

trees, a set of models was built, which provided effective classification and prediction of the technical condition of samples. The paper proposes a set of general indicators (parameters), which allows to effectively present the general characteristics of the classification tree model, it is possible to use it to select the most optimal tree of algorithms from a set based on methods of random classification trees. Practical tests have confirmed the efficiency of mathematical software and models of algorithm trees.

Keywords: classification model, discrete object, algorithmic classification tree, generalized feature

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦОВ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ ДЕРЕВЬЕВ

В.П. Дудник, А.А. Гріщин, В.Ю. Нетребко, Р.Л. Прус, М.Я. Волощук

Эффективный механизм синтеза классификационных деревьев на основе фиксированной исходной информации (в виде обучающей выборки) для задачи распознавания технического состояния образцов вооружения и военной техники. Построенное дерево алгоритмической классификации (модель) безошибочно классифицирует (распознает) всю обучающую выборку (ситуационные объекты), по которым построена схема классификации. Имеют минимальную структуру (структурную сложность) и состоят из компонентов (модулей) - автономных алгоритмов классификации и распознавания как вершин структуры (атрибутов дерева). Разработанный метод построения моделей деревьев алгоритмов (классификационных схем) позволяет работать с обучающими выборками большого количества разного типа информации (дискретного типа). Обеспечивает высокую точность, скорость и экономию аппаратных ресурсов в процессе генерации итоговой схемы классификации, построения деревьев (моделей) классификации с заданной точностью.

Предлагается подход синтеза новых алгоритмов распознавания (классификации) на основе библиотеки (набора) уже известных алгоритмов (схем) и методов. На основе предложенной концепции деревьев алгоритмической классификации был построен набор моделей, обеспечивающий эффективную классификацию и прогноз технического состояния образцов. В статье предлагается набор общих показателей (параметров), позволяющий эффективно представить общие характеристики модели дерева классификации, с его помощью можно выбрать наиболее оптимальное дерево алгоритмов из набора на основе методов деревьев случайной классификации. Практические испытания подтвердили эффективность математического программного обеспечения и моделей деревьев алгоритмов.

Ключевые слова: классификационная модель, дискретный объект, алгоритмическое классификационное дерево, обобщенный признак.

УДК 623.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.76-84>

Є.В. Рижев¹, Л.М. Сакович², О.В. Ходич³, О.В. Ковальов³, Ю.А. Настишин¹

¹Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

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

³Національна академія Служби безпеки України, Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПІДСИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Комплексний показник надійності радіоелектронних засобів – коефіцієнт готовності – суттєво залежить від середнього часу їх відновлення. При цьому найбільші працевитрати фахівці ремонтних органів витрачають на пошук несправного елемента. Діагностичне забезпечення ремонту залежить від моделей, які використовують при розробці алгоритмів пошуку дефектів. Найбільш поширене використання діагностичних моделей у вигляді графа інформаційно-енергетичних зв'язків, який складається з трьох видів структур: послідовне з'єднання елементів, конвергуючі і дивергуючі. При цьому останні не отримали необхідного дослідження.

У статті в результаті дослідження впливу форм графа інформаційно-енергетичних зв'язків на показники якості діагностичного забезпечення підсистем електроживлення радіоелектронних засобів вперше отримано аналітичні залежності кількісної оцінки керованих змінних на середній час відновлення. Це дозволяє підвищити якість діагностичного забезпечення існуючих і перспективних зразків під час їх проектування. Мінімізація діагностичних помилок дає можливість перевірки доцільності використання діагностичного і метрологічного забезпечення під час поточного ремонту радіоелектронних засобів агрегатним методом, що зменшує час відновлення працездатності, особливо в польових умовах.

Розглянуто можливі в залежності від обсягу вихідних даних способи кількісної оцінки ймовірності переважного вибору гілок підсистем електроживлення радіоелектронних засобів, що також знижує середній час їх відновлення за рахунок перевірки в першу чергу найменш надійних і які не потребують багато часу на виконання перевірок і усунення несправностей.

Отримані результати доцільно використовувати під час удосконалення діагностичного і метрологічного забезпечення підсистем електроживлення існуючих радіоелектронних засобів і його розробки для перспективних зразків з метою підвищення якості поточного ремонту незалежно від структури вибору.

Ключові слова: радіоелектронні засоби, підсистеми електроживлення, діагностичне і метрологічне забезпечення, дивергуючі структури.

Постановка проблеми

На час поточного ремонту радіоелектронних засобів (РЕЗ) суттєво впливає якість діагностичного забезпечення. Під час його розробки використовують різноманітні моделі об'єктів діагностування: таблиці типових несправностей у найпростішому випадку, функціональні і принципові схеми РЕЗ, таблиці функцій несправностей, графі інформаційно-енергетичних зв'язків (ГЕЗ) та інші [1].

Використання ГЕЗ дозволяє отримати умовний алгоритм пошуку дефектів мінімальної форми за обраним критерієм: мінімум часу відновлення при обмеженому часі ремонту або максимум ймовірності відновлення за встановлений час.

Встановлено, що ГЕЗ складається із елементарних структур трьох видів: послідовне з'єднання елементів, конвергуючі або дивергуючі. Останні притаманні підсистемам електроживлення РЕЗ і багатоканальним засобам зв'язку.

