

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОВТ

УДК 621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.27.2022.75-85>Л.М. Сакович<sup>1</sup>, Є.В. Рижов<sup>2</sup>, Ю.В. Мирошніченко<sup>1</sup>, А.О. Гриндей<sup>3</sup>, Ю.А. Настишин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ

<sup>2</sup>Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

<sup>3</sup>Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ

Article history: Received 27 August 2022; Revised 01 September 2022; Accepted 25 October 2022

### МЕТОДИКА РОЗРОБКИ ДІАГНОСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОВИХІДНИХ ОБ'ЄКТІВ ПІД ЧАС ЇХ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Попри на стрімке зростання надійності елементної бази сучасних засобів спеціального зв'язку актуальним є питання забезпечення їх ремонтпридатності, значення показників якої регламентується керівними документами. Значний час поточного ремонту засобів спеціального зв'язку займає пошук несправних елементів, тому досить важливе удосконалення діагностичного забезпечення. Це досягається використанням ефективних алгоритмів пошукової діяльності майстрів, які скорочують необхідну кількість перевірок пошкодженої апаратури. Встановлено, що до 30% відмов засобів спеціального зв'язку обумовлено несправностями їх джерела вторинного електроживлення, які відносяться до класу багатовихідних об'єктів. В статті із використанням сучасних досягнень технічної діагностики і метрології, які не враховувались раніше, дослідженні можливі варіанти побудови умовних алгоритмів діагностування. Також дослідженні їх показники якості залежно від конструктивних особливостей об'єкта діагностування і приведено результати порівняння. Встановлено умови переважного вибору алгоритмів пошуку дефектів за критерієм мінімуму середнього часу відновлення, формалізовано порядок рішення цього завдання.

Також розглядаються підходи до забезпечення необхідного рівня надійності радіоелектронних засобів під час проєктування конструкції виробів з врахуванням метрологічного і діагностичного забезпечення їх експлуатації. Відомо, що до 80% часу поточного ремонту займає пошук дефектів, тому особлива увага приділяється впливу конструкції виробу на мінімізацію середнього часу діагностування. Розглянуто можливі варіанти відновлення працездатності багатовихідних об'єктів, до яких відносяться підсистеми електроживлення. Показано, що обґрунтований вибір конструкції, метрологічного і діагностичного забезпечення знижує до 30% час поточного ремонту.

**Ключові слова:** багатовихідні об'єкти, діагностичне забезпечення, проєктування, технічна експлуатація, поточний ремонт.

#### Постановка проблеми

Кількість елементів сучасних радіоелектронних засобів (РЕЗ) безперервно збільшується внаслідок розширення їх функцій і автоматизації технологічних операцій, але вимоги до їх надійності залишаються постійними. Це протиріччя можливо вирішити збільшенням надійності елементної бази, яке веде до зростання вартості виробу, що не завжди прийнятно. Тому виникає проблема забезпечення необхідних значень показників надійності іншими способами, серед яких врахування вимог ремонтпридатності

виробів при проєктуванні конструкції, а також удосконалення метрологічного і діагностичного забезпечення (МДЗ) поточного ремонту (ПР) під час експлуатації в реальних умовах з використанням сучасних досягнень в галузі метрології і технічної діагностики.

Таким чином, постає задача кількісної оцінки впливу конструкції РЕЗ на їх надійність, а також обґрунтованого вибору варіанта відновлення працездатності при ПР за мінімальний час. Це дозволить забезпечити необхідні значення показників надійності без додаткових витрат під час експлуатації РЕЗ.

Сучасні програмно-керовані засоби спеціального зв'язку (ЗСЗ) безперервно ускладнюються в напрямі автоматизації технологічних операцій, забезпечення якості та безперервності зв'язку, що веде до збільшення кількості елементів, а це, в свою чергу, не сприяє забезпеченню необхідних значень показників надійності. Тому проблема ефективності процесу діагностування під час ПР ЗСЗ досить актуальна і потребує безперервного рішення та удосконалення у міру розвитку техніки. Тобто маємо протиріччя між удосконаленням ЗСЗ, збільшення кількості елементів і необхідністю забезпечення директивно встановлених значень показників надійності. Його зняття в сучасних умовах можливо удосконаленням МДЗ, а саме впровадження ефективних умовних алгоритмів діагностування (УАД) під час ПР ЗСЗ [1].

Аналіз відмов ЗСЗ показує, що до 30% припадає на порушення працездатності вторинних джерел електроживлення [2–5]. Встановлено, що підсистема електроживлення ЗСЗ відноситься до класу багатовихідних об'єктів (БВО), які відрізняються особливостями процесу відновлення працездатності [6, 7]. Тому виникає необхідність дослідження найбільш ефективних алгоритмів діагностування БВО, які мінімізують середній час їх відновлення.

В статті розглядається рішення цих питань.

## Аналіз останніх досліджень та публікацій

Фундаментальні теоретичні дослідження складних технічних систем приведені в [8–12] і показують, що підвищити надійність техніки в процесі експлуатації неможливо, її можливо тільки забезпечити та підтримувати на необхідному рівні за рахунок МДЗ, технічного обслуговування та ПР. Приведені рекомендації щодо забезпечення надійності складних технічних систем направлені на резервування найменш надійних конструктивних одиниць виробу, при цьому особливості експлуатації, а саме вплив МДЗ на показники ремонтпридатності, не розглядається.

В сучасних роботах з метрологічного [9] і діагностичного [13] забезпечення експлуатації РЕЗ показано їх вплив на показники експлуатаційної надійності. В [14, 15] наведена кількісна оцінка якості метрологічного забезпечення на технічне обслуговування та ПР РЕЗ, яка полягає в уточненні до 10% часу виконання робіт.

В [1] при створенні МДЗ РЕЗ запропоновано використовувати ймовірність переважного вибору для упорядкування послідовності перевірок при пошуку дефектів під час ПР з метою підвищення його ефективності. Комплексна оцінка необхідності виконання перевірок отримала подальший розвиток з врахуванням особливості метрологічного забезпечення ремонту в [16].

Найбільш загальною частиною будь-яких РЕЗ є підсистема електроживлення. Аналіз статистичних

даних показує, що на цю підсистему припадає до 30% всіх відмов виробу, тому забезпечення надійності блоків електроживлення РЕЗ дуже важливе [2, 3]. Встановлено, що ці об'єкти відносяться до класу багатовихідних, діагностування яких потребує використання спеціальних процедур [6, 17, 18].

Відомі методики розробки МДЗ багатовихідних об'єктів (БВО) [1, 2, 7, 17] не враховують результатів останніх досліджень в галузі технічної діагностики [13] і метрології [8, 19, 20]. Для підвищення точності оцінки значення середнього часу відновлення пропонується враховувати ймовірність правильної постановки діагнозу і метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Значення цих показників у відомих методиках винесене в обмеження: тобто ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування дорівнює одиниці, а ЗВТ заздалегідь справні. Ці положення не відповідають реальним умовам відновлення працездатності ЗСЗ в польових умовах [2, 5, 7].

**Мета статті** – дослідження і кількісна оцінка впливу конструкції на надійність РЕЗ як під час проектування, так і в процесі експлуатації для забезпечення необхідних значень середнього часу відновлення та коефіцієнту готовності, а також дослідження УАД БВО з врахуванням ймовірнісних показників процесу пошуку дефектів, ймовірності правильної постановки діагнозу і метрологічної надійності ЗВТ на відміну від відомих досліджень і публікацій.

## Виклад основного матеріалу

Структура методики приведена на рис. 1 та передбачає рішення завдання забезпечення показників ремонтпридатності як на етапі проектування, так і при експлуатації РЕЗ.

