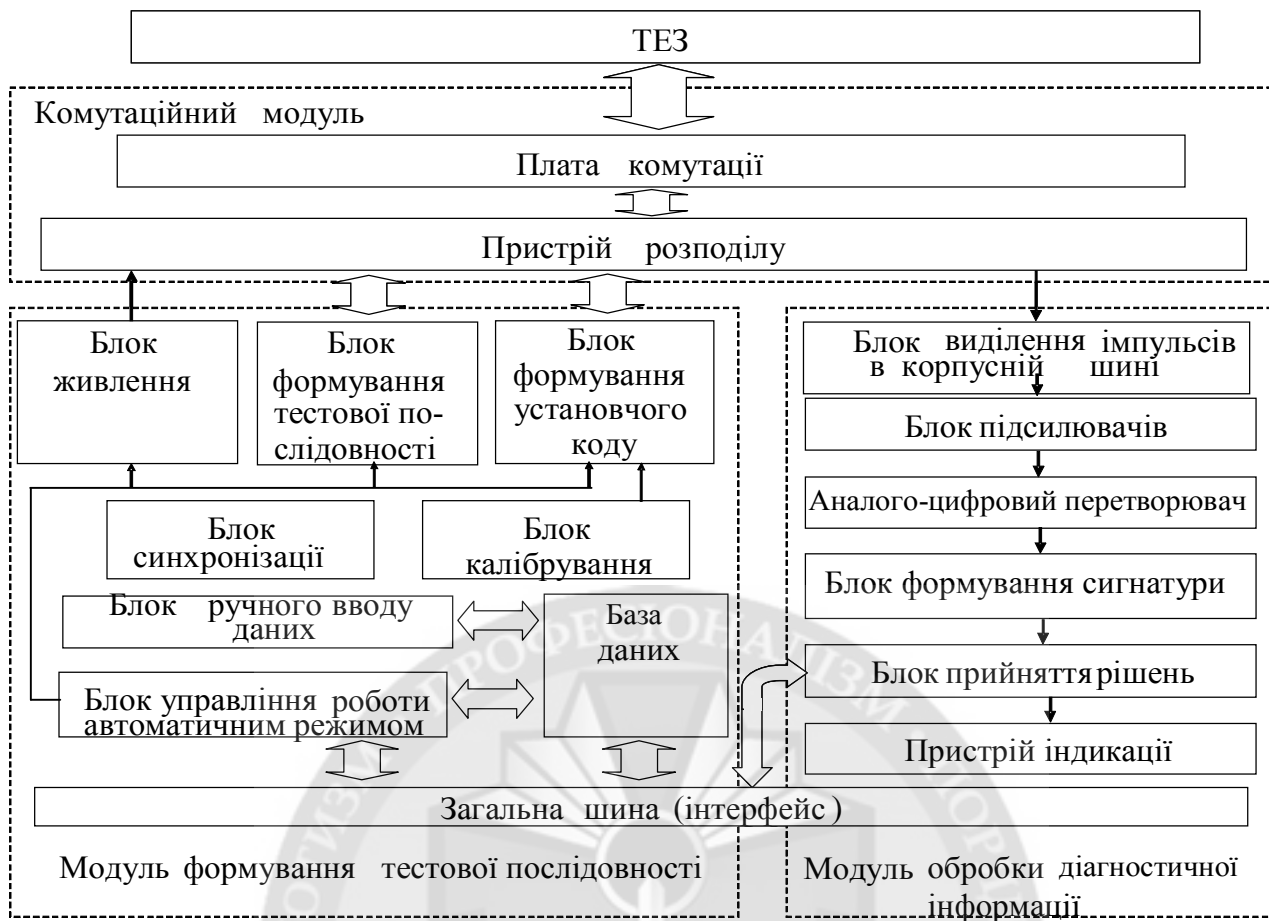


Рис. 2. Структурна схема УРМ-1

Наявність такого УРМ-1 на рівні експлуатації РЕЗО дозволить усунути ряд недоліків існуючої СТОіР, а саме: збільшити імовірність достатності укомплектованості ЗІП, зменшити вартість діагностування та середній час відновлення цифрових об'єктів РЕЗО [14]. При цьому структура СТОіР буде мати вигляд, як на рис. 3.