У дійсний час найбільш досліджені етапи розробки діагностичного забезпечення РЕЗ з кількісною оцінкою показників якості для послідовного з'єднання елементів: середня кількість перевірок, ймовірність отримання правильного діагнозу, а також можливе відхилення визначення несправного елемента при помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки. При цьому алгоритм можливо використовувати для розробки програми діагностування, якщо навіть при помилці фахівця несправний елемент знаходиться в конструктивному елементі, який замінюють при ремонті агрегатним методом [2].

При послідовному з'єднанні елементів алгоритм має властивість мінімізації відхилення хибного діагнозу від істинного. Для цього випадку отримано функціональні залежності кількісної оцінки значення цього показника діагностичного забезпечення РЕЗ.

Але недостатньо досліджені діагностичні моделі дивергуючих структур, які складають основу підсистем електроживлення РЕЗ. Тому це завдання є досить актуальним і потребує додаткового дослідження для підвищення ефективності їх поточного ремонту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Встановлено, що до 30% відмов РЕЗ обумовлено недостатньою надійністю їх підсистем електроживлення [3-6], які відносяться до багато вихідних об'єктів [7, 8]. В роботах [1, 2, 9, 10] отримано кількісну оцінку показників якості діагностичного забезпечення РЕЗ: середня кількість перевірок при пошуку дефектів K , математичне сподівання відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату використання перевірки ρ і його максимальне значення ρ_{\max} , а також функції розподілу ймовірності діагностичних помилок $P(r \leq N)$, де N - задане максимально припустиме відхилення діагнозу.

Відомі результати досліджень показників якості умовних алгоритмів діагностування (УАД) бінарних (кількість можливих результатів виконання перевірки - модуль вибору - $m = 2$), однорідних ($m = \text{const}$), групових (пошук дефектів в РЕЗ великої розмірності з рознесеними в просторі елементами одночасно групою μ фахівців), а також з регулярним зменшенням або збільшенням модуля вибору від 2 (норма, не норма) до M (відсутність сигналу менше норми, норма, більше норми і так далі), зведено в табл. 1, де додатково позначено:

L - кількість елементів РЕЗ;

p - ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки ($g = 1 - p$).

Наприклад, $L = 32$, $m = 2$, $K = 5$, ймовірність правильної постановки діагнозу $P = 0,995$ при цьому можливе його відхилення від істинного значення на $r = 1$ елемент з ймовірністю 0,3877, до двох елементів $r = 2$ з ймовірністю 0,575 і до трьох елементів $r = 3$ з ймовірністю 0,6625 [9, 10].

Крім того, в останні роки досить інтенсивно досліджується вплив метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) на якість діагностичного забезпечення РЕЗ [11-15].

Таблиця 1

Показники якості умовних алгоритмів діагностування

Вид УАД	Середня кількість перевірок, K	Математичне сподівання відхилення діагнозу, ρ	Максимальне значення відхилення діагнозу, ρ_{\max}	Функції розподілу ймовірності діагностичних помилок, $P(r \leq N)$
Бінарний $m = 2$	$\log_2 L$	$0,5(L + K - 1)gp^{K-1}$	$(L - 1)gp^{K-1}$	$\frac{1}{KL} \left[2 - (L + a(2^{K-b-1}) - 2^{b-1}) + bL - 2^b \right]$ $N = 2^b + a; \quad b = \lfloor \log_2 N \rfloor; \quad a = N - 2^b$
Однорідний $m = \text{const}$	$\log_m L$	$\frac{m-1}{m} \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) gp^{K-1}$	$\left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) gp^{K-1}$	$\frac{1}{KL} \left[\frac{m}{m-1} \left(L + a \left(\frac{L}{m^{b+1}} - 1 \right) - m^{b-1} \right) + bL - m^b \right]$ $N = m^b + a; \quad b = \lfloor \log_m N \rfloor; \quad a = N - m^b$
Груповий $1 \leq \mu = \text{const}$	$\log_{\mu+1} L$	$\frac{\mu gp^{\mu K-1}}{\mu+1} \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right)$	$\left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) gp^{\mu K-1}$	$\frac{1}{KL} \left[\frac{\mu+1}{\mu} \left(L + a \left(\frac{L}{(\mu+1)^{b+1}} - 1 \right) - (\mu+1)^{b-1} \right) + bL - (\mu+1)^b \right]$ $N = (\mu+1)^b + a; \quad b = \lfloor \log_{\mu+1} N \rfloor; \quad a = N - (\mu+1)^b$
Зі зменшенням модуля вибору $M \geq m \geq 2$	$M - 1$	$gp^{K-1} \sum_{i=1}^K \frac{(M-i)(1+(M-i)!)}{M-i+1}$	$\left\{ \left[\sum_{i=1}^K (i+1) \right] - 1 \right\} gp^{K-1}$	
Зі збільшенням модуля вибору $2 \leq m \leq M$	$M - 1$	$gp^{K-1} \sum_{i=1}^K \left[\frac{i}{i+1} \left(1 + \frac{L}{(i+1)!} \right) \right]$	$\left[1 + L \sum_{i=2}^K \frac{1}{i!} \right] gp^{K-1}$	

Хоча дивергуючі структури досить розповсюджені в РЕЗ, окремо їх діагностування в відомих роботах не розглядалось.