Надійність РЕЗ кількісно оцінюється комплексним показником – коефіцієнтом готовності, тобто ймовірністю того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено (ДСТУ 2860-94). Він дорівнює [8 – 12]

$$K_r = T / (T + T_b),$$

де  $T$  – середній наробіток на відмову;

$T_b$  – середня тривалість відновлення.

Під час проектування РЕЗ значення  $T$  визначають надійністю радіоелектронних елементів виробу через параметр потоку відмов  $z$  [8, 11, 12]

$$T = \frac{1}{z}, \quad z = \sum_{i=1}^N \lambda_i,$$

де  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов елементів групи  $i$ ;

$N$  – кількість груп елементів виробу.

Значення показників надійності  $T$  і  $T_b$  задаються керівними технічними матеріалами з надійності і ремонтпридатності РЕЗ різноманітного призначення.

Значення  $T$  забезпечується під час проектування РЕЗ вибором елементів, при виробництві підтриманням технології і при експлуатації якісним технічним обслуговуванням та ПР. Тобто, під час експлуатації збільшити розрахункове значення  $T$  неможливо [9, 10, 12].

На значення  $T_v$  суттєво впливає якість МДЗ, що використовують в процесі технічного обслуговування

і поточного ремонту РЕЗ [1, 8, 11, 13 – 15], а також кваліфікація фахівців

$$T_v = \frac{Kt + t_y}{p^k P},$$

де  $K$  – середня кількість перевірок при локалізації дефекту;

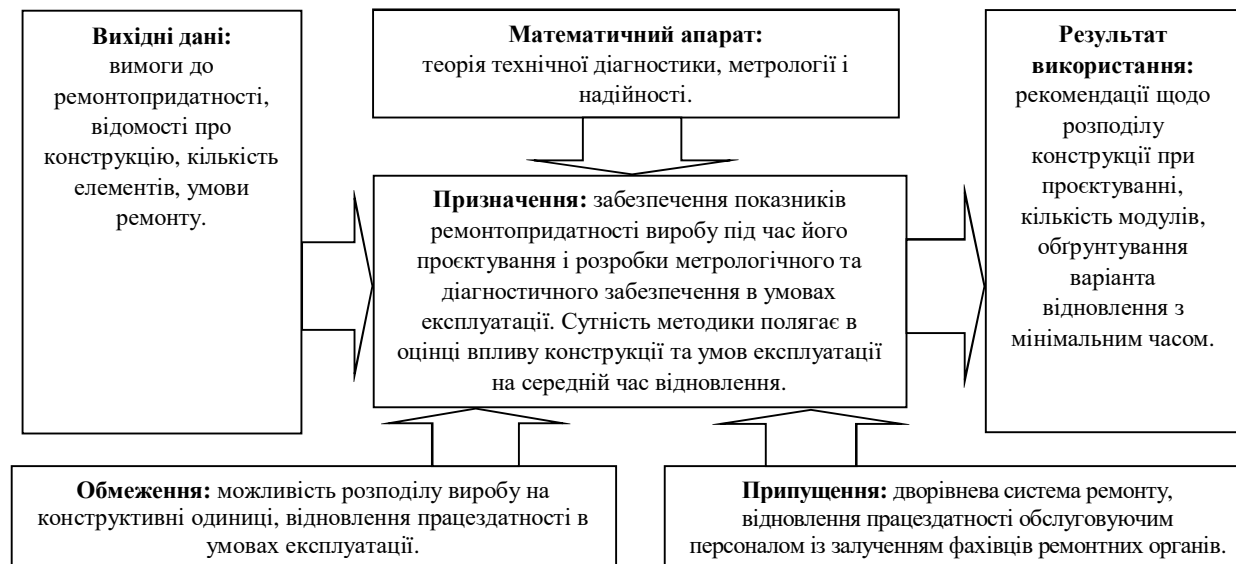


Рис. 1. Структура методики розробки діагностичного забезпечення багатовихідних об'єктів під час їх проектування та експлуатації

$t$  – середній час перевірки значення діагностичного параметра;

$t_y$  – середній час усунення несправності;

$p$  – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

$P$  – метрологічна надійність ЗВТ.

При цьому значення  $K$  залежить від якості МДЗ (виду УАД),  $p$  і  $P$  – від якості метрологічного забезпечення, а  $t$  і  $t_y$  – від кваліфікації фахівців.

Таким чином, необхідне значення  $K$  під час експлуатації РЕЗ можливо забезпечити зменшенням  $T_v$  за рахунок якісного МДЗ, а також підготовки фахівців.

Розглянемо рішення цього завдання на прикладі найбільш загальної частини РЕЗ – підсистеми електроживлення. Відомо, що ця підсистема з точки зору діагностики відноситься до класу БВО і багаторежимних об'єктів [2, 3, 6, 17, 18].

Керівні документи вимагають від виробника одночасно зі створенням зразка РЕЗ розробку технології його технічного обслуговування і ПР, тобто визначення необхідних для цього ЗВТ, розробки діагностичних програм для пошуку дефектів. Залежно від умов експлуатації РЕЗ можливе удосконалення МДЗ з використанням сучасних ЗВТ і досягнень технічної діагностики.

Реально при модульній конструкції РЕЗ, яка складається із блоків і типових елементів заміни (ТЕЗ), використовують двоетапний процес діагностування:

спочатку визначення несправного ТЕЗ, а потім несправного елемента в ньому. Найчастіше використовують варіанти, кількісна оцінка часу діагностування при реалізації яких наведена в табл. 1, де  $K_e = \log_2 L/M$  – середня кількість перевірок при пошуку несправного елемента в ТЕЗ за УАД,  $L$  – загальна кількість елементів РЕЗ,  $M$  – кількість блоків,  $t_3$  – середній час заміни блока,  $t_n$  – середній час перевірки показників індикаторів або вбудованих ЗВТ.

Таблиця 1

Середній час діагностування виробу

| № | Варіант   | Середня кількість перевірок при пошуку блока, $K_6$ | Середній час діагностування  |
|---|---|---|--|
| 1 | Вимірювання вихідних сигналів                       | $\frac{(M-1)(M+2)}{2M}$                             | $T_1 = \left( \frac{K_6}{p^{K_6}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right) \frac{t}{P}$ |
| 2 | Процедура пробних заміщень                          | $\frac{(M-1)(M+2)}{2M}$                             | $T_2 = K_6 t_3 + \frac{K_e t}{p^{K_e} P}$                                    |
| 3 | Перевірка показників індикаторів або вбудованих ЗВТ | $M$   | $T_3 = \frac{t_n K_6}{p_1^{K_6} P_1} + \frac{K_e t}{p_2^{K_e} P_2}$          |

За даними [21] в табл. 2 наведено значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання

діагностичного параметра. Показники метрологічної надійності ЗВТ за даними [8, 19, 22] наведені в табл. 3.