Пізніше в роботах [15-17] було запропоновано розробку електромагнітного методу діагностування цифрових радіоелектронних компонентів (РЕК) зі складу ТЕЗ, сутність якого полягає в тому, що в якості діагностичного параметра використовується амплітуда відеоімпульсів, які знімаються з корпусу цифрового РЕК за допомогою антенного пристрою. Перехід цифрового РЕК з одного стану в протилежний супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього. Дану властивість можна використовувати для визначення його технічного стану. Для цього антена, таких же розмірів і форми, як і ІМС, накладається на її корпус. На входи ІМС треба забезпечити подання частинних перевірочних тестів. При спрацьовуванні будь-якого з логічних елементів ІМС в антені наводиться імпульсна електрорушійна сила, яка генерує імпульс певної амплітуди. Наявність імпульсу на виході антени служить інформацією про факт перемикання логічних елементів ІМС. Діагностична інформація (ДІ), яка отримана за допомогою антенного пристрою у вигляді послідовності відеоімпульсів, надходить до блоку її обробки. На основі порівняння параметрів імпульсів, наведених в антені й еталонних, приймається рішення про технічний стан даного цифрового РЕК ТЕЗ. Математичний опис процесу випромінювання цифровим РЕК імпульсів і прийому їх за допомогою антенного пристрою наведений у роботах [18, 19].

