

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБТ

УДК 681.518.5, 004.021, 004.048 DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.26.2022.42-48>

С.І. Глухов¹, Л.М. Сакович², Є.В. Рижов³, О.С. Бабій¹, А.О. Гальоса⁴

¹ Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

² Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ

³ Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

⁴ Фаховий коледж інженерії та управління Національного Авіаційного Університету, Київ

Article history: Received 13 April 2022; Revised 25 April 2022; Accepted 2 May 2022

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ НА ОСНОВІ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В сучасних економічних умовах оновлення парку радіоелектронної техніки здійснюється повільно. Подальша експлуатація складних об'єктів радіоелектронної техніки високої вартості з нормативними термінами експлуатації 25–30 років стає можливою при наявності якісного діагностичного, метрологічного та інформаційного забезпечення, застосування якого дозволить з високою достовірністю визначити технічний стан об'єктів та проводити прогнозування залишкового ресурсу.

В статті представлений огляд можливостей діагностичного забезпечення, математичні моделі фізичного діагностування та прогнозування технічного стану, визначені напрями подальших досліджень та обґрунтовано доцільність розробки нових рішень для підвищення надійності об'єктів радіоелектронної техніки із застосуванням нової системи діагностування та обробки діагностичної інформації.

Ключові слова: радіоелектронна техніка, типові елементи заміни, діагностичне забезпечення, прогнозування, інформаційні технології.

Постановка проблеми

Сьогодні гостро постало питання подальшої експлуатації складних об'єктів радіоелектронної техніки (РЕТ) великої вартості з термінами експлуатації 25–30 років, до яких відносяться засоби зв'язку, радіолокаційне озброєння, комплексні засоби автоматизації, засоби спеціального зв'язку тощо. Незважаючи на високі темпи розвитку елементної бази, оновлення парку РЕТ здійснюється повільно з економічних причин. Тому питома вага об'єктів РЕТ, побудованих на елементній базі 3-го та 4-го покоління, є значною. Зазначені обставини зумовили деякі зразки випуску 80-х років визнати основними до 2035 року. Виконання вимог щодо підтримання показників надійності об'єктів РЕТ на належному рівні можливе за умови застосування якісного діагностичного та метрологічного забезпечення, а також сучасних інформаційних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Відомо, що до основних функцій технічної діагностики відносяться:

- оцінка технічного стану (ТС) об'єкта;
- виявлення і локалізація несправностей;
- прогнозування залишкового ресурсу;
- моніторинг ТС об'єкта.

Рішенню перших двох функцій присвячені роботи багатьох вчених. Зокрема, у роботах [1,2] представлені рішення, які стосуються першої та другої функцій. Попри це, при зазначених обставинах зростає роль третьої та четвертої функцій технічної діагностики, що зумовлено необхідністю передбачати з високою ймовірністю поступові відмови та заздалегідь проводити заміну елементів з критичними характеристиками [3]. Це дозволить збільшити значення середнього наробітку на відмову і, як наслідок, збільшити значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності [4].

Тому метою статті є розробка конкретних рекомендацій щодо підвищення надійності РЕТ завдяки удосконаленню системи діагностування для оптимізації періодичності виконання технічного обслуговування та планових ремонтів, що ґрунтується на третій та частково четвертій функціях технічної діагностики.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що РЕТ побудована за ієрархічним принципом: радіоелектронний компонент (РЕК) – типовий елемент заміни – блок – шафа (стійка) – об’єкт. Відмова елементів здійснюється, як правило, на рівні РЕК та ТЕЗ. Аналіз ТС об’єктів показав, що останнім часом зростає кількість відмов елементів інших ієрархічних рівнів.

Розглянемо детальніше можливості сучасного діагностичного забезпечення з точки зору пристосованості його до рівнів ієрархії РЕТ.

У роботах [5-8] визначені принципи фізичного діагностування, в основу якого покладені електромагнітний, енергостатичний та енергодинамічний методи, які дозволяють визначати ТС цифрових пристроїв (ЦП), а також прогнозувати їх залишковий ресурс на основі результатів форсованих випробувань на надійність. Для визначення з високою достовірністю ТС на рівні ТЕЗ запропоновано здійснення діагностування декількома методами. В свою чергу, це дозволяє підвищити значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності, що видно з формули

$$K_c = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = \frac{T_0 P}{T_0 + T_{PP}}$$

де P – достовірність діагностування; T_0 – середній наробіток на відмову; K_G – коефіцієнт готовності; T_{PP} – середній час поточного ремонту.