Таблиця 2

**Узагальнені відомості про помилкове рішення оцінки результату виконання вимірювальних операцій**

| № | Вимірювальні операції   | $1 - p$       |
|---|---|---------------|
| 1 | Сприйняття та оцінка показань одиночного стрілкового приладу: багат шкального             | 0,148...0,160 |
|   | простого  | 0,040...0,056 |
|   | з вертикальною лінійною шкалою  | 0,355         |
|   | з горизонтальною лінійною шкалою  | 0,275         |
|   | з круговою шкалою   | 0,109         |
|   | з напівкруглою шкалою   | 0,166         |
|   | зі шкалою у вигляді вікна   | 0,005         |
| 2 | Визначення значення "норма" по сектору на шкалі приладу                                   | 0,029         |
| 3 | Пошук, сприйняття та оцінка стану індикаторів: від одного до семи                         | 0,005         |
|   | від п'яти до п'ятнадцяти  | 0,010         |
| 4 | Сприйняття та оцінка показань цифрового приладу з кількістю розрядів: від одного до трьох | 0,0003        |
|   | від чотирьох до шести   | 0,0007        |
|   | від семи і більше   | 0,0015        |
| 5 | Прийняття рішення при декількох логічних умовах: одне, два                                | 0,005         |
|   | три, чотири   | 0,050         |
|   | п'ять і більше  | 0,100         |

Розглянемо порівняння варіантів діагностування при однакових умовах:  $L = 256$ ;  $p = 0,9997$ ;  $P = 0,98$ ;  $t = 3$  хв;  $t_3 = 1$  хв;  $t_{п} = 1$  хв.

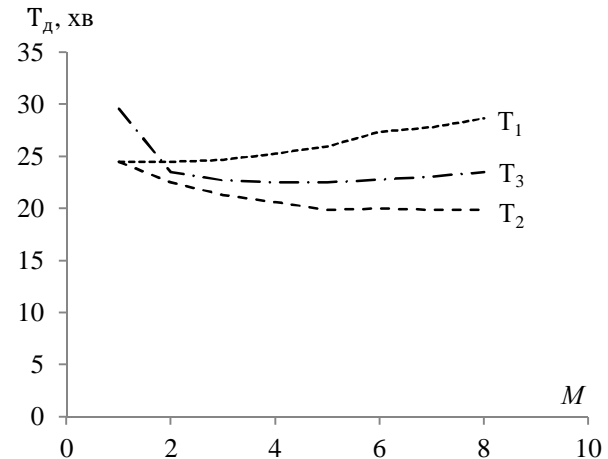
Таблиця 3

**Кількісна оцінка показників метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що використовуються під час обслуговування та ремонту короткохвильової радіостанції Р-1150**

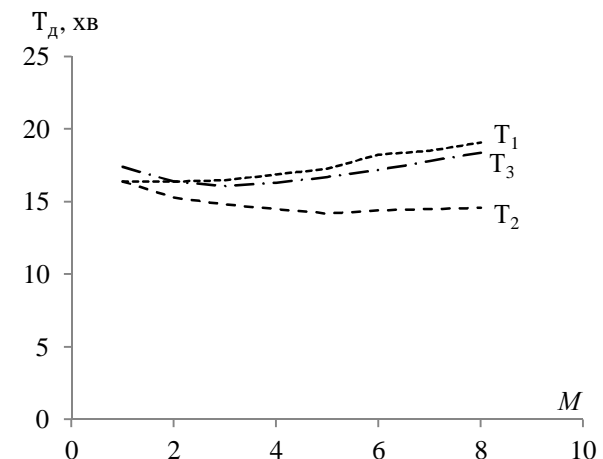
| №  | Засіб вимірювальної техніки                             | $T$ , год | $P$   |
|----|---|-----------|-------|
| 1  | Електровимірювальний багатофункціональний прилад Ц-4353 | 1500      | 0,877 |
| 2  | Вимірювач потужності М3-45                              | 2000      | 0,899 |
| 3  | Частотомір ЧЗ-63  | 3000      | 0,976 |
| 4  | Вимірювач нелінійних спотворень С6-11                   | 5000      | 0,997 |
| 5. | Мілівольметр ВЗ-56                                      | 4000      | 0,978 |
| 6  | Генератор височастотних сигналів Г4-151                 | 5000      | 0,989 |

Результати розрахунків згідно з табл. 1 залежно від кількості конструктивних одиниць (блоків) виробу наведено на рис. 2 для  $t = 3$  хв і на рис. 3 для  $t = 2$  хв.

Аналіз отриманих залежностей показує, що неправильний вибір процедури діагностування збільшує час пошуку дефекту до 43% (рис. 2,  $M = 8$ ,  $T_1/T_2 = 1,425$ ), а також ділення об'єкта на ТЕЗ без врахування вимог забезпечення показників ремонтпридатності збільшує час діагностування на 31% (рис. 2,  $T_3(M = 1)/T_3(M = 4) = 1,31$ ).

Рис. 2. Залежність середнього часу діагностування від кількості блоків при  $t = 3$  хв

Зі збільшенням кількості блоків  $M$  при постійному числі елементів  $L$  функція  $T_d(M)$  має мінімум, оскільки час визначення несправного блока збільшується, а час пошуку несправного елемента в ньому зменшується. Тобто під час проектування виробу можливо з врахуванням умов експлуатації оптимізувати конструкцію таким чином, щоб в подальшому мінімізувати час діагностування і забезпечити необхідне значення  $K$ , це завдання можливо вирішити традиційно із рівняння  $\frac{dT_d}{dM} = 0$  або алгоритмічно за допомогою ЕОМ.

Рис. 3. Залежність середнього часу діагностування від кількості блоків при  $t = 2$  хв

Порівняння рис. 2 і рис. 3 показує, що підвищення кваліфікації фахівців (скорочення часу виконання перевірки) зближує результати виконання варіантів діагностування.

Розглянемо можливість оптимізації конструкції виробу з використанням методів математичного аналізу для найбільш типового випадку – процедури пробних заміщень (ППЗ) (табл. 1). В такому разі

$$\frac{dT_2}{dM} = \frac{p^{-\ln \frac{L}{M} / \ln 2}}{2M^2 (\ln 2)^2} \left[ \ln 2 \left( t_3 (M^2 + 2) \ln 2 \cdot p^{\ln \frac{L}{M} / \ln 2} - 2 \frac{tM}{P} \right) + 2 \frac{tM}{P} \ln p \ln \frac{L}{M} \right].$$

Спростимо вираз з урахуванням того, що  $p \approx 1$ .

При цьому  $\ln p = 0$  і  $p^{\ln \frac{L}{M} / \ln 2} = 1$ . Тоді після перетворень отримуємо рівняння

$$\ln 2 \left( t_3 (M^2 + 2) \ln 2 - 2 \frac{tM}{P} \right) = 0,$$

яке має рішення при

$$M = \frac{t}{t_3 P \ln 2} + \sqrt{\left( \frac{t}{t_3 P \ln 2} \right)^2 - 2}.$$

Рішення існує, якщо  $(t/t_3 P \ln 2)^2 \geq 2$ , тобто  $t/t_3 \geq (0,96P^2)^{0,5} = 0,98P$ .

Для прикладу, що розглядається, необхідно виконання нерівності  $t/t_3 \geq 0,96$  при  $P = 0,98$ . Або, знаючи можливості фахівців ремонтного органу ( $t, t_3$ ), заздалегідь визначити мінімально необхідне значення метрологічної надійності ЗВТ.

Для прикладу, що наведено на рис. 3, оптимальна кількість блоків відповідає результатам прямих обчислень, так як значення  $M$  округлюється до цілого числа.

Розглянемо використання отриманих результатів на прикладі діагностування блока електроживлення БЗ-28 збуджувача і радіоприймача радіостанції середньої потужності за вихідними даними [18]:  $M = 14$ ;  $L = 53$ ;  $t = 2,5$  хв;  $t_{\pi} = 0,5$  хв;  $p_1 = 0,971$ ;  $p_2 = 0,9993$ ;  $P_1 = P_2 = 0,978$ . Вихідні напруги перевіряють вбудованим вольтметром, запобіжники омметром приладу Ц-4340, а змінну і постійну напругу в блоці цифровим вольтметром В7-27А. В такому разі доцільно використовувати можливості вбудованої системи контролю, тобто третій варіант діагностування

$$T_3 = \frac{0,5 \cdot 14}{0,971^{14} \cdot 0,978} + \frac{2 \cdot 2,5}{0,9993^2 \cdot 0,978} = 16 \text{ хв},$$

що задовольняє вимогам.

