

Гнатюк Сергій Євгенович (кандидат технічних наук)¹

Сакович Лев Миколайович (кандидат технічних наук, доцент)²

Волошко Сергій Володимирович (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)³

Курята Яна Едуардівна (доктор філософії)²

Лоза Володимир Вікторович (доктор філософії)³

¹ Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки та захисту інформації, Київ, Україна

² Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

³ Національний університет оборони України, Київ, Україна

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ДЛЯ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ

Метою статті є удосконалення методу обґрунтування вибору засобу вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів із використанням електронної обчислювальної техніки. Під час написання статті застосовано методи теорії ймовірностей, технічної діагностики і метрології. Зазначений методологічний підхід дав змогу провести дослідження нових підходів до метрологічного забезпечення поточного ремонту радіоелектронних засобів. У статті удосконалено метод обґрунтування вибору засобу вимірювальної техніки з мінімально припустимими значеннями метрологічних характеристик при забезпеченні показників ремонтпридатності радіоелектронних засобів під час їх поточного ремонту. Сутність удосконалення методу зводиться до максимальної алгоритмізації рішення завдання за допомогою електронної обчислювальної техніки. У статті наведено блок-схеми реалізації методу і показано їх використання на зразку радіоелектронного засобу. Отримані результати відрізняються від відомих формалізацією виконання операцій за допомогою електронної обчислювальної техніки, можливістю порівняння варіантів комплекту різноманітних засобів вимірювальної техніки для вибору найкращого. Автори пропонують формалізацію рішення завдання обґрунтованого вибору засобу вимірювальної техніки з мінімально необхідними метрологічними характеристиками для використання в базі знань перспективних автоматизованих систем метрологічного забезпечення ремонту радіоелектронних засобів із застосуванням сучасних інформаційних технологій. Це дасть змогу повністю автоматизувати процес вибору засобу вимірювальної техніки із переліку можливих і виключити суб'єктивний фактор.

Ключові слова: радіоелектронні засоби, засоби вимірювальної техніки, ремонт, показники ремонтпридатності.

Вступ

Поточний ремонт радіоелектронних засобів (далі – РЕЗ) та усунення несправностей в польових умовах є досить важливою частиною технічної експлуатації, яку неможливо повністю формалізувати. Найбільший час особовий склад витрачає на пошук несправних елементів. Але теоретичні дослідження в цих галузях наукових знань при їх впровадженні в практику ремонту дають змогу суттєво скоротити середній час відновлення працездатності РЕЗ.

Постановка проблеми. Метрологічні характеристики засобу вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) суттєво впливають на значення середнього часу відновлення (T_v) РЕЗ під час їх поточного ремонту, тому що результати виконання перевірок значень параметрів дають змогу кількісно оцінити технічний стан виробів.

Недостатня метрологічна надійність ЗВТ призводить до збільшення значень T_v . Водночас, підвищення вимог до метрологічних характеристик понад необхідний рівень збільшує їх вартість без впливу на показники ремонтпридатності РЕЗ. Тому, виникає наукова проблема мінімізації вимог до ЗВТ при забезпеченні необхідного значення T_v під час проведення поточного ремонту РЕЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В результаті цифровізації РЕЗ виникає необхідність дослідження і впровадження нових підходів до метрологічного забезпечення їх поточного ремонту. Складність сучасних РЕЗ безперервно зростає, а вимоги до їх ремонтпридатності не змінюються, це вимагає комплексного удосконалення метрологічного і діагностичного забезпечення поточного ремонту.

Особливості технічної експлуатації ЗВТ

військового призначення та підходи до їх вибору для реалізації поточного ремонту озброєння та військової техніки розглянуто в [1–3]. В [3] вперше отримано функціональну залежність метрологічної надійності ЗВТ в міжповірковий період τ (в місяцях).

$$P(\tau) = 1 - mK_M K_C^*; m = 720\tau K_B / T^*;$$

де K_M – частка метрологічних характеристик ЗВТ, неохоплених вбудованим контролем;

K_C^* – статистична оцінка коефіцієнта прихованих відмов;

K_B – коефіцієнт використання ЗВТ;

T^* – статистична оцінка напрацювання ЗВТ на відмову.