Розроблена математична модель для моделювання процесу діагностування на основі методів отримання та обробки діагностичної інформації та блок-схему для комплексного використання методів фізичного діагностування з використанням інформаційних технологій (рис. 1).

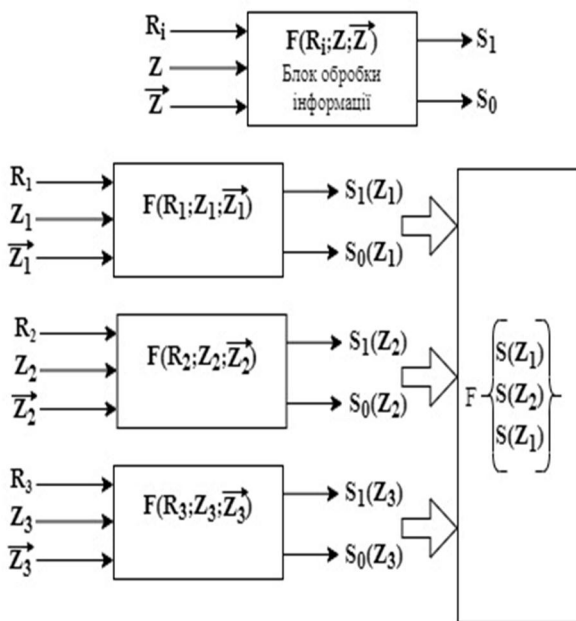


Рис. 1. Математична модель комплексного методу діагностування

Де

$$\vec{Z} = \left\{ \begin{array}{l} \text{тип ЦП; } N - \text{кількість елементів ЦП;} \\ \text{серія елементів; рік виготовлення ЦП;} \\ T_0; \text{ умови експлуатації} \\ \text{(польова або стаціонарні)} \\ M - \text{кількість провалених ремонтів.} \end{array} \right\}$$

S – технічний стан; S_1 – справний технічний стан; S_0 – несправний технічний; Z – діагностичний параметр; R_i – моделі форсованих випробувань; $F_n \otimes R_n; Z_n; Z_n^{\otimes} Z_n^{\otimes}$ – функціонал; $S(Z_1), S(Z_2), S(Z_3)$ – технічний стан, визначений методами Z_1, Z_2, Z_3 відповідно.

Для визначення часу наступної перевірки та ТС розроблена математична модель його прогнозування (рис. 2).

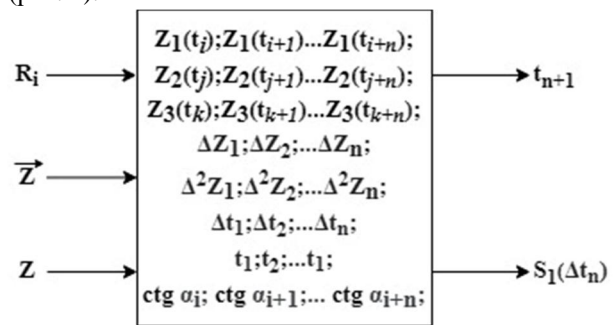


Рис. 2. Математична модель прогнозування технічного стану

Де

$$\vec{Z} = \left\{ \begin{array}{l} \text{тип ЦП; } N - \text{кількість елементів ЦП;} \\ \text{серія елементів; рік виготовлення ЦП;} \\ T_0; \text{ умови експлуатації} \\ \text{(польова або стаціонарні);} \\ M - \text{кількість провалених ремонтів;} \\ \Delta^1 Z_n - \text{квадрат відхилення} \\ \text{теоретичного значення} \\ \text{діагностичного параметру} \\ \text{від практичного.} \end{array} \right\}$$

R_i – моделі форсованих випробувань; $ctg \alpha_1 = \frac{DZ_m}{Dt_n}$; $Z_m(t_n)$ – значення діагностичного параметра, визначеного методом m для поточного часу; $t_i; t_j; t_k$ – моменти часу проведення перевірок технічного стану відповідними методами; Dt_n – інтервал часу між наступною та попередньою перевіркою; Z – діагностичний параметр; DZ_m – прирощення значення діагностичного параметра.