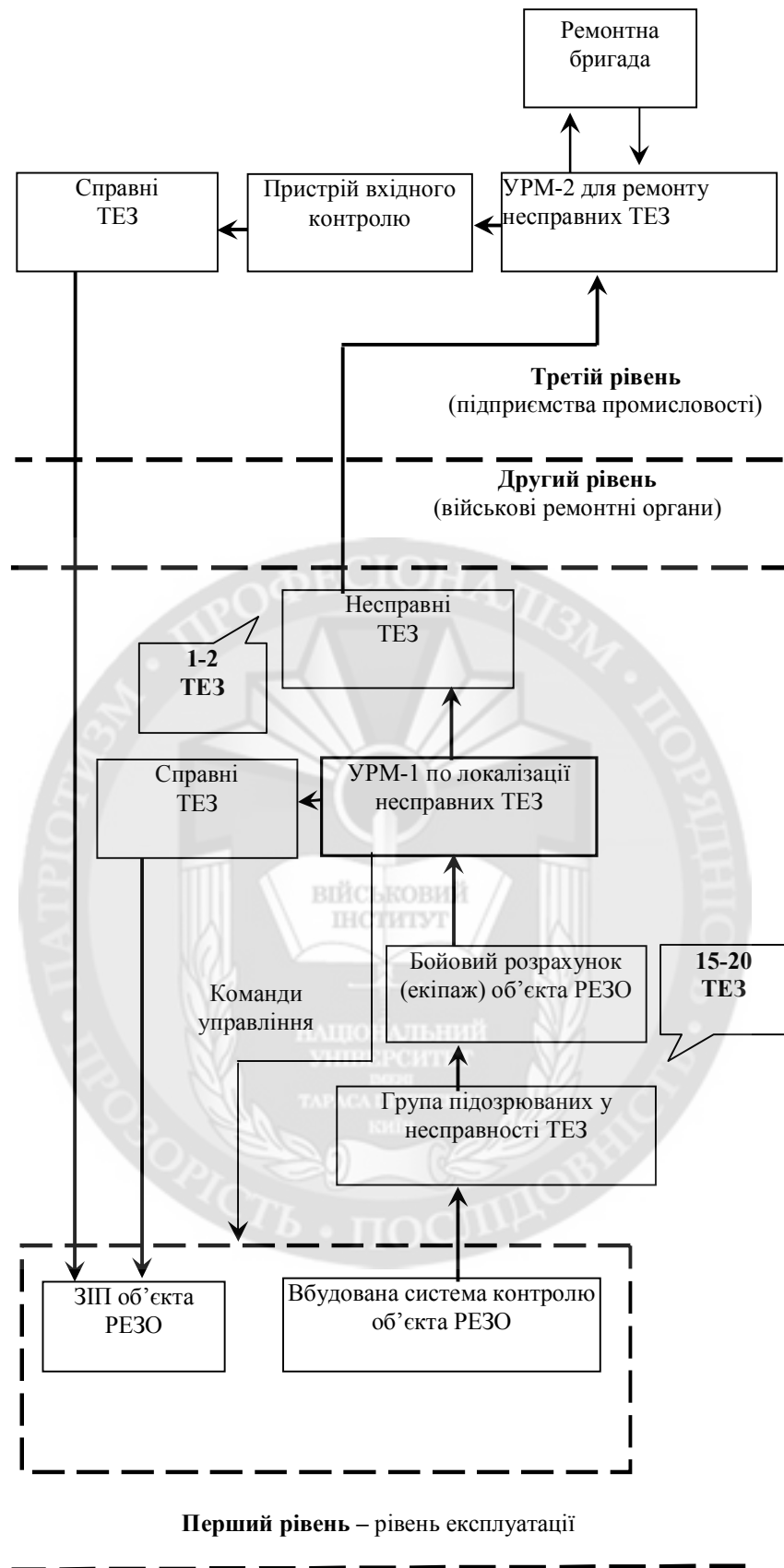


Рис. 3. Структура запропонованої системи технічного обслуговування і ремонту РЕЗО (з використанням УРМ-1)

Для підтвердження основних положень методу був проведений натурний експеримент. Структурна схема випробувального стенду зображена на рис. 4, а результати досліджень ІМС у вигляді осцилограми електромагнітного процесу в антенному пристрої (для однієї ІМС) на фото. 1.

У ході експерименту й обробки статистичних даних був зроблений висновок, що між параметрами сигналів на виході цифрового РЕК й антенному пристрої існує сильний кореляційний зв'язок, коефіцієнт кореляції якого складає приблизно 0,95. Експериментальні дослідження електромагнітного процесу дозволили визначити параметри та форму імпульсів, які виникали в антенному пристрої під час спрацювання логічних елементів ІМС. При цьому відношення рівнів сигнал-шум складало не менше 10, а в деяких випадках 15–20, що набагато більше загальноприйнятого 3.

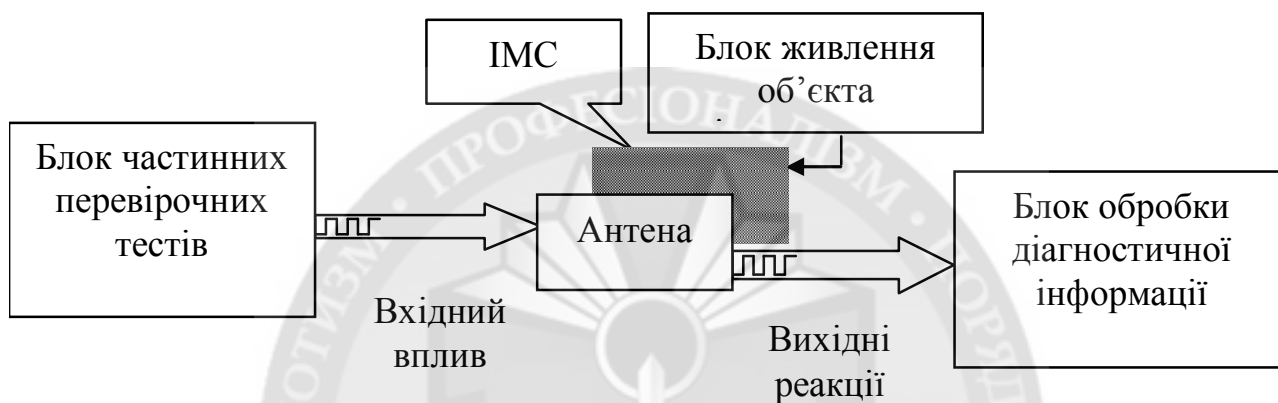


Рис. 4. Структурна схема випробувального стенда



Фото. 1. Осцилограма імпульсів, які випромінює цифровий РЕК

На основі запропонованого методу була розроблена структурна схема УРМ-2, яка наведена на рис. 5.