Також встановлено, що $0,1 \leq K_C \leq 0,24$ залежно від умов використання ЗВТ, за таких умов $0,1 \leq K_B \leq 0,3$.

Середнє квадратичне відхилення $P(\tau)$ від отриманої оцінки дорівнює

$$\delta = mK_M \sqrt{K_C(0,15K_C + 1/m)},$$

В [4] узагальнено значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки

p і показано її вплив на середній час відновлення РЕЗ за їх поточного ремонту

$$T_B = \frac{tK + t_y}{P(\tau)p^K} \leq T_{\text{вп}};$$

де t – середній час виконання;

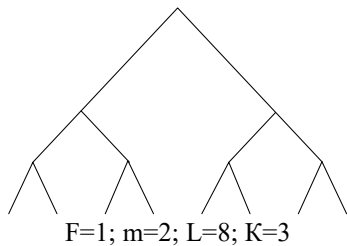
K – середня кількість перевірок;

t_y – середній час усунення несправностей;

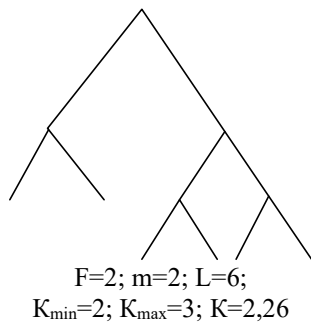
$T_{\text{вп}}$ – припустимий час відновлення.

В [5] узагальнено функціональні залежності математичного сподівання відхилення технічного стану виробів від його істинного значення за однієї помилки фахівця p . Також показано, що умовний алгоритм діагностування (далі – УАД) можна використовувати, якщо $p \leq 0,5$. Наведено можливі види (бінарні, однорідні, неоднорідні, групові) і форми (мінімальні, досконалі, максимальні) УАД (рис. 1), де m – модуль вибору УАД; L – загальна кількість елементів; K_{\min} – мінімальна кількість перевірок для оцінки технічного стану виробу; K_{\max} – максимальна кількість перевірок; ℓ_i – кількість оцінок технічного стану після виконання i перевірок; μ – кількість фахівців.

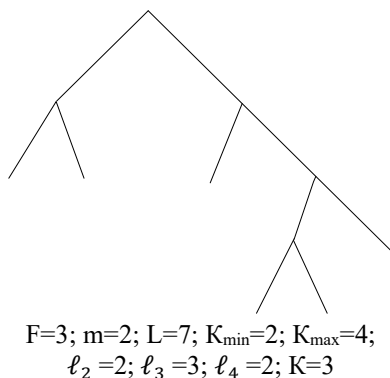
a)



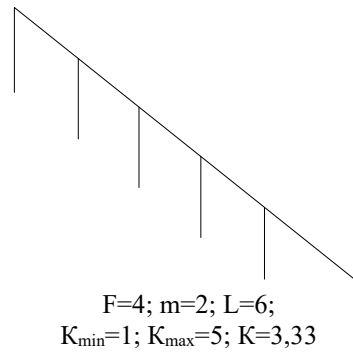
b)



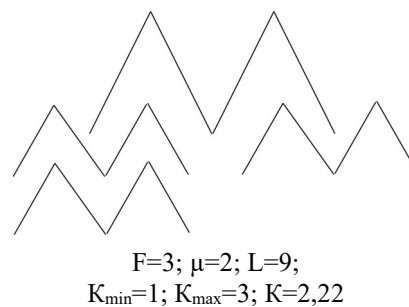
c)



d)



e)



f)

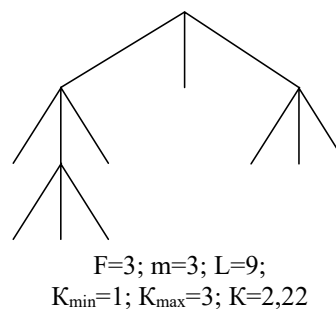


Рисунок 1 – Приклади видів і форм умовних алгоритмів діагностування

Метою статті є удосконалення методу обґрунтування вибору засобу вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів з використанням електронної обчислювальної техніки, що дасть змогу не лише підвищити якість, але й скоротити час розробки

метрологічного і діагностичного забезпечення.