Розглянуті рішення дозволяють підвищити показники надійності об’єктів РЕТ шляхом упередження відмов на рівні невідновлювального РЕК та ТЕЗ.

Зважаючи на фактичні терміни експлуатації багаточисленних об'єктів РЕТ з метою упередження таких відмов, запропоноване рішення, яке полягає у скороченні міжперевірочних інтервалів, що відображено на рис. 3.

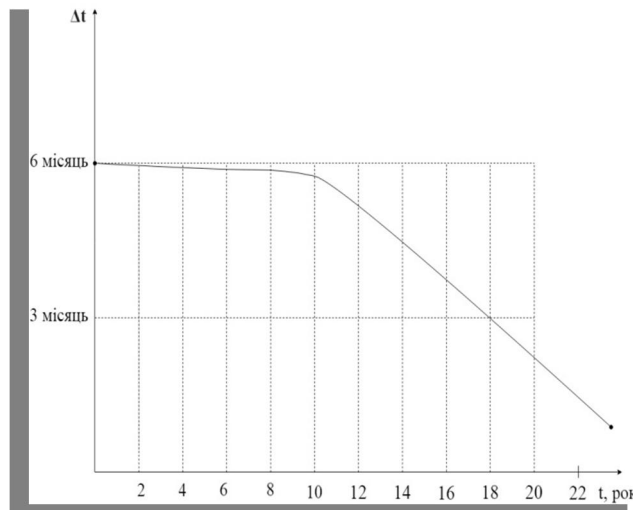


Рис. 3. Встановлена залежність міжперевірочного інтервалу від часу експлуатації

З нього видно, що протягом періоду нормальної експлуатації міжперевірочний інтервал є детермінованим, у цей час інтенсивність відмов є постійною. Після завершення періоду нормальної експлуатації даний інтервал має скорочуватись приблизно пропорційно часу експлуатації. Кут нахилу прямої ділянки буде залежати від об'єкта РЕТ, часу та умов його експлуатації, інших причин, та з метою максимального упередження відмов може корегуватися.

Варто зазначити те, що використання методів фізичного діагностування дозволить прогнозувати і планувати терміни проведення наступних регламентних робіт без прив'язки до планового технічного обслуговування (ТО), але до моменту виникнення поступової відмови, що, позитивно вплине на час відновлення і, в цілому, на коефіцієнт готовності об'єкта. На сьогодні, як правило, детальні регламентні роботи проводяться один раз на півроку, тобто під час проведення сезонного обслуговування.

Зважаючи на фактор значного перевищення термінів експлуатації, характер несправностей, а також вимоги керівних документів щодо надійності, необхідно вживати заходи, спрямовані на зменшення кількості відмов на інших ієрархічних рівнях, а саме блоків, шаф, а також з'єднуючих елементів, зокрема кабелів. Контроль ТС на рівні блоків здійснює вбудована система контролю (ВСК). ВСК зразків РЕТ парку 80-х років дозволяють контролювати в основному ТС блоків передавальної частини.

Розглянемо технічні можливості ВСК деяких зразків, зокрема радіолокаційної станції 19Ж6 та каналотворювальної техніки зв'язку сімейства ТОПАЗ і АЗУР.

У РЛС 19Ж6 ВСК [9] дозволяє визначати, в переважній більшості, стан групи ТЕЗ, індикації наявності несправності або збою у відповідній групі ТЕЗів у складі блока, причому несправним, як правило, виявляється один ТЕЗ. Після виявлення несправності необхідно зняти групу ТЕЗів, цей блок відправити у ремонтний орган, де буде проводитись дефектація та виявлення несправного ТЕЗ. Таким чином, виріб на деякий час залишається або несправним, або з частково укомплектованим ЗІП, що знижує показники надійності. Автономна система контролю (АСК) дозволяє перевіряти працездатність ТЕЗ шляхом подачі тестової комбінації на вхід та аналізу комбінації на виході. Тобто стан ТЕЗ визначається бінарно: справний – несправний, а прогнозування часу наступної відмови не здійснюється.