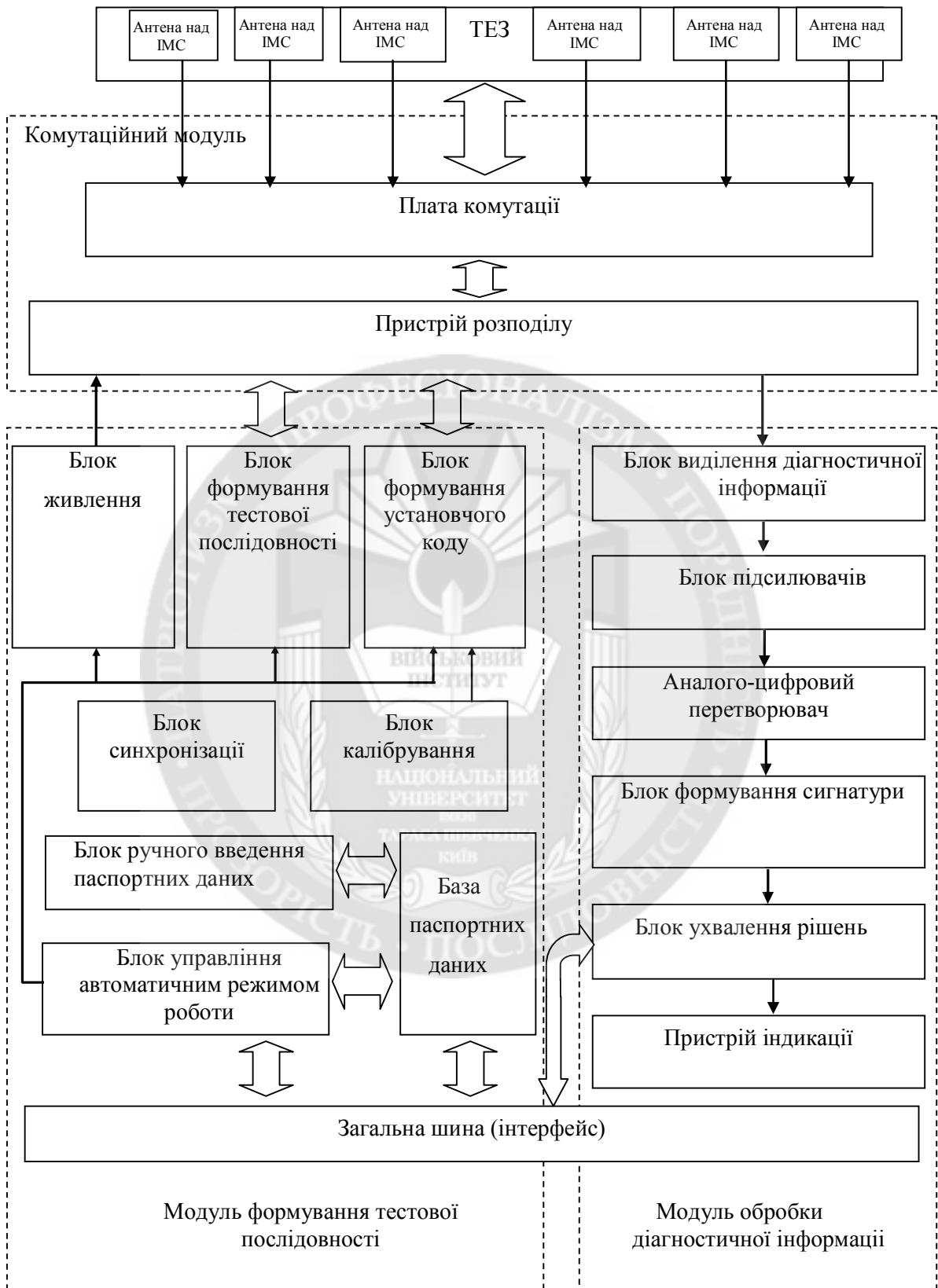


Рис. 5. Структурна схема УРМ-2

Розглянемо детальніше призначення елементів УРМ-2.

Антенa призначена для зйому відеоімпульсів, які виникають при спрацьовуванні логічних елементів ІМС, яка перевіряється.

Комутаційний модуль призначений для комутації ТЕЗ з УРМ і складається з плати комутації та пристрою розподілу.