Таким чином виникає актуальна **мета статті** – дослідження впливу керованих змінних на показники якості діагностичного забезпечення дивергуючих структур РЕЗ для підвищення його ефективності.

Виклад основного матеріалу

Математична постановка завдання. Відомо, що до 80% часу відновлення РЕЗ складає пошук дефектів [1-8], тому необхідно отримати функціональні залежності середнього часу відновлення T_B дивергуючих структур від керованих змінних: часу виконання перевірки t і усунення несправності t_y (залежить від кваліфікації фахівців), ймовірності правильної постановки діагнозу $P_\partial = p^K$ (залежить від форми УАД і метрологічних характеристик ЗВТ) [1, 2, 10-15].

Крім того, необхідно кількісно оцінити межі зміни математичного сподівання відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в результаті виконання перевірки: УАД можливо використовувати для розробки програми діагностування, якщо $\rho \leq 0,5$ і $\rho_{\max} \leq 1$ [1, 2, 13], а значення T_B не перевищує припустимий час $T_{ВЛ}$.

Дослідження показників якості алгоритмів діагностування дивергуючих структур. Цей вид структур найбільш широко використовується в підсистемах електроживлення РЕЗ [3-8]. Приклад дивергуючої структури наведено на рис. 1, а її УАД на рис. 2, де результат 0 – справний стан виробу.

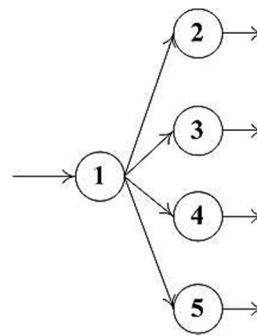


Рис. 1. Приклад дивергуючої структури

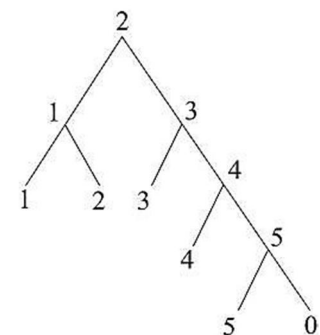


Рис. 2. Умовний алгоритм діагностування

Незалежно від кількості елементів L середня кількість перевірок дорівнює

$$K\partial = \frac{4 + \sum_{i=2}^{L-1} i + (L-1)}{L+1} = \frac{L(L+1)+4}{2(L+1)}$$

При зростанні кількості елементів отримуємо

$$\lim_{L \rightarrow \infty} K\partial = 0,5L$$

Розглянемо відхилення діагнозу за УАД при відмові елемента i :

$$\rho_1 = 2gp + gp;$$

$$\rho_2 = 4gp^3 + gp;$$

$$\rho_3 = gp + 3gp^3;$$

$$\rho_4 = 2gp + gp + 2gp^3;$$

$$\rho_5 = 3gp + 2gp + gp^2 + gp^3;$$

$$\rho_0 = 4gp + 3gp + 2gp^2 + gp^3.$$

У цьому випадку завжди незалежно від L мінімальне значення дорівнює ρ_2 , а максимальне ρ_0 , тобто

$$3gp < \rho_0 < g \left[(L-1)p + \sum_{i=1}^{L-2} p^i (L-1-i) \right].$$

Результати розрахунку ρ_0 при $p=0,95$ і $g=0,05$ для $L=5$ наведено на рис. 3.

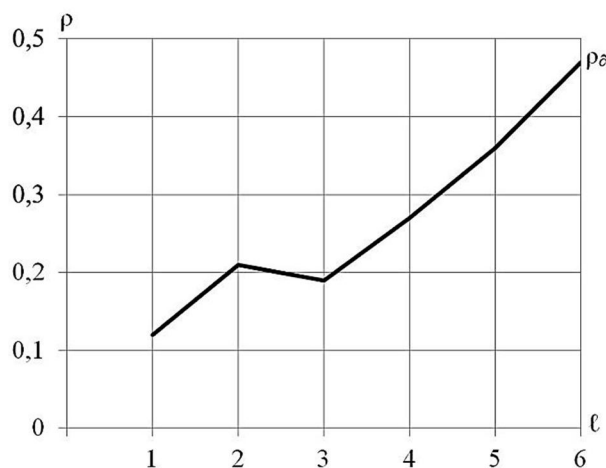


Рис. 3. Залежність математичного сподівання відхилення діагнозу від несправного елемента l

Середній час відновлення дивергуючої структури дорівнює

$$T_{B0} = \frac{L(L+1)+4}{2(L+1)}t + ty,$$

а ймовірність правильної постановки діагнозу

$$P_0 = p^{K_0}.$$

УАД можливо перетворювати в діагностичну програму, якщо

$$g \left[(L-1)p + \sum_{i=1}^{L-2} p^i (L-1-i) \right] \leq 1,$$

а також $T_{B0} / P_0 \leq T_{BП}$.