Каналотворювальна апаратура сімейства ТОПАЗ (П-300, П-301, П-302 і П-303) [10], розроблялась у 1961–1972 роках, з 1974 року прийнята на озброєння, випускалась з 1967 року. Середній наробіток на відмову складає 4000 годин, нормативний строк експлуатації до 12 років. До складу апаратури входить ВСК, яка дозволяє контролювати справність кабелю на трьох ділянках секції регулювання та визначати характер пошкодження на другій ділянці. ВСК фіксує несправність та сигналізує про це обслуговуючому персоналу. При відмові одного з блоків, що входить до складу комплексу апаратури, фіксується загальна несправність, тобто цей блок підлягає ремонту. Під час ремонту апаратури в ручному режимі досліджуються параметри сигналів на вході-виході блоків, локалізується їх несправність та відправляється у відповідний ремонтний орган. Упередження несправності, як і прогнозування залишкового ресурсу, є ускладненим. Використання методів фізичного діагностування при проведенні регламентних або відновлювальних робіт може дати можливість визначати реальний технічний стан ТЕЗ, прогнозування залишкового ресурсу, а також розраховувати час проведення наступного регламенту. Зазначені методи дозволять отримати діагностичну інформацію, на основі якої приймається рішення про подальшу роботу або заміну складових частин, остання призведе до збільшення часу наробітку на відмову і зменшення ймовірності відмови виробу.

Каналотворювальна апаратура сімейства АЗУР була розроблена у 1979–1985 роках та прийнята на озброєння у 1984–1987 роках [11]. До складу входить ВСК, яка дозволяє контролювати справність кабелю

на трьох ділянках секції регулювання та визначати характер пошкодження. Нормативний строк експлуатації складає 10 років, середній наробіток на відмову складає від 6000 до 10000 годин.

Аналіз робіт [12-15] та можливостей зразків РЕТ показав наступні недоліки, що притаманні ВСК:

- можливості ВСК щодо глибини діагностування обмежуються рівнем блока, який в залежності від року випуску об'єкта налічує від 5 до 20 ТЕЗ;
- неможливість визначення реального технічного стану ТЕЗ як складових блока та неможливістю прогнозування технічного стану ТЕЗ;
- неможливість визначення залишкового ресурсу ТЕЗ із заданою достовірністю;
- при відсутності електроживлення самого об'єкта його ВСК не працює.

Аналіз відмов зразків РЕТ існуючого парку показує необхідність враховувати при їх модернізації або проєктуванні нових з ВСК, яка має контролювати не тільки ТС блоків передавальної частини, а й інших блоків, відмови яких відбуваються при експлуатації об'єктів понад встановлених термінів.

Відомо, що відмови в системах відбуваються під дією багатьох факторів, кожний з яких теж залежить від ряду причин. Відмови елементів системи відносяться до випадкових подій, а час роботи до виникнення відмови до випадкових величин, тому при аналізі надійності вони є об'єктом дослідження. В якості теоретичних розподілів наробітку на відмову можуть використовуватись відповідні закони розподілу з теорії ймовірностей. Перед тим, як розпочати розрахунок надійності треба розглянути закони розподілу, яким вони підпорядковуються. Закон розподілу відмов можна визначити на основі обробки експериментальних даних, але для цього потрібна вибірка з результатами значень великої кількості дослідів в ідентичних умовах, що практично складно забезпечити. Крім того, таке рішення має ознаки пасивної реєстрації подій [16-18]. Разом з тим, у багатьох випадках за час експлуатації встигає відмовити незначна доля об'єктів. Отриманим даним відповідає початкова частина експериментального розподілу. Більш раціонально – вивчення умов, фізичних процесів, при яких виникає той чи інший розподіл. При цьому складаються моделі виникнення відмов та відповідні ним закони розподілу часу до відмови, що дозволяє робити обґрунтовані припущення їх використання. Дослідні дані мають служити засобом перевірки обґрунтованості прогнозу, а не єдиним джерелом даних про закон розподілу. Такий підхід необхідний для оцінки надійності нових виробів, для яких статистичний

матеріал отримують під час дослідної експлуатації, тому він є обмеженим.