Конструкція виробу не дозволяє реалізацію другого варіанта діагностування, тому він не розглядається.

Якщо використовувати перший варіант діагностування, то  $T_1 = 29$  хв, що в 1,8 рази більше. Це показує як правильний вибір варіанта діагностування впливає на час відновлення працездатності РЕЗ.

Необхідні значення показників надійності РЕЗ в цілому і підсистем електроживлення, в тому числі, можливо забезпечити під час проектування обґрунтованим вибором елементної бази і конструкції виробу, а також в процесі експлуатації удосконаленням МДЗ використанням сучасних ЗВТ та досягнень технічної діагностики.

Блок-схема алгоритму обґрунтування конструкції виробу з врахуванням вимог до показників його ремонтпридатності наведено на рис. 4.

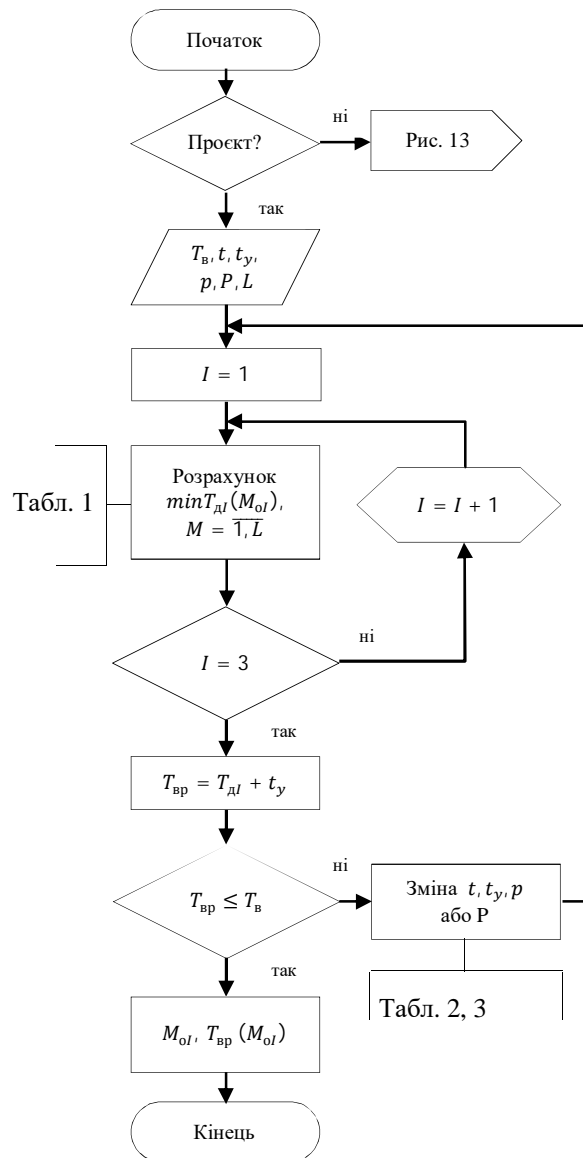


Рис. 4. Обґрунтування оптимальної кількості блоків під час проектування багатовихідних об'єктів за критерієм мінімуму середнього часу відновлення

В загальному випадку БВО (підсистема електроживлення, генераторне обладнання або виділення каналів зв'язку в радіорелейних станціях, станціях тропосферного зв'язку або багатоканальних апаратних польового зв'язку) можливо представити у вигляді рис. 5 (для підсистем електроживлення, це трансформатор зі вторинними обмотками, випрямлячами, фільтрами, стабілізаторами напруги), де  $M$  кількість

виходів (в загальному випадку – блоків БВО),  $n$  – кількість ТЕЗ, що входять до складу ЗІП з глибиною, до яких необхідно визначити дефект.

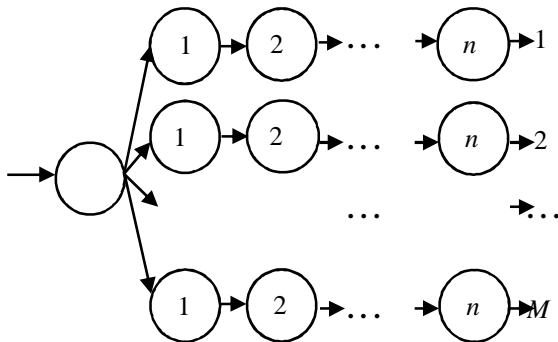


Рис. 5. Структурна схема багатовихідного об'єкта

Згідно з рекомендаціями [1] загальний УАД БВО приймає вигляд рис. 6.

Загальна кількість перевірок для цього УАД дорівнює

$$K_{\Sigma} = (n + 1)(1 + \log_2(n + 1)) + n \left( (M - 1) + \sum_{i=1}^{M-1} i + (M - 1) \log_2 n \right) = (n + 1)(1 + \log_2(n + 1)) + n((M - 1)(1 + \log_2 n) + 0,5(M - 1)M - 1),$$

а середня кількість перевірок при пошуку дефекту складає

$$K = \frac{K_{\Sigma}}{1 + nM} = \frac{K_{\Sigma}}{L},$$

де  $L$  – загальна кількість елементів БВО.

В такому разі середній час відновлення БВО

$$T_1 = \frac{K t_B}{p^k P},$$

де  $t_B$  – середній час вимірювання при виконання перевірки.

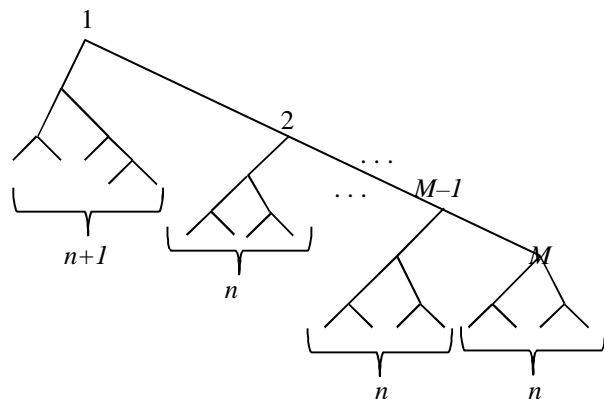


Рис. 6. Загальний умовний алгоритм діагностування багатовихідного об'єкта

На рис. 7 наведено залежності середнього часу відновлення БВО від кількості блоків ( $M$ ) і часу виконання вимірювання  $t_B$  за умови, що  $p = 0,9997$  і  $P = 0,98$  [8, 19], а  $L = 256$ .

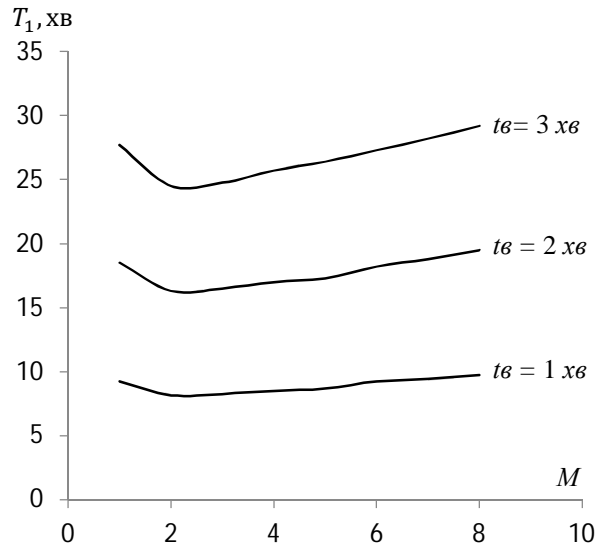


Рис. 7. Залежності середнього часу відновлення багатовихідного об'єкта від кількості блоків і часу виконання перевірки

Розглянемо другий варіант діагностування: вимірювання вихідних сигналів при пошуку несправного блока і його діагностуванні за УАД мінімальної форми:

$$K_6 = \frac{(M - 1)(M + 2)}{2M}, \quad K_e = \log_2 \frac{L}{M},$$

$$T_2 = \left( \frac{K_6}{p^{K_6}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right) \frac{t_B}{P},$$

де  $K_e$  – середня кількість перевірок при пошуку несправного ТЕЗ.