При цьому математичне сподівання відхилення діагнозу не перевищує [5]

$$\rho = \frac{1-p}{L} \sum_{i=1}^{L-1} d_i (2^i - 1) p^{i-1} \leq 0,5,$$

де d_i – кількість діагнозів після виконання i перевірок (наприклад, на рис. 2: $d_1 = 0$, $d_2 = 3$, $d_3 = 1$, $d_4 = 2$).

Дослідження впливу керованих змінних на показники якості діагностичного забезпечення. Порівняння всіх показників якості виконується відносно структури об'єкта з послідовного з'єднання елементів, тобто "ланцюг", коли середня кількість перевірок при пошуку дефектів дорівнює

$$K_{Л} = \log_2 L.$$

На рис. 4 наведено залежності середньої кількості перевірок для двох структур об'єкта, при цьому маємо практично лінійну залежність K_0 від розмірності об'єкта L , коли збільшення L від 20 до 50 веде також до зростання відношення $K_0 / K_{Л}$ в 2,8 разу.

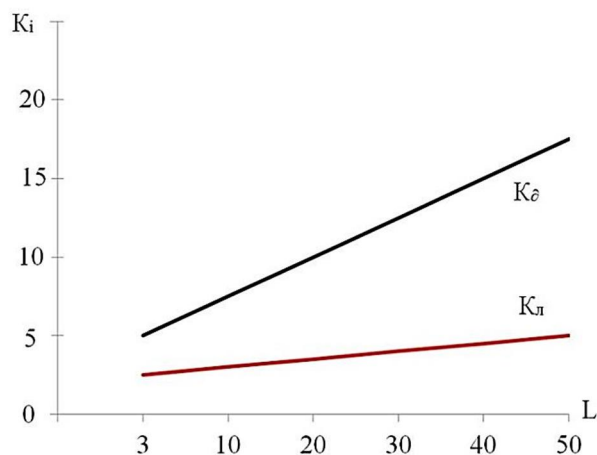


Рис. 4. Залежності середньої кількості перевірок від розмірності об'єкта і його структури

Відповідно маємо зростання P в усіх випадках при підвищенні якості метрологічного забезпечення ремонту (рис. 5): при збільшенні значення P всього на 5% маємо зростання P_0 в 1,52 разу.

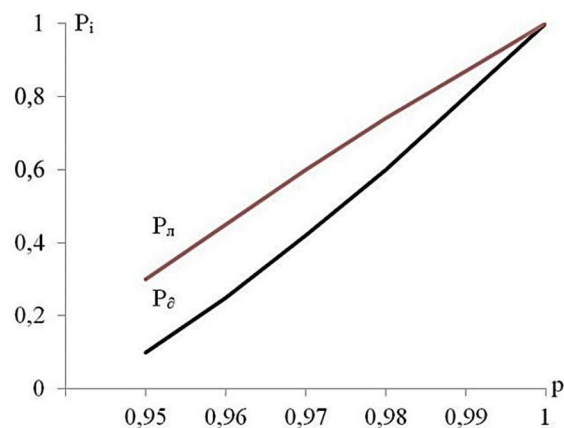


Рис. 5. Залежності ймовірності правильної постановки діагнозу від структури об'єкта і ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки для $L=20$

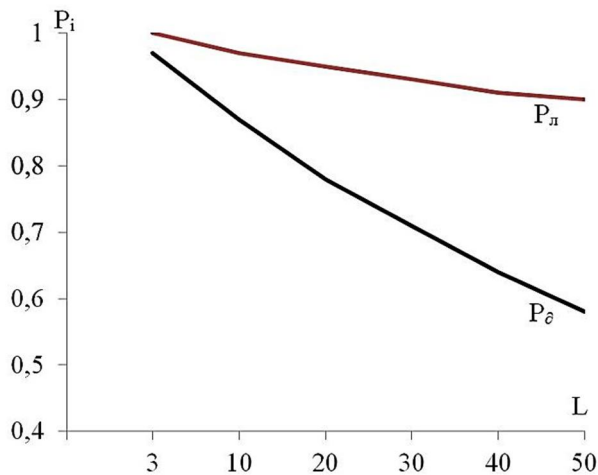


Рис. 6. Залежності ймовірності правильної постановки діагнозу від структури об'єкта і його розмірності для $p = 0,97$

Зрозуміло, що цей показник при постійному значенні P буде зменшуватись у міру збільшення розмірності об'єкта L , що відображено на рис. 6. Наприклад, при збільшенні L в 5 разів маємо, відповідно, зменшення $P_{л}$ в 1,07 разу, а $P_{д}$ в 1,83 разу.

Отримання залежностей $P(p, K_i)$ дозволяє кількісно оцінити вплив керованих змінних на якість діагностичного забезпечення з врахуванням метрологічних характеристик ЗВТ: $T_{Bi} = \frac{K_i t + t_y}{P_i}$.

На рис. 7 наведено залежності середнього часу відновлення різних структур об'єкта при мінімальній кількості $L = 20$, $p = 0,98$ і $t_y = 5$ хв від часу виконання перевірки t , яка залежить від кваліфікації фахівця.