Четвертою функцією технічної діагностики є моніторинг ТС об'єкта. Варто зазначити те, що проведення моніторингу для об'єктів РЕТ є ускладненим, оскільки не існує одного-двох узагальнених діагностичних параметрів, які дозволили б з необхідною достовірністю вирішувати завдання щодо визначення ТС та прогнозування залишкового ресурсу. Враховуючи даний фактор, а також ТС об'єктів РЕТ, кількість відмов, яких з кожним роком збільшується, вимоги керівних документів щодо підтримання надійності потребують розробки нових рішень, які дозволять з достатньою достовірністю виконувати функції технічної діагностики. Проведений аналіз джерел показав, що моніторингу присвячено набагато менше робіт, ніж прогнозуванню, що відображено незначною кількістю впроваджених технічних рішень для нього, які не завжди відповідають технічним вимогам з об'єктивних та суб'єктивних причин.

На рис. 4. представлена структурна схема елементів системи діагностування та обробки діагностичної інформації.

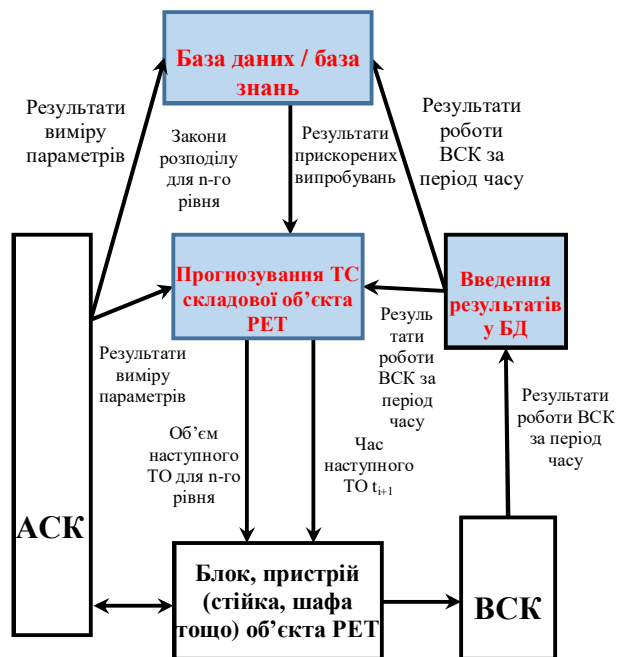


Рис. 4. Структурна схема елементів системи діагностування та обробки діагностичної інформації

Прогнозування залишкового ресурсу складових частин об'єкта РЕТ можливо при комплексному використанні даних від ВСК, результатів роботи АСК, законів розподілу ймовірностей безвідмовної роботи для визначеного рівня надійності та результатів прискорених випробувань РЕК, ТЕЗ, блоків

тощо. ВСК працює постійно під час включення об'єкта РЕТ або його складової частини та виводить на індикацію бінарний стан контрольованої частини: справна/несправна. Для використання в розрахунках залишкового ресурсу результати роботи ВСК необхідно вводити в інформаційно-розрахункову систему (ІРС). На даний час це можливо виключно в ручному режимі. Результати достовірних вимірювань параметрів за допомогою різних пристроїв АСК важливі для більш достовірних розрахунків, тому в автоматичному або автоматизованому режимі вводяться в ІРС та використовуються для порівняння з результатами форсованих випробувань складових частин об'єкта РЕТ. Для прогнозування залишкового ресурсу використовуються закони розподілу безвідмовної роботи для кожного ієрархічного рівня об'єкта РЕТ, які зберігаються у базі даних ІРС.

Для корегування законів розподілу та результатів прискорених випробувань, що використовуються для прогнозування залишкового ресурсу інших, аналогічних об'єктів РЕТ, всі результати вимірювань у АСК та результати роботи ВСК обов'язково записуються у базу даних ІРС. Крім того, до неї буде занесена інформація про заміну елементів різних рівнів, що надасть можливість розрахунку значень показників надійності об'єктів РЕТ зі змінною структурою [19] для корегування законів розподілу.

Таким чином, використовуючи попередні дані, результати роботи ААСКСК та ВСК різних, часто не пов'язаних між собою об'єктів РЕТ, ІРС може розраховувати час та обсяг (перелік операцій) наступного ТО для визначеного ієрархічного рівня складного об'єкта РЕТ.

В результаті обробки діагностичної інформації користувач має отримати дані щодо першої та третьої функцій технічної діагностики – відповідно ТС об'єкта РЕТ та прогнозування залишкового ресурсу. Крім того, система обробки інформації має розраховувати час проведення наступного ТО, а також РЕК, які підлягають перевірці та ймовірності безвідмовної роботи елементів різних ієрархічних рівнів об'єкта РЕТ.