Вважаємо, що в обох випадках використовують один ЗВТ. На відміну від першого варіанта, це двоетапний процес діагностування. На рис. 8 наведено залежності  $T_2(M, t_B)$ , за тих самих умов, що і  $T_1$ .

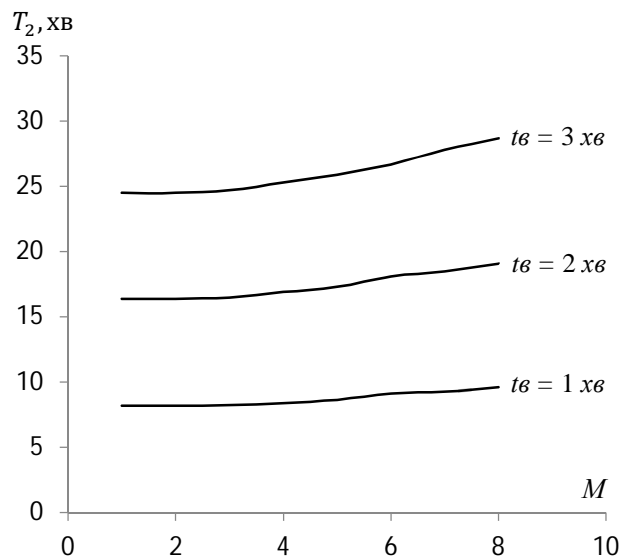


Рис. 8. Залежності середнього часу відновлення при двоетапному процесі діагностування багатовихідного об'єкта

Порівняння рис. 7 та рис. 8, показує, що цей варіант не є кращим за попередній, але зі збільшенням

значення  $M$  масмо повільніше зростання часу відновлення.

Розглядаємо далі двоетапний процес діагностування: пошук несправного блока ППЗ, а ТЕЗ як і раніше. ППЗ дуже проста і не потребує ЗВТ, а тільки справний комплект ТЕЗ в складі ЗІП або наявність справного комплекту ЗСЗ. При цьому середній час відновлення

$$T_3 = K_6 t_3 + \frac{K_e t_b}{p^{K_6 P}}.$$

Залежності  $T_3(M, t_b)$ , при  $t_3 = 1$  хв наведено на рис. 9.

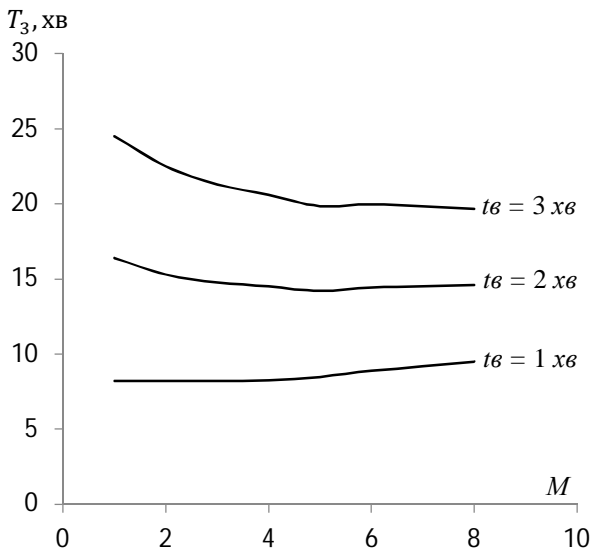


Рис. 9. Залежності середнього часу відновлення при використанні процедур пробних заміщень на першому етапі діагностування

Перевага цієї процедури виконується, якщо

$$T_2 - T_3 = K_6 \left( \frac{t_b}{p^{K_6 P}} - t_3 \right) > 0,$$

тобто

$$\frac{t_b}{t_3} > p^{K_6 P}.$$

Ця нерівність виконується завжди, оскільки  $t_b > t_3$ , а  $p^{K_6 P} < 1$ .

При відновленні ЗСЗ в польових умовах в апаратних технічних забезпечення на першому етапі діагностування доцільно використовувати груповий пошук дефектів, коли  $\mu$  фахівців одночасно виконують вимірювання значень параметрів. В такому разі максимальна кількість перевірок блоків дорівнює

$$K_m = \left[ \frac{M-1}{\mu} \right],$$

де  $[A]$  означає округлення числа  $A$  до цілого значення (наприклад  $[2,1] = 3$ ). Середнє значення кількості перевірок при груповому пошуку дефектів

$$K_r = \frac{\mu K_m (K_m + 1)}{2M},$$

тоді загальний час відновлення ЗСЗ дорівнює

$$T_4 = \frac{t_b}{P} \left( \frac{K_r}{p^{K_r}} + \frac{K_e}{p^{K_e}} \right).$$

Залежності  $T_4(M, t_b)$  при  $\mu = 2$  наведено на рис. 10.

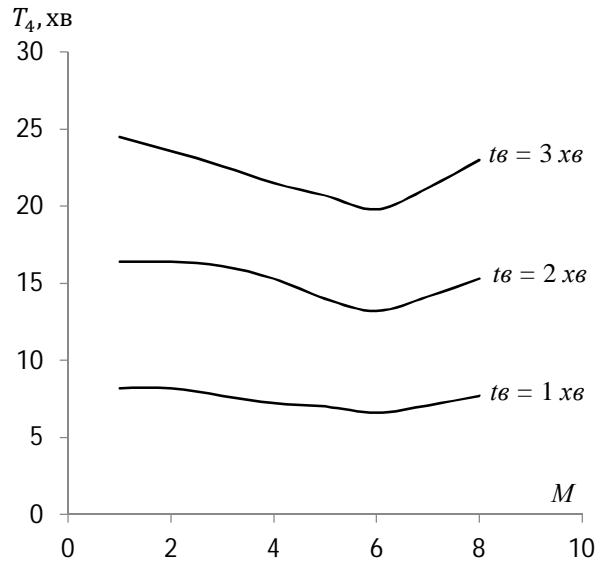


Рис. 10. Залежності середнього часу відновлення виробу при реалізації на першому етапі групового пошуку несправного блока

Порівняння двох останніх варіантів діагностування показує, що

$$T_3 - T_4 = K_6 t_3 - \frac{K_r t_b}{p^{K_r P}} > 0,$$

за умови

$$\frac{K_6}{K_r} p^{K_r P} > \frac{t_b}{t_3}.$$

Так як  $p^{K_r P} < 1$ , кількість фахівців  $\mu > 1$  і  $K_r < K_6$  за умови

$$\frac{M-1}{M+1} < \mu,$$

яка виконується завжди, то  $T_3 > T_4$ .