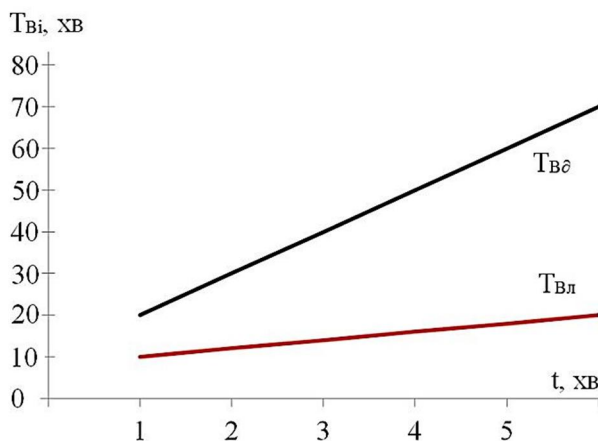


Рис. 7. Залежності середнього часу відновлення об'єкта від його структури і часу виконання перевірки

Із їх аналізу слідує, що скорочення часу виконання перевірки в 5 разів (з 5 хв до 1 хв) зменшує середній час відновлення T_{Bd} всього в 3,67 разу.

Час усунення несправності також несуттєво впливає на значення T_B : наприклад, при $L = 20$, $p = 0,98$ і $t = 2$ хв зменшення t_y в 5 разів (з 10 хв до 2 хв) знижує значення T_{Bd} в 1,36 разу (рис. 8).

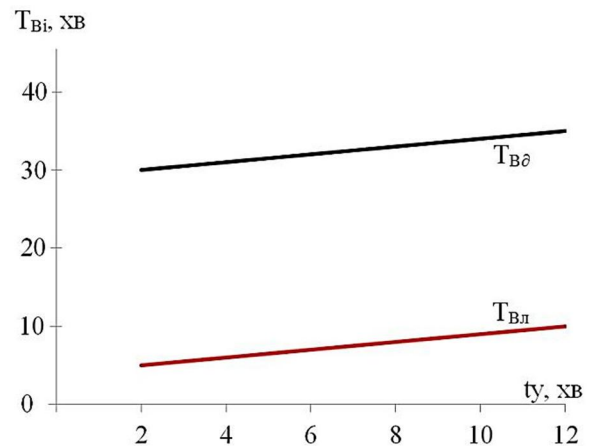


Рис. 8. Залежності середнього часу відновлення об'єкта від його структури і часу усунення несправності

Із переглянутих керованих змінних найбільший вплив на значення T_B дає метрологічне забезпечення ремонту: наприклад, при $L = 20$, $t = 2$ хв, $t_y = 5$ хв. при збільшенні значення p всього на 5% маємо зменшення середнього часу відновлення виробу в 1,68 разу для дивергуючих структур (рис. 9).

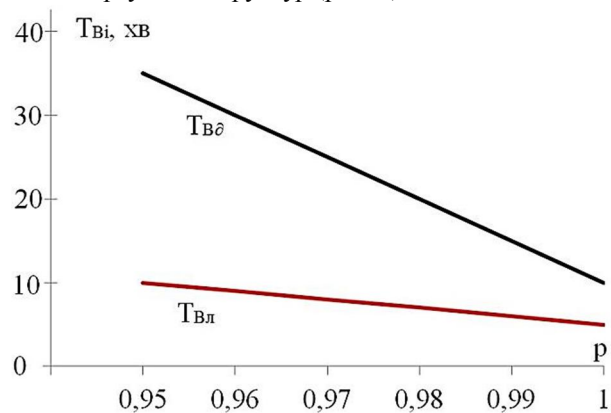


Рис. 9. Залежності середнього часу відновлення об'єкта від його структури і ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки

Таким чином, проведений аналіз показує, що найбільший ефект у підвищенні ефективності ремонту розглянутих структур об'єкта досягається удосконаленням метрологічного забезпечення.

Обґрунтування послідовності перевірки елементів дивергуючих структур. Для визначення послідовності перевірки елементів РЕЗ використовують ймовірність переважного вибору (ЙПВ) [1-3].

У найпростішому випадку, коли відома тільки схема виробу і кількість елементів, або типових елементів заміни (ТЕЗ) в n гілках дивергуючих структур l_i , ЙПВ дорівнює

$$U_{i1} = \frac{u_{i1}}{\sum_{i=1}^n u_{i1}};$$

$$U_{i3} = \frac{u_{i3}}{\sum_{i=1}^n u_{i3}},$$

де $u_{i1} = l_i/L$; $L = 1 + \sum_{i=1}^n l_i$. Тобто, гілки підсистеми електроживлення перевіряють в порядку зменшення кількості елементів у них.

Якщо крім того відомо час перевірки кожного елемента (t) і заміни при його відмові (ty), то ЙПВ розраховують за виразом

$$U_{i2} = \frac{u_{i2}}{\sum_{i=1}^n u_{i2}},$$

$$\text{де } u_{i2} = \frac{l_i}{L \sum_{j=1}^{l_i} (t_j + ty_j)} = \frac{l_i^2}{L \sum_{j=1}^{l_i} (t_j + ty_j)}$$

Тобто, в першу чергу перевіряють елементи з мінімальним часом вимірювання значення параметру та усунення несправності.