Висновки

1. У статті проведений аналіз стану сучасного діагностичного забезпечення об'єктів радіоелектронної техніки, а також показані обмеження можливостей їх вбудованих систем контролю.

2. Представлений математичний апарат у вигляді математичних моделей для комплексного методу діагностування та прогнозування технічного стану на рівні типового елемента заміни.

3. Показано, що для перспективних зразків радіоелектронної техніки доцільно проєктувати та впроваджувати вбудовані системи контролю, які зможуть здійснювати контроль технічного стану не тільки передавальної частини, а й інших вузлів.

4. Обґрунтовано напрями подальших досліджень, які полягають у розробці рішень, що дозволять прогнозувати залишковий ресурс об'єктів радіоелектронної техніки з урахуванням законів розподілу відмов на інших ієрархічних рівнях.

5. Запропоновано період проведення технічного обслуговування або планового ремонту розраховувати в залежності від результатів, отриманих при проведенні попередніх перевірок технічного стану елементів всіх рівнів ієрархії.

6. Представлена розроблена структурна схема елементів системи діагностування та обробки отриманої інформації, яка поєднує вбудовані системи контролю з елементами нової автоматизованої системи контролю.

7. Результатом обробки діагностичної інформації мають бути дані щодо часу проведення технічного обслуговування, елементів, які підлягають перевірці, ймовірностей безвідмовної роботи елементів різних ієрархічних рівнів, прогнозування залишкового ресурсу.

Список літератури

1. Mashkov V.A., Barabash O.V. Self-checking and Self-diagnosis of Module Systems on the Principle of Walking Diagnostic Kernel. *Engineering Simulation*. Amsterdam: OPA, 1998. Vol. 15. pp. 43–51.

2. O. Barabash, V. Sobchuk, N. Lukova-Chuiko and A. Musienko. Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems. 2018 IEEE First International Conference on *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*. 08-12 October, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 2018. Kyiv, Ukraine. P. 36–39.

3. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Oleksandr Puchkov, Yana Nebesna. Evaluation of reliability of radio-electronic devices with variable structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 3(54), 2020 pp. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>

4. Рижов Є. В., Сакович Л. М., Глухов С. І., Настишин Ю. А. Оцінка впливу діагностичного забезпечення на надійність радіоелектронних систем. *Військово-технічний збірник*. 2021. № 24. С. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.3-8>

5. Жердев М. К., Ленков С. В., Шкуліпа П. А. Побудова функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування. *Системи обробки інформації*. Харків, 2013. №1(108). С. 49–52.

6. Жердев М. К., Кузавков В. В., Глухов С. І. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ, 2015. № 49. С.40–48.

7. Ленков С. В., Жердев М. К., Толоч І. В., Глухов С. І., Жиров Г. Б. Методика розробки діагностичного забезпечення РЕТ на основі енергостатичного методу

діагностування з використанням інформаційних технологій. *Системи озброєння і військова техніка*. Харків: Вид-во ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2017. Вип. №4(52). С.46–51.

8. 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*. Харків, 2018. Вип. № 2(54). С.23–30. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.03>

9. Гриб Д. А. та ін. *Організація технічної експлуатації та військового ремонту радіолокаційного озброєння РТВ РЛС 19Ж6*. Харків: ХУПС, 2005. С. 35–40.

10. Кириллов В. И. *Многоканальные системы передачи : учебник [доп. МО РБ]. 2-е изд.* Москва: Новое знание, 2003. 751с.

11. *Учебное пособие "Аппаратура «Азур-6»" : учебное пособие.* Москва: Воениздат, 1987.

12. Вишнівський В. В. Проблема побудови автоматизованих систем технічного діагностування інформаційних систем. *Защита информации*. Сборник научных трудов. Киев: НАУ, 2016. Вип. 23. С.165–176.

13. Жердев М. К., Вишнівський В. В., Пампуха І. В., Скуйбіда О. Ю. Напрями розвитку систем контролю технічного стану і діагностування складних технічних систем. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. Київ, 2006. № 3. С. 22–25.

14. Чернышев А. А. *Основы конструирования и надежности электронных вычислительных средств*. Москва: Радио и связь, 1998. 286 с.