Якщо відсутні запобіжники, то для пошуку блока з коротким замиканням в ланцюгах електроживлення можливо використовувати процедуру відключення роз'ємів або вилучення блоків. Тоді спочатку доцільно відключати  $0,5M$  і перевірити електроживлення, потім  $0,25M$  і так доти, доки не буде встановлено блок з переваженням. Кількість блоків, що одночасно вимикаються на кожному кроці перевірки, зменшується вдвічі, тобто загальна кількість відключень дорівнює

$$N = \frac{M}{2} + \frac{M}{4} + \frac{M}{8} + \dots + \frac{M}{M} = M \sum_{i=1}^M 2^{-i} = M(1 - 2^{-M}).$$

В такому разі загальний час діагностування складає

$$T_5 = M(1 - 2^{-M}) t_p \log_2 M + t_b K_e / p^{K_e P},$$

де  $t_p$  – час відключення роз'ємів ( $t_p < t_b$ ).

Залежності  $T_5(M, t_b)$ , при  $t_p = 1$  хв наведено на рис. 11. Оскільки при двоступеневому пошуку дефектів (спершу блок, а потім ТЕЗ) завжди при збільшенні значення  $M$  у виробі час пошуку блока зростає, а час пошуку ТЕЗ зменшується, то функція  $T_i(M)$  має мінімальне значення, яке доцільно врахувати під час проєктування ЗСЗ. Це значення можливо знаходити алгоритмічним збільшенням значення  $M$  від одиниці і до  $L$ .

Порівняння варіантів показує, що завжди  $T_5 < T_3$ , оскільки

$$\frac{2M \log_2 M}{(M-1)(M+2)} < \frac{t_3}{t_p} < 1.$$

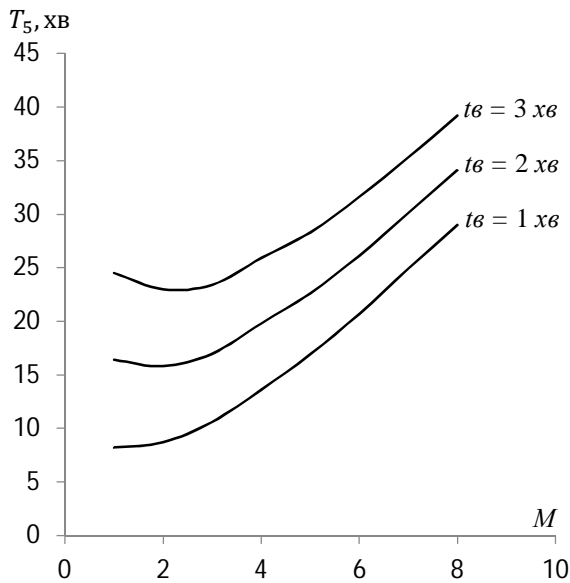


Рис. 11. Залежності середнього часу діагностування виробу з відключенням блоків від електроживлення

У найкращому випадку при наявності в об'єкті на всіх виходах блока електроживлення індикаторів або можливості перевірки напруги вбудованими ЗВТ, їх показання перевіряють з врахуванням ймовірності переважного вибору, тобто починаючи з найменш надійних. В такому разі загальний час діагностування складає

$$T_6 = \frac{M(t_n + t_i)}{p_1^M P_1} + \frac{t_b K_e}{p_2^{K_e} P_2},$$

якщо використовують вбудовані і зовнішні ЗВТ з різними значеннями  $p$  і  $P$ , де  $t_n$  – час переключення вбудованого приладу,  $t_i$  – час оцінки його показників.

Залежності  $T_6(M, t_b)$  при  $t_n + t_i = 1$  хв наведено на рис. 12 і також мають мінімальне значення при деякій кількості блоків.

Порівняння з попередньою процедурою діагностування показує, що  $T_6 < T_5$  при виконанні умови

$$\frac{1}{p_1^M P_1 (1 - 2^{-M}) \log_2 M} < \frac{t_p}{t_n + t_i}.$$

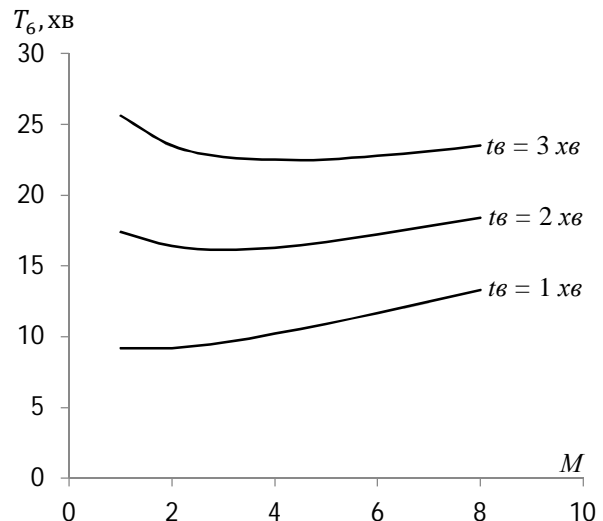


Рис. 12. Залежності середнього часу діагностування виробу від кількості блоків при використанні вбудованих і зовнішніх засобів вимірювань

Таким чином, розглянуто практично реалізовані варіанти діагностування БВО та отримано кількісну оцінку середнього часу діагностування. При цьому середній час відновлення в усіх випадках дорівнює

$$T_{vi} = T_i + t_y \leq T_{в доп},$$

де  $i = \overline{1, 6}$  – варіант діагностування,  $T_{в доп}$  – припустимий час відновлення згідно з керівними документами.

Аналіз отриманих результатів показує, що відсутня універсальна процедура діагностування, яка є кращою у всіх випадках.

Отримано функціональні залежності середнього часу діагностування від конструкції виробу і часових показників виконання операцій, які відрізняються від відомих врахуванням якості метрологічного забезпечення ПР ЗСЗ.

Блок-схема алгоритму обґрунтування МДЗ БВО під час ПР наведена на рис. 13.

## Висновки

Обґрунтовано пропозиції щодо підвищення ремонтпридатності засобів та комплексів спеціального зв'язку за рахунок оптимізації їх конструкції за критерієм мінімуму середнього часу відновлення під час проєктування перспективних зразків.

Використання отриманих результатів при проєктуванні перспективних та існуючих радіоелектронних засобів різноманітного призначення дозволяє підвищити ефективність поточного ремонту в реальних умовах.

Досліджено особливості діагностування засобів спеціального зв'язку при відхиленні значення параметрів від норми, обґрунтовано рекомендації щодо удосконалення діагностичного забезпечення з метою скорочення середнього часу відновлення.