Врахування метрологічної надійності ЗВТ P_{3j} і ймовірності правильної постановки діагнозу при використанні під час діагностування різноманітних ЗВТ

$$P_{oi} = \prod_{j=1}^{K_i} p_j;$$

а при $p_j = p$ отримаємо $P_{oi} = p^{K_i}$, що найчастіше має місце при використанні тільки одного ЗВТ (наприклад, тестера), дозволяє уточнити значення ЙПВ

$$\text{де } u_{i3} = \frac{l_i^2}{L \sum_{j=1}^{l_i} \frac{t_j + ty_j}{P_{3j} \cdot P_{\partial j}}}$$

Якщо на етапі проектування підсистеми електроживлення РЕЗ відомі значення параметра потоку відмов ТЕЗ Z_j , то при розробці діагностичного забезпечення можливо повністю врахувати вихідні дані і перевіряти в першу чергу найменш надійні елементи, що забезпечує найбільшу ефективність діагностичних програм, коли ЙПВ дорівнює

$$U_{i4} = \frac{u_{i4}}{\sum_{i=1}^n u_{i4}},$$

$$\text{де } u_{i4} = \left[1 + \frac{\sum_{j=1}^{l_i} \frac{1}{Z_j}}{\sum_{j=1}^{l_i} \frac{t_j + ty_j}{P_{3j} \cdot P_{\partial j}}} \right]^{-1}$$

Таким чином, розглянуто всі можливі ситуації при розробці діагностичного забезпечення підсистем електроживлення РЕЗ. Покажемо їх використання на прикладі рис. 10.

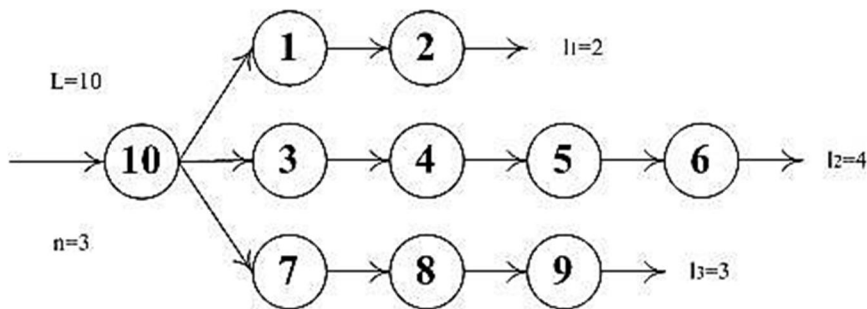


Рис. 10. Приклад дивергентної структури підсистеми електроживлення

Вихідні дані наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вихідні дані для розробки діагностичного забезпечення

j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_j, x\text{в}$	2	4	3	1	2	5	2	1	3
$ty_j, x\text{в}$	3	1	2	3	2	4	5	3	2
P_{3j}	0,98	0,97	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,99	0,98
$Z_i \cdot 10^{-3} \text{год}^{-1}$	2	1	4	3	7	9	8	2	1

$10^3/Z_i, \text{год}$	500	1000	250	333	143	111	125	500	1000
------------------------	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

Результати розрахунку ЙПВ розглянутими способами приведено в табл. 3, де W – варіант розрахунку, R – ранг (порядок перевірки) гілок виробу.

Отримані результати показують можливість використання всіх розглянутих способів розрахунку ЙПВ при побудові діагностичного забезпечення підсистем електроживлення РЕЗ з дивергентною структурою з'єднання елементів.

Таблиця 3

**Результати розрахунку ймовірності
переважного вибору гілок виробу**

W	U_1	U_2	U_3
1	0,222	0,444	0,334
2	0,237	0,431	0,332
3	0,238	0,425	0,337
4	0,154	0,619	0,227
R	3	1	2

Висновки

1. У статті вперше отримано кількісну оцінку середньої кількості перевірок при діагностуванні дивергуючих структур радіоелектронних засобів, а також граничних значень можливого відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату виконання перевірки під час пошуку дефекту при поточному ремонті.

2. Аналіз впливу керованих змінних на якість діагностичного забезпечення підсистем електроживлення РЕЗ показав, що найбільший ефект досягається покращенням метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки, а саме – збільшенням ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки фахівцем.

3. Розглянуто можливі способи кількісної оцінки ймовірності переважного вибору гілок підсистем електроживлення для їх подальшого ранжування: перевірка в першу чергу найменш надійних і тих, що потребують мінімального часу на перевірку параметрів і усунення несправностей.

Подальші дослідження доцільно направити на обґрунтування порядку перевірки елементів підсистем електроживлення радіоелектронних засобів з аварійними або бойовими пошкодженнями в польових умовах, що також недостатньо досліджено у відомих роботах, але суттєво впливає на значення середнього часу відновлення об'єкту. Особливо це важливо при розробці діагностичного і метрологічного забезпечення підсистем електроживлення радіоелектронних засобів, які є недостатньо надійними і впливають на працездатність виробу в цілому.

Список літератури

1. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М.: Радио и Связь, 1989, 248 с.
2. Ксенз С.П., Полжаржицкий Н.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.
3. Сакович Л.М., Бобро Р.А. Ремонт вторичных источников электропитания техники связи. *Зв'язок*, 2005. №7. С. 56-60.

4. Желнов А.И., Романенко В.П. Электроживлення систем зв'язку. Київ: ІСЗЗІ КПІ ім. І. Сікорського, 2016, 84 с.