15. Вишнівський В. В., Жердев М. К., Ленков С. В., Проценко В. О. *Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки : монографія*. Київ: Знання України, 2009. 220 с.

16. Василишин В. І., Чечуй О. В., Женжера С. В., Глушко А. П. *Основы теории надёжности та эксплуатации радиоэлектронных систем ХНУПС*, 2018. 268 с.

17. Клепко В. Ю., Голець В. Л. *К 48 Вища математика в прикладах і задачах : навчальний посібник*. 2-ге видання. Київ: Центр учбової літератури, 2009. 594 с.

18. Острейковский В. А. *Теория надёжности : учеб. для вузов*. Москва: Высш. шк., 2003. 463 с.: ил.

19. Сакович Л. М., Рижов Є. В., Небесна Я. Е., Вовк С. В. Модель кількісної оцінки значень показників надійності радіостанцій тактичної ланки управління. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 20. С. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019>

References

1. Mashkov V.A., Varabash O.V. (1998), Self-checking and Self-diagnosis of Module Systems on the Principle of Walking Diagnostic Kernel. *Engineering Simulation*. Amsterdam: OPA Vol. 15. pp. 43–51.

2. O. Varabash, V. Sobchuk, N. Lukova-Chuiko and A. Musienko. (2018), Application of Petri Networks for Support of Functional Stability of Information Systems. *System Analysis & Intelligent Computing (SAIC)*: Proceedings of the 2018 IEEE First International Conference on 08-12 October,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine. pp. 36–39.

3. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Oleksandr Puchkov, Yana Nebesna. (2020), Evaluation of reliability of radio-electronic devices with variable structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 3(54), pp. 31–39. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>

4. Ryzhov Ye.V., Sakovych L.M., Hlukhov S.I., Nastyshyn Yu.A. (2021), "Otsinka vplyvu diahnostychnoho zabezpechennia na nadiinist radioelektronnykh system [Evaluation of the impact of diagnostic software on the reliability of electronic systems]. *Military Technical Collection*. № 24. pp. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.24.2021.3-8>

5. Zherdev M.K., Lenkov S.V., Shkulipa P.A. (2013), "Pobudova funktsionalnykh pereviriaiuuchykh testiv dlia enerhodynamichnoho ta elektromahnitnoho metodivdiahnostuvannia" [Construction of functional verification tests for energy-dynamic and electromagnetic methods of diagnosis]. *Information processing systems*. № 1 (108). pp. 49–52.

6. Zherdev N.K., Glukhov S.I., Kuzavkov V.V. (2015), "Uzahalnennia rezultativ forsovanykh vyprobuvan radioelektronnykh komponentiv" [Summary of the results of the radio-electronic components forced tests]. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. № 49. pp.40 - 48.

7. Lenkov S.V., Zherdev M.K., Tolok I.V., Glukhov S.I., Zhiron G.B. (2017), "Metodyka rozrobky diahnostychnoho zabezpechennia RET na osnovi enerhostatychnoho metodu diahnostuvannia z vykorystanniam informatsiinykh tekhnolohii. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika" [Method of diagnostic support development of PET on the basis of an energy-statistical method of diagnosing with use of information technologies]. *Weapons systems and military equipment*. Issue. № 4 (52). pp.46–51.

8. Zherdev M.K., Selyukov O.V., Glukhov S.I., Gakhovich S.V., Nikiforov M.M. (2018), "Diahnostuvannia radioelektronnoi tekhniki na osnovi enerhodynamichnoho metodu: metodyka ta informatsiine zabezpechennia" [Diagnosis of radio electronic equipment on the basis of energy-dynamic method: methods and information support]. *Weapons systems and military equipment*. Issue. № 2 (54). pp.23–30. DOI: <https://doi.org/10.30748/soivt.2018.54.03>

9. Grib D.A. and others. (2005). "Orhanizatsiia tekhnichnoi ekspluatatsii ta viiskovoho remontu radiolokatsiinoho ozbroiennia RTV RLS 19Zh6" [Organization of technical operation and military repair of radar weapons RTV radar 19Zh6]. HUPS, pp. 35-40.

10. Kirillov V.I. 2003, "Mnohokanalnye systemy peredachy" [Multichannel transmission systems]: Textbook [ext. MO РБ]. 2nd ed. Moscow: New knowledge, 751 p.