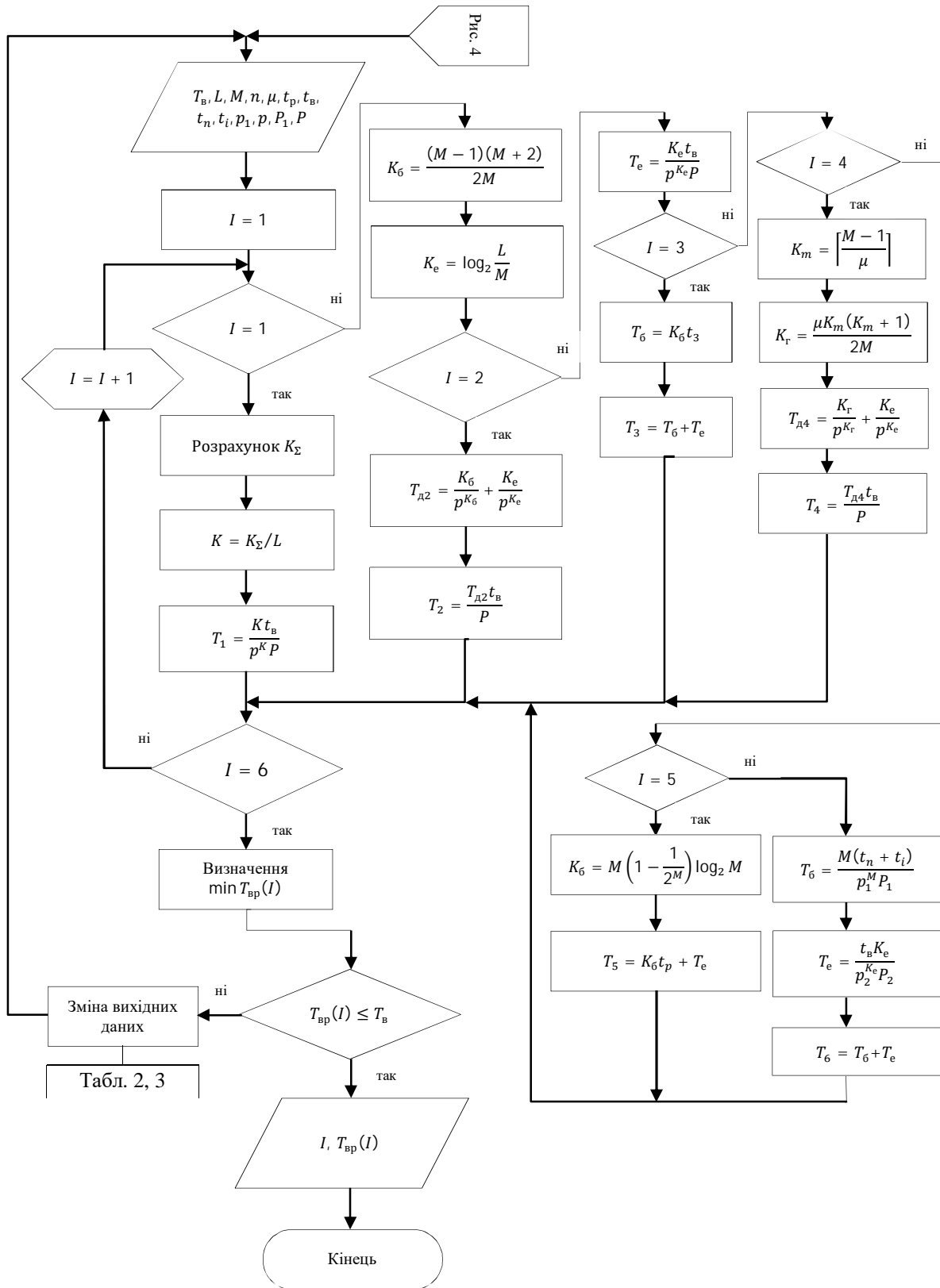


Рис. 13. Вибір алгоритму відновлення багатовихідного об'єкта під час поточного ремонту

Отримані результати доцільно використовувати під час розробки діагностичного забезпечення перспективних засобів спеціального зв'язку, а також і при удосконаленні існуючих. При цьому знята частина обмежень, які використовуються у відомих методиках,

що дозволяє підвищити ефективність науково-обґрунтованих практично реалізованих рекомендацій щодо часу відновлення засобів спеціального зв'язку при відмові їх джерел вторинного електроживлення.

Подальші дослідження слід направити на створення конструкції РЕЗ, яка мінімізує середній час відновлення при отриманні об'єктом аварійних або бойових пошкоджень слабкого ступеня в польових умовах, а також на автоматизацію реалізації отриманих результатів за допомогою ЕОМ для розробки ефективного діагностичного забезпечення існуючих та перспективних зразків ЗСЗ.

### Список літератури

1. Ксєнз С.П. Диагностика и ремонтнопригодность радиоэлектронных средств. Москва: Радио и связь, 1989. 248 с.
2. Сакович Л.Н., Бобро Р.А. Ремонт вторичных источников электропитания техники связи. *Зв'язок*. Київ, 2005, № 7, С. 56–60.
3. Желнов А.И., Романенко В.П. Электроживления систем зв'язку. Київ: ІСЗЗІ НТУУ “КПІ”, 2016. 84 с.
4. Липкань О. Военная техника связи. Київ: УНІАН, 2000, Вип. 28 (116), С. 9–10.
5. Рижев Є.В., Сакович Л.М., Ходич О.В., Ковальов О.В., Настишин Ю.А. Дослідження діагностичних моделей підсистем електроживлення радіоелектронних засобів. *Військово-технічний збірник*. 2021. № 25. С. 76-84. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.76-84>.
6. Сакович Л.Н., Курченко О.А. Диагностирование многовыходных аналоговых объектов. *Зв'язок*. Київ, 2001, № 3, С. 52–54.
7. Богдан Я.Ю., Сакович Л.М. Особливості відновлення працездатності підсистеми електроживлення засобів спеціального зв'язку. *Науково-практична конференція “Актуальні питання застосування спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем” 23–24 червня 2020 року*. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Сікорського, 2020, с. 154.
8. Кононов В.Б., Водолажко О.В., Коваль О.В., Науменко А.М., Кондратова І.І. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.
9. Острейковский В.А. Теория надежности. Москва: Высшая школа, 2003. 463 с.
10. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
11. Васишин В.І., Женжера С.В., Чечуй С.В., Глушко А.І. Основы теории надёжности та експлуатації радіоелектронних систем. Харків: ХНУПС, 2018. 268 с.
12. Жаднов В.В. Расчёт надёжности электронных модулей. Москва: Салон-Пресс, 2016. 232 с.
13. Ксєнз С.П., Полтаржицкий М.И., Алексеев С.П., Минеев В.В. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации. Санкт-Петербург: ВАС, 2010. 240 с.
14. Рижев 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>
15. Рижев Є.В., Сакович Л.М. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на показники ремонтпридатності військової техніки зв'язку. *Науково-технічний журнал ЦНДІ ОВТ ЗС України*, Київ, 2018, № 2 (18), С. 58–61.
16. Сакович Л.М., Рижев Є.В., Настишин Ю.А., Мирошниченко Ю.В., Коротченко Л.А. Методика визначення послідовності перевірки радіоелектронних комплексів при технічному обслуговуванні за станом. *Військово-технічний*

збірник. 2020. № 22. С. 66-73. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.66-73>.

17. Сакович Л.Н., Мервинский А.И. Функциональное диагностирование многовыходных объектов. *Зв'язок*. Київ, 2003, № 1, С. 60–61.
18. Сакович Л.М., Ходич О.В., Мирошниченко Ю.В. Дослідження умовних алгоритмів діагностування багатовихідних об'єктів. “*Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації*”. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020, Вип. 2 (8), С. 47–56.
19. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin. Optimization of requirements for measuring at metrological service of communication tools. *Measurement Journal of International Measurement Confederation*. 2018. Vol. 123. P. 19 – 25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.03.055>
20. 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>.
21. Сакович Л.М., Рьжаков В.А., Павлов В.П. Выбор средств измерений для технического обслуживания и текущего ремонта оборудования систем защиты информации. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. Київ: НТУУ “КПІ”, 2003, Вип. 7, С. 77–85.
22. Volodymyr Kononov, Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych. Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support. *Advanced Information Systems*. Vol. 2, № 1, P. 91 – 95. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>