За допомогою плати комутації, яка являє собою набір роз'ємів під різні типи ТЕЗ, здійснюється підключення ТЕЗ до УРМ.

Пристрій розподілу забезпечує підключення відповідних входів ТЕЗ до блоку формування тестових послідовностей (ТП) і пристрою зняття ДІ, передачу тестових впливів на входи цифрових РЕК, а також підключення напруги живлення від стабілізованого блоку живлення.

Модуль формування тестових послідовностей забезпечує формування тестових послідовностей, за допомогою яких здійснюється пошук дефектних РЕК цифрових ТЕЗ. Модуль формування ТП складається з наступних блоків:

- блоку формування установчого коду;
- блоку формування ТП;
- блоку ручного введення паспортних даних;
- блоку управління автоматичним режимом роботи;
- бази даних;
- блоку калібрування;
- блоку синхронізації;
- блоку живлення.

Блок формування установчого коду формує й подає одноразовий первинний вхідний вплив для установки ТЕЗ у початковий стан.

Блок формування тестової послідовності формує задану послідовність тестових впливів і логічних рівнів (залежно від технології виготовлення елементної бази ТЕЗ) для проведення діагностування цифрових РЕК ТЕЗ і являє собою генератор детермінованої послідовності чисел.

Блок ручного введення паспортних даних призначений для введення паспортних даних про новий ТЕЗ в базу даних.

Блок управління автоматичним режимом роботи (БУАРР) являє собою мікроконтролер та забезпечує формування команд й управляючих сигналів, які зберігаються в базі паспортних даних про ТЕЗ і управляють процесом діагностування.

База паспортних даних необхідна для зберігання паспортних даних різних типів ТЕЗ.

Блок калібрування служить для точного підстроювання коефіцієнта підсилення блоку підсилювачів.

Блок синхронізації забезпечує узгоджену роботу в часі усіх пристроїв УРМ.

Блок живлення видає стабілізовані напруги живлення.

Модуль обробки діагностичної інформації служить для виділення, перетворення і аналізу ДІ, а також для ухвалення рішення про технічний стан РЕК цифрових ТЕЗ 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 (АЦП) призначений для перетворення виділених і підсилених сигналів у цифрову форму та перетворення паралельного коду в послідовний. Виходячи з аналізу параметрів імпульсів, швидкодія АЦП повинна відповідати, як мінімум,

швидкодії існуючих ТЕЗ, 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 ТЕЗ.

Пристрій індикації відображає інформацію про технічний стан ТЕЗ.

Загальна шина (інтерфейс) призначена для підключення модуля формування ТП до модуля обробки ДІ, а також для підключення УРМ до зовнішньої електронно-обчислювальної техніки для централізованого запису інформації в базу паспортних даних.

Наявність такого УРМ на другому рівні СТОіР – у ВРО дозволяла б здійснювати локалізацію дефектних цифрових РЕК зі складу непрацездатного ТЕЗ, який надійшов із першого рівня СТОіР РЕЗО.