11. "Uchebnoe posobyie «Apparatura «Azur-6»" [Textbook "Equipment "Azur-6"]: Tutorial, Moscow: Voениzdat, 1987.

12. Vyshnivsky V.V. (2016), "Problema pobudovy avtomatyzovanykh system tekhnichnoho diahnostuvannia informatsiinykh system" [The problem of building automated systems for technical diagnostics of information systems]. *Information protection*; Collection of scientific works. Kyiv: NAU, Issue. 23. pp.165-176.

13. Zherdev M.K., Vyshnivsky V.V., Pampuha I.V., Skuybida O.Y. (2006), "Napriamy rozvytku system kontroliu tekhnichnoho stanu i diahnostuvannia skladnykh tekhnichnykh system" [Directions of development of technical condition control systems and diagnostics of complex technical systems]. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. № 3. pp. 22–25.
14. Chernyshev A.A. (1998), *Основы конструирования у надежносты электронных vychyslytelnykh sredstv*. [Fundamentals of design and reliability of electronic computers]. M.: Radio and communication, 286 p.
15. Vyshnivsky V.V., Zherdev M.K., Lenkov S.V., Protsenko V.O. (2009), "*Diahnostyka tsyfrovyykh ta analohovykh prystroiv radioelektronnoi tekhniki*" [Diagnostics of digital and analog devices of electronic equipment: monograph, Kyiv: Knowledge of Ukraine, 220 p.
16. Vasilishin V.I., Chechuy O.V., Zhenzhera S.V., Glushko A.P. (2018), "*Osnovy teorii nadiinosti ta ekspluatatsii radioelektronnykh system KhNUPS*" [Fundamentals of the theory of reliability and operation of electronic systems of KhNUPS], 268 p.
17. Klepko V.Yu., Golets V.L. (2009), "*K 48 Vyshcha matematyka v prykladakh i zadachakh*" [K 48 Higher mathematics in examples and problems]: Textbook. 2nd edition, Kyiv: Center for Educational Literature, 594 p.
18. Ostreykovsky, V.A. (2003), "*Teoriya nadezhnosity*" [Reliability theory]: Higher School Tutorial, Moscow, 463 p.
19. Sakovich L.M., Ryzhov Ye.V., Nebesna Ya.E., Vovk S.V. (2019), "Model kilkisnoi otsinky znachen pokaznykiv nadiinosti radiostantsii taktychnoi lanky upravlinnia" [Model of quantitative assessment of the values of reliability indicators of tactical radio stations]. *Military-technical collection*, Issue. № 20. pp. 33–41. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.20.2019>

PROMISING DIRECTIONS FOR INCREASING RELIABILITY RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT BASED ON PHYSICAL DIAGNOSTICS USING INFORMATION TECHNOLOGIES

S.I. Hlukhov, L.M. Sakovych, Ye.V. Ryzhov, O.S. Babii, A.O. Halosa

In modern economic conditions, the renewal of the fleet of radio-electronic equipment is carried out relatively slowly. The subsequent operation of complex objects of high-cost radio-electronic equipment with a standard operating life of 25-30 years becomes possible with the availability of high-quality diagnostic, metrological and information support, the use of which will allow to determine the technical condition of objects with high reliability and to predict the residual life.

Known methods for diagnosing typical replacement elements as components of electronic equipment blocks are based on comparing output reactions with reference ones, which makes it possible to determine their technical condition at the moment. This also causes the difficulty of performing the third function of technical diagnostics - forecasting the residual resource. These reasons lead to the development of diagnostic methods that will allow determining the technical condition of typical replacement elements, as well as making predictions with high reliability, which, in turn, dictated the need for forced testing of typical elements for reliability. The result of such tests was to obtain the dependencies of diagnostic parameters on the operating time, the comparison of which with those obtained during routine maintenance will allow solving the above problems. To improve the reliability of the diagnosis, it is proposed to combine diagnostic methods.

The article presents an overview of the possibilities of diagnostic support, mathematical models of physical diagnostics and forecasting of the technical condition, identifies the directions for further research and substantiates the feasibility of developing new solutions to improve the reliability of radio-electronic equipment.

Keywords: radio-electronic equipment, typical replacement elements, diagnostic support, forecasting, information technologies.