Отримані за таких умов функціональні залежності $\rho(L, K, \mu, m, p)$ наведено в табл. 1, де $\lfloor K \rfloor$ (обмеження знизу) – ціла частина середньої кількості перевірок, $\lceil K \rceil$ (обмеження згори) – округлення K до цілого числа.

Таблиця 1
Функціональні залежності математичного сподівання відхилення технічного стану об'єктів діагностування від його істинного значення

Форма алгоритму	Значення математичного очікування відхилення технічного стану об'єктів	Умовний номер
Досконала форма (F=1)	$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	1
	$\rho(\mu \geq 1) = 0,5 \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	2
Мінімальна форма (F=2)	$\rho(m \geq 2) = \left[\frac{ml(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor(m-1) - 1) + (L-l)(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor(m-1) - 1)p}{2(m-1)m^{\lfloor K \rfloor}} \right] (1-p)p^{\lfloor K \rfloor-1}$	3
	$\rho(\mu \geq 2) = \left[\frac{(\mu+1)l((\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor\mu - 1) + (L-l)((\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor\mu - 1)p}{2\mu(\mu+1)^{\lfloor K \rfloor}} \right] (1-p)p^{\lfloor K \rfloor-1}$	4
Довільна форма (F=3)	$\rho(m \geq 2) = \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \sum_{i=K_{min}}^{K_{max}} \frac{l_i((m^i + i(m-1) - 1))}{m^i} p^i$	5
	$\rho(\mu \geq 2) = \frac{0,5(1-p)}{p\mu} \sum_{i=K_{min}}^{K_{max}} \frac{l_i[(\mu+1)^i + i\mu - 1]}{(\mu+1)^i} p^i$	6
Максимальна форма (F=4)	$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p(1+p^{(L-1)/(m-1)})}{1-p} \sum_{i=1}^{(L-1)/(m-1)} \frac{i(m-1)-1}{m^i} p^i \right]$	7
	$\rho(\mu \geq 2) = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p(1+p^{(L-1)/\mu})}{1-p} \sum_{i=1}^{(L-1)/\mu} \frac{\mu i - 1}{(\mu+1)^i} p^i \right]$	8

Результати цих публікацій узагальнено в [6], де наведено приклади їх практичного використання. Як недолік наведених результатів слід відмітити недостатній рівень формалізації рішення задачі обґрунтованого вибору ЗВТ для поточного ремонту виробів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Метод призначений для вибору ЗВТ з мінімально припустимими значеннями метрологічних характеристик при забезпеченні показників ремонтпридатності РЕЗ під час їх поточного ремонту. Сутність удосконалення методу полягає в максимальній алгоритмізації вибору ЗВТ для поточного ремонту радіоелектронних засобів за допомогою електронної обчислювальної техніки (далі – ЕОТ).

Як математичний апарат використано методи теорії ймовірностей, технічної діагностики і метрології, наведені й апробовані у відомих

наукових публікаціях з технічної експлуатації сучасних РЕЗ з рознесеними в просторі елементами [1–7].

Завдання вибору ЗВТ для поточного ремонту РЕЗ вирішується поетапно:

- отримання і аналіз вихідних даних;
- розробка УАД виробу [6, 7];
- оцінка показників якості ($T_{в} \leq T_{вп}, \rho \leq 0,5$);
- за необхідності зміна вихідних даних і повтор розробки УАД;
- за виконання умов перетворення УАД в діагностичну програму з рекомендаціями щодо вибору ЗВТ.

Найкращі результати досягаються, якщо вибір ЗВТ для поточного ремонту і технічного обслуговування РЕЗ виконують ще на етапі їх проектування (рис. 2). Водночас, є можливість вибору сучасних ЗВТ з мінімально припустимими значеннями p за використанні як аналогових (рис. 3), так й інших типів ЗВТ (рис. 4).