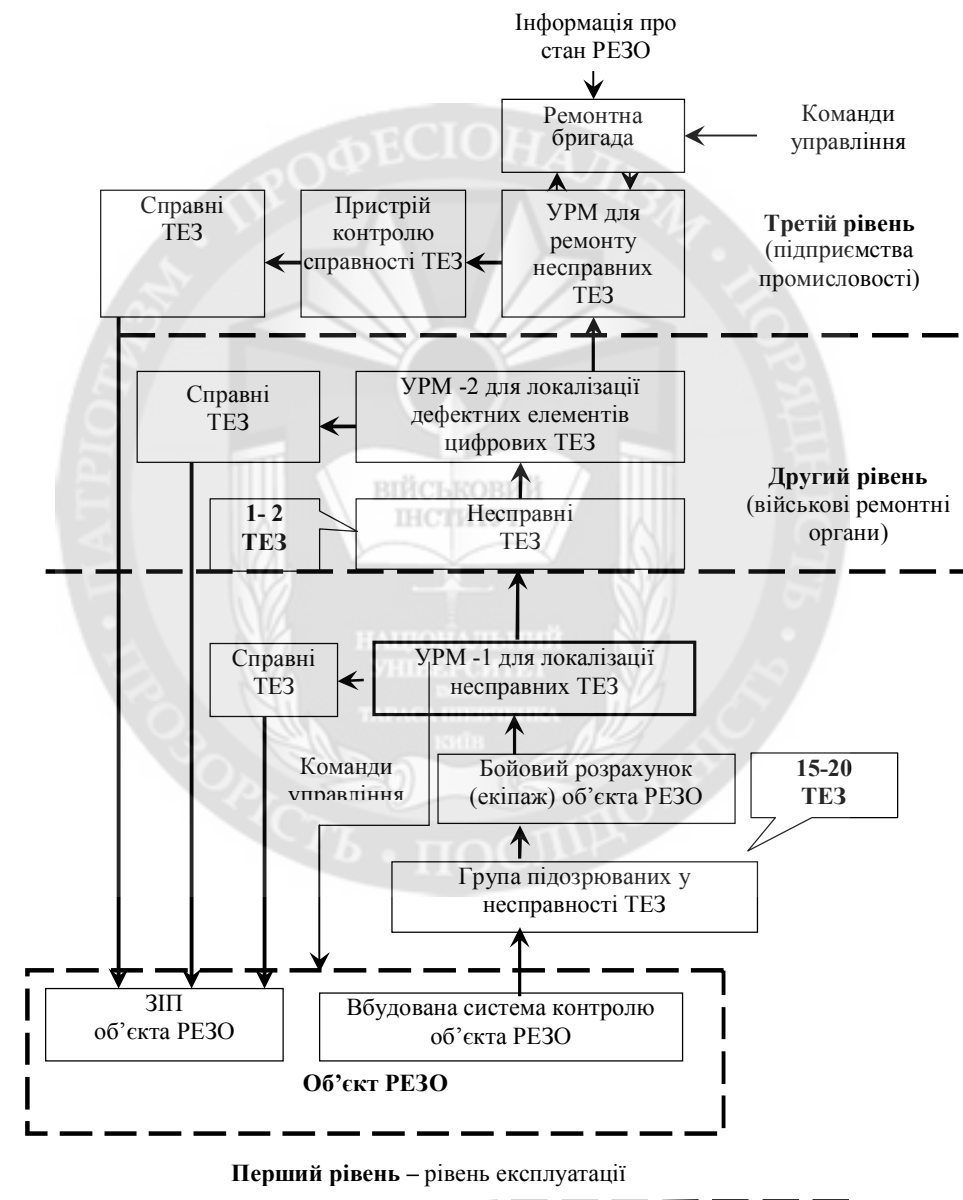


Рис. 6. Структура запропонованої системи технічного обслуговування і ремонту цифрових об'єктів РЕЗО (з використанням УРМ-1 та УРМ-2)

Висновки. Запропонований електромагнітний метод діагностування, в порівнянні з відомими, має наступні переваги:

- виключення необхідності використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення дефектного цифрового РЕК ТЕЗ;
- незначний вплив пристрою діагностування на "власну" надійність РЕК ТЕЗ, так як до нього не вмикаються додаткові елементи;
- зменшення середнього часу діагностування як складової середнього часу відновлення;
- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних цифрових пристроїв, виконаних на елементній базі третього і четвертого поколінь.

Проведені розрахунки показали, що застосування запропонованого електромагнітного методу діагностування цифрових РЕК ТЕЗ у ВРО в порівнянні з відомими дозволить скоротити середній час діагностування в 2–3 рази за рахунок відсутності переміщення несправних ТЕЗ із другого на третій рівень СТОіР, що приведе до збільшення коефіцієнта готовності цифрового об'єкта РЕЗО на 8...10%, а також підвищити імовірність достатності укомплектованості ЗІП.