### References

1. Ksenz S.P. (1989), “*Diagnostika i remontoprignodnost' radioelektronnykh sredstv*” [Diagnostics and maintainability of radio-electronic equipment]. Moscow: Radio and Communication, 248 p. [in Russian]
2. Sakovich L.N. and Bobro R.A. (2005), “*Remont vtorichnykh istochnikov elektropitaniya tekhniki svyazi*” [Repair of secondary power supplies of communication equipment]. Communication. № 7. pp. 56-60. [in Russian]
3. Zhelnov A.I. and Romanenko V.P. (2016), “*Elektrozhyvlennya system zv'yazku*” [Power supply of communication systems]. Kyiv: ISZZI KPI named after. I. Sikorsky, 84 p. [in Ukrainian]
4. Lipkan O. (2000), “*Voennaia tekhnika svyazi*” [Military communications equipment]. Kiev: UNIAN, Vol. 28 (116), P. 9-10. [in Russian]
5. Ryzhov Ye.V., Sakovych L.M., Khodych O.V., Kovalev O.V. and Nastyshyn Yu.A. (2021), Doslidzhennia diahnostychnykh modelei pidsystemy elektrozhyvlennia radioelektronnykh zasobiv [Research of diagnostic models of power supply subsystems of radio electronic devices]. *Military Technical Collection*. № 25. pp. 76-84. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.76-84>. [in Ukrainian]
6. Sakovich L.N. and Kurchenko O.A. (2001), “*Dyahnostyrovanye mnohovykhodnykh analogovykh obektov*” [Diagnostics of multi-output analog objects]. *Communication*. № 3. pp. 52-54. [in Russian]
7. Bohdan Y.Yu. and Sakovich L.M. (2020), “*Osoblyvosti vidnovlennia pratsездatnosti pidsystemy elektrozhyvlennia zasobiv spetsialnoho zv'yazku*” [Peculiarities of restoring the power supply subsystem of special communications equipment]:

*Scientific and practical conference "Actual issues of application of special information and telecommunication systems"* on June 23-24, 2020. Kyiv: ISZZI KPI named after Sikorsky, 154 p. [in Ukrainian]

8. Kononov V.B., Vodolozhko O.V. and Koval O.V. (2017), *"Osnovy ekspluatatsiji zasobiv vymirjuval'noji tekhniki vijs'kovoho pryznachennja v umovax provedennja ATO"* [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes in the Conditions of ATO]: Teaching. Manual. Kh. KhNUPS, 288 p. [in Ukrainian]

9. Ostreykovsky V.A. (2003), *"Teoriya nadezhnosti"* [Reliability theory]. Moscow: Higher School, 463 p. [in Russian]

10. Polovko A.M. and Gurov S.V. (2006), *"Osnovy teorii nadezhnosti"* [Fundamentals of reliability theory]. St. Petersburg: BHC-Petersburg, 704 p. [in Russian]

11. Vasilishin V.I., Zhenzhera S.V., Chechuy O.V. and 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. [in Russian]

12. Zhadnov V.V. (2006), *"Raschët nadëzhnosti elektronnykh modulei"* [Reliability calculation of electronic modules]. Moscow: Salon-Press, 232 p. [in Russian]

13. Ksenz S.P., Polzharzhickij M.I., Alekseev S.P. and Mineev V.V. (2006), *"Borba s diagnosticheskimi oshibkami pri tehničeskom obsluzhivanii i remonte sistem upravleniya svyazi i navigatsii"* [Combat diagnostic errors in the maintenance and repair of communication and navigation control systems]. St. Petersburg: VAS, 240 p. [in Russian]

14. Ryzhov Ye.V., Sakovych L.M., Hlukhov S.I. and Nastyshyn Yu.A. (2021), *Otsinka vplyvu diahnostychnoho zabezpechennja 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> [in Ukrainian]

15. Ryzhov Ye. and Sakovych L. (2018), *"Otsinka vplyvu metrolohichnoi nadiinosti zasobiv vymiriuvanoi tekhniki na pokaznyky remontoprydatnosti viiskovoi tekhniki zviazku"* [Estimation of influence of metrological reliability of means of measuring equipment on indicators of maintainability of military communication equipment]. *Weapons and military*

*equipment*. Issue №2(18). pp. 58–61. DOI: [https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2\(18\).58-61](https://doi.org/10.34169/2414-0651.2018.2(18).58-61) [in Ukrainian]

16. Sakovych L.M., Ryzhov Ye.V., Nastyshyn Yu.A. and Myroshnychenko Yu.V. (2020), *Metodyka vyznachennja poslidovnosti perevirky radioelektronnykh kompleksiv pry tekhnichnomu obsluhovuvanni za stanom*. [The method of determining the sequence of checking radio-electronic complexes during maintenance according to condition]. *Military Technical Collection*. № 22. P. 66-73. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.66-73>. [in Ukrainian]

17. Sakovich L.N. and Mervinskiy A.N. (2003), *"Funksional'noye diagnostirovaniye mnogovykhodnykh ob'yektov"* [Functional diagnostics of multi-output objects]. *Communication*, №1. pp. 60-61. [in Russian]

18. Sakovych L.M., Hoduch O.V. and Myroshnychenko Yu.V. (2020) *"Doslidzhennja umovnykh alhorytmiv diahnostuvannja bahatovykhidnykh ob'ektiv"* [Study of conditional algorithms for diagnosing multi-source objects]. *Special telecommunication systems and information protection*. Kyiv: ISZZI KPI named after Igor Sikorskyi, 2020, Vol. 2 (8), pp. 47-56. [in Ukrainian]

19. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev and Yuriy Nastishin. (2018), *Optimizatsiya vyznachennja vymagannj do instrumentiv metrolohichnoho obsluzhuvannja. Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. Volume 123). pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.

20. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Oleksandr Puchkov and 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>

21. Sakovich L.M., Ryzhakov V.A. and Pavlov V.P. (2003), *"Vybor sredstv yzmereniy dlia tekhnicheskogo obsluzhivannja y tekushchego remonta oborudovannja sistem zashchyty informatsii"* [Selection of measuring instruments for maintenance and current repair of equipment of information security systems]. *Legal, normative and metrological support of the information protection system in Ukraine*. Kyiv: NTUU "KPI", Vol. 7, pp. 77-85. [in Russian]

22. Volodymyr Kononov, Yevhen Ryzhov and Lev Sakovych. (2018), *Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support*. *Advanced Information Systems*. Vol. 2, № 1, pp. 91–95. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>

## METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF DIAGNOSTIC SUPPORT OF MULTIPLE-OUTPUT OBJECTS DURING THEIR DESIGN AND OPERATION

L.N. Sakovych, Ye.V. Ryzhov, Yu.V. Mirosnichenko, A.A. Greenday, Yu.A. Nastishin

*Despite the rapid increase in the reliability of the elemental base of modern means of special communication, the issue of ensuring their maintainability, the value of which indicators are regulated by governing documents, is an urgent issue. Searching for faulty elements takes up a significant amount of time in the current repair of special communication equipment, so improving the diagnostic support is quite important. This is achieved by using effective algorithms for the search activity of craftsmen, which reduce the required number of checks for damaged equipment. It was established that up to 30% of failures of special communication means are caused by malfunctions of their secondary power supply, which belong to the class of multi-output objects. In the article, with the use of modern achievements of technical diagnostics and metrology, which were not taken into account before, possible options for constructing conditional algorithms of diagnostics are investigated. Also, their quality indicators are studied depending on the structural features of the object of diagnosis and the results of comparison are given. The conditions for the preferential selection of defect search algorithms based on the criterion of the minimum average recovery time have been established, and the procedure for solving this task has been formalized.*

*Approaches to ensuring the necessary level of reliability of radio-electronic means during the design of the design of the products are also considered, taking into account the metrological and diagnostic support for their operation. It is known that up to 80% of the time of current repairs is spent searching for defects, so special attention is paid to the effect of product design on minimizing the average time of diagnosis. Considered possible options for restoring the functionality of multi-output objects, which include power supply subsystems. It is shown that a well-reasoned choice of design, metrological and diagnostic support reduces the time of current repair by up to 30%.*

**Keywords:** multi-output objects, diagnostic support, design, technical operation, ongoing repair.