5. Сакович Л.М., Криховецький Г.Я., Мирошніченко Ю.В., Ігнатенко І.Г. Діагностування вторинних джерел електроживлення засобів зв'язку. Полтава: *Сучасні інформаційні системи, ПНТУ ім. Юрія Кондратюка*, 2021, т. 5, №1. С. 140-145. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.21>.

6. 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>.

7. Сакович Л.Н., Мервинский А.Н. Функциональное диагностирование многовыходных объектов. *Зв'язок*, 2003. № 1. С. 60-61.

8. Сакович Л.М., Рижов Є.В., Мирошніченко Ю.В. Аналіз методів побудови бінарних умовних алгоритмів діагностування. *Збірник наукових праць Військової академії*. Одеса 2020. № 1 (13). ч. II. С. 23-33. DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.2.23-33>.

9. Рижаків В.А., Сакович Л.М. Кількісне оцінювання діагностичних помилок під час поточного ремонту техніки зв'язку. *Зв'язок*, 2005. № 3. С. 45-50.

10. Рижаків В.А., Сакович Л.М. Закони розподілу діагностичних помилок під час пошуку дефектів за умовними алгоритмами. *Зв'язок*, 2005. № 4. С. 55-57.

11. Кононов В.Б., Водолажко О.В., Коваль О.В. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.

12. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Vadim Romanenko, Dmytro Khaustov, Yuriy Nastishin Model of conjoint faults detection at metrological service of electronics. *Ukrainian Metrological Journal*, 2020. No.2. pp. 18–26. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2020.208671>.

13. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. 2018. Volume 123. pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.

14. Sakovych L., Ryzhov Ye., Sobolev A. Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 21. С. 72-77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>.

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

References

1. Ksenz S.P. (1989), "*Diagnostika i remontprigodnost' radioelektronnykh sredstv*" [Diagnostics and maintainability of radio-electronic equipment]. Moscow: Radio and Communication, 248 p. [in Russian]
2. Ksenz S.P., Polzharzhickij M.I., Alekseev S.P. and Mineev V.V. (2006), "*Borba s diagnosticheskimi oshibkami pri tehnichestkom 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]
3. 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]
4. 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]
5. Sakovych L.M., Krykhovets'kyu H.Ya., Myroshnychenko Yu.V. and Ihnatenko I.H. (2021), "Diahnostuvannya vtorynykh dzherel elektrozhyvlennya zasobiv zv'yazku" [Diagnosing secondary power sources for communications]. Poltava: *Modern information systems, PNTU. Yuriy Konratyuk*, Vol. 5, №1. pp. 140-145. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2021.1.21>. [in Ukrainian]
6. Ryzhov Ye.V., Sakovych L.M., Hlukhov S.I. and Nastyshyn Yu.A. (2021), "Otsinka vplyvu diahnostychnoho zabezpechennya na nadiynist' 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]
7. Sakovich L.N. and Mervinskiy A.N. (2003), "Funktional'noye diagnostirovaniye mnogovykhodnykh ob'yektov" [Functional diagnostics of multi-output objects]. *Communication*, №1. pp. 60-61. [in Russian]
8. Sakovych L.M., Ryzhov Ye.V. and Myroshnychenko Yu.V. (2020) "Analiz metodiv pobudovy binarnykh umovnykh alhorytmiv diahnostuvannya" [Analysis of methods for constructing binary conditional diagnostic algorithms]. *Collection of scientific works of the Military Academy*. Odessa. № 1(13). part II. pp. 23-33. DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.13.2-23-33>. [in Ukrainian]
9. Ryzhakov V.A. and Sakovych L.M. (2005), "Kil'kisne otsinyuvannya diahnostychnykh pomylok pid chas potochnoho remontu tekhniki zv'yazku" [Quantitative assessment of diagnostic errors during the current repair of communication equipment]. *Communication*. №3. pp. 45-50. [in Ukrainian]
10. Ryzhakov V.A. and Sakovych L.M. (2005), "Zakony rozpodilu diahnostychnykh pomylok pid chas poshuku defektiv za umovnyy alhorytmamy" [Laws of distribution of diagnostic errors when searching for defects according to conditional algorithms]. *Communication*. №4. pp. 55-57. [in Ukrainian]
11. 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]
12. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Vadim Romanenko, Dmytro Khaustov and Yuriy Nastishin (2020). Model of conjoint faults detection at metrological service of electronics. *Ukrainian Metrological Journal*, No.2. pp. 18-26. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.2.2020.208671>.
13. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev and Yuriy Nastishin. (2018), Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. Measurement. *Journal of the International Measurement Confederation*. Volume 123. pp. 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
14. Sakovych L., Ryzhov Ye. and Sobolev A. (2019), Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Military Technical Collection*. № 21. C. 72-77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>.
15. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Oleksandr Puchkov and Yana Nebesna. Evaluation of reliability of radio-electronic devices with variable structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2020. No. 3(54). pp. 31-39. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОДСИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Е.В. Рыжов, Л.Н. Сакович, А.В. Ходыч, А.В. Ковалев, Ю.А. Настишин

Комплексный показатель надежности радиоэлектронных средств - коэффициент готовности - существенно зависит от среднего времени их восстановления. При этом наибольшие трудозатраты специалисты ремонтных органов тратят на поиск неисправного элемента. Диагностическое обеспечение ремонта зависит от моделей, используемых при разработке алгоритмов поиска дефектов. Наиболее распространено использование диагностических моделей в виде графа информационно-энергетических связей, который состоит из трех видов структур: последовательное соединение элементов, конвергирующей и дивергирующей. При этом последние не получили необходимого исследования.

В статье в результате исследования влияния форм графа информационно-энергетических связей на показатели качества диагностического обеспечения подсистем электропитания радиоэлектронных средств впервые получены аналитические зависимости количественной оценки управляемых переменных на среднее время восстановления. Это позволяет повысить качество диагностического обеспечения существующих и перспективных образцов при их проектировании. Минимизация диагностических ошибок дает возможность проверки целесообразности использования диагностического и метрологического обеспечения при текущем ремонте радиоэлектронных средств агрегатным методом, уменьшает время восстановления работоспособности, особенно в полевых условиях.

Рассмотрены возможные в зависимости от объема исходных данных способы количественной оценки вероятности преимущественного выбора ветвей подсистем электропитания радиоэлектронных средств, также уменьшает среднее время их восстановления за счет проверки в первую очередь наименее надежных и не требующие много времени на выполнение проверок и устранения неисправностей.

Полученные результаты целесообразно использовать при усовершенствовании диагностического и метрологического обеспечения подсистем электропитания существующих радиоэлектронных средств и его разработки для перспективных образцов с целью повышения качества текущего ремонта независимо от структуры изделия.

Ключевые слова: радиоэлектронные средства, подсистемы электропитания, диагностическое и метрологическое обеспечение, дивергирующие структуры.

RESEARCH OF DIAGNOSTIC MODELS OF SUBSYSTEMS OF POWER SUPPLY OF RADIOELECTRONIC MEANS

Ye.V. Ryzhov, L.M. Sakovych, O.V. Khodych, O.V. Kovalev, Yu.A. Nastishin

The complex indicator of the reliability of electronic means - the readiness factor - significantly depends on the average recovery time. At the same time, the largest labor costs are spent by repair specialists on finding a faulty element. Diagnostic repair support depends on the models used in the development of defect detection algorithms. The most common use of diagnostic models in the form of a graph of information and energy connections, which consists of three types of structures: sequential connection of elements, converging and diverging. The latter did not receive the necessary research.

In the article as a result of research of influence of forms of the graph of information and power communications on indicators of quality of diagnostic maintenance of subsystems of power supply of radio electronic means analytical dependences of quantitative estimation of the controlled variables on average recovery time are received for the first time. This allows to improve the quality of diagnostic support of existing and promising samples during their design. Minimization of diagnostic errors makes it possible to verify the feasibility of using diagnostic and metrological support during the current repair of electronic devices by the aggregate method, which reduces the recovery time, especially in the field.

Depending on the volume of initial data, possible methods for quantifying the probability of the preferred choice of branches of power subsystems of radio electronic means, which also reduces the average recovery time by checking primarily the least reliable and do not require much time to perform checks and troubleshooting.

The obtained results should be used in improving the diagnostic and metrological support of power supply subsystems of existing electronic devices and its development for promising samples in order to improve the quality of maintenance, regardless of the structure of choice.

Keywords: radio electronic means, power supply subsystems, diagnostic and metrological support, diverging structures.

УДК 629.113 + 623.41

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.84-94>

О.П. Угольніков, Б.О. Дем'янчук, С.В. Шелухін, О.А. Малиновський, А.В. Косенко

Військова академія (м.Одеса)

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗ ЙМОВІРНОСТІ СТАНІВ СИСТЕМ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

У статті розглянуто ймовірнісну модель процесів у складних системах технічного забезпечення військової автомобільної техніки. Одним з методів дослідження таких систем є їх представлення у вигляді сукупності станів, в яких може перебувати система. Між станами відбуваються переходи, інтенсивності і ймовірності яких вважаються відомими. Графічно система представляється за допомогою графа станів і переходів, предметом дослідження є ймовірності знаходження системи технічного забезпечення в цих станах. Графу станів і переходів ставиться у відповідність система диференціальних рівнянь першого порядку для ймовірностей знаходження системи в основних станах. Пропонується метод точного розв'язання системи диференціальних рівнянь, заснований на використанні операційного числення. При цьому система лінійних диференціальних рівнянь трансформується в систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно зображень за Лапласом невідомих ймовірностей. Використання матричного числення дозволяє записати отримані результати в компактному вигляді і використовувати при розрахунках ефективні алгоритми лінійної алгебри. Застосування моделі проілюстровано на прикладі розв'язання задачі технічного забезпечення маршу колони батальйонної тактичної групи, що включає колісну та гусеничну техніку.

Ключові слова: технічне забезпечення, складні системи технічного забезпечення, ймовірності станів, система диференціальних рівнянь, операційне числення.

Постановка проблеми

Реформа Збройних сил України, перехід їх на стандарти НАТО вимагають, крім іншого, викорис-

тання наукових підходів в аналізі та плануванні роботи системи технічного забезпечення [1, 2]. Одним з шляхів