Пропозиції. З метою підтримання показників надійності на високому рівні, виходячи з економічних обставин, що склалися, враховуючи переваги запропонованих методів діагностування над існуючими, а також відносну простоту схемної реалізації УРМ-1, УРМ-2 у подальшому буде запропоновано визначення дійсно несправних ТЕЗ із групи підозрюваних на основі електромагнітного методу діагностування вже на рівні експлуатації РЕЗО (безпосередньо на місці його експлуатації), що, у свою чергу, дозволить не тільки підвищити імовірність достатності укомплектованості ЗІП, а й покращити основні показники надійності РЕЗО. Усе це стане можливим за умови рішення декількох науково-технічних задач, а саме: розробки діагностичної моделі ТЕЗ при використанні електромагнітного методу, побудови перевірочних тестів, розробки методики визначення технічного стану ТЕЗ, а також структурної схеми пристрою діагностування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Буточнов А.Н. Основы надежности и технического обслуживания радиоэлектронных средств РТВ ПВО / А.Н. Буточнов, Б.П. Креденцер и др. – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – Ч.1. – 230 с.
2. Креденцер Б.П. Проблема обеспечения эксплуатационно-технических характеристик РЭС и пути ее решения / Б.П. Креденцер // Методы оценки и обеспечения надежности РЭС – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – С. 27 – 35.
3. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Горопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко та ін. – К: МО України, Харків: ХВУ, 2003. – 368 с.
4. Методика побудови програм перевірки ТЕЗів РЕТ 4-го покоління: звіт НДР "Діагностика" / Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка; № РК 0101U002251. – К., 2004. – 150 с.
5. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення: ДСТУ В 3576–97. – К.: Держстандарт України, 1998. – 60 с.
6. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10т. / ред. совет: В.С. Авдучевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1988.
– Т. 8: Эксплуатация и ремонт: под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – 319 с.
7. Справочник по ремонту вооружения / В.С. Куцопало, Л.И. Вилинов, А.Г. Григорьев: под ред. Куцопало В.С. – М.: Воениздат, 1986. – 397 с.
8. Анализ отказов изделий электронной техники / А.С. Мирошниченко, С.В.Ленков, З.А. Фишер, Б.И. Уродов: под ред. Н.В. Авдеевой. – М.: ЦООНТИ ЭКОС, 1987. – 168 с.
9. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем / П.С. Давыдов. – М.: Радио и связь, 1988. – 256 с.
10. Лихтциндер Б.Я. Внутрисхемное диагностирование узлов радиоэлектронной аппаратуры / Б.Я. Лихтциндер. – М.: Техника, 1988. – 168 с.
11. Ленков С.В. Научно-технические и экономические аспекты повышения качества и надежности РЭА на стадии проектирования / С.В. Ленков // Экономические проблемы обеспечения

качества и надежности РЭА в условиях рыночных отношений. – М.: НЦМБД высоких технологий, 1992. – С. 18–19.

12. Ленков С.В. Обеспечение надежности РЭА / С.В. Ленков. – К.: ГАЛПУ, 1997. – 148 с.

13. Ленков С.В. Вопросы надежности элементной базы в составе радиоэлектронной аппаратуры / С.В. Ленков // Экономические проблемы обеспечения качества и надежности РЭА в условиях рыночных отношений. – М.: НЦМБД высоких технологий, 1992. – С. 19–20.

14. Жиров Г.Б. Методика контролю технічного стану цифрових типових елементів заміни в радіоелектронних засобах озброєння з використанням енергостатичного методу діагностування: дис. ... канд. техн. наук: 20.02.14 / Жиров Геннадій Борисович. – К., 2006 – 168 с.

15. Контроль технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров, С.І. Глухов // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ “КПІ”. – К., 2006. – № 3. – С. 9–12.

16. Глухов С.І. Діагностування цифрових радіоелектронних компонентів типових елементів заміни радіоелектронної техніки з використанням електромагнітного методу у військових ремонтних органах / С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2009. – № 21. – С. 42–45.

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

18. Методика розрахунку електромагнітного поля вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної схеми типових елементів заміни електромагнітним способом / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров, С.І. Глухов // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Військ.-спец. науки. – К.: ВПЦ «Київський ун-т», 2007. – № 14-15. – С. 10–12.

19. Методика розрахунку електричного струму вихідного ланцюга логічного елемента інтегральної схеми при контролі технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом / М.К. Жердев, В.В. Вишнівський, Г.Б. Жиров, С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2006. – № 4. – С. 42–47.

Рецензент: д.т.н., проф. Жердєв М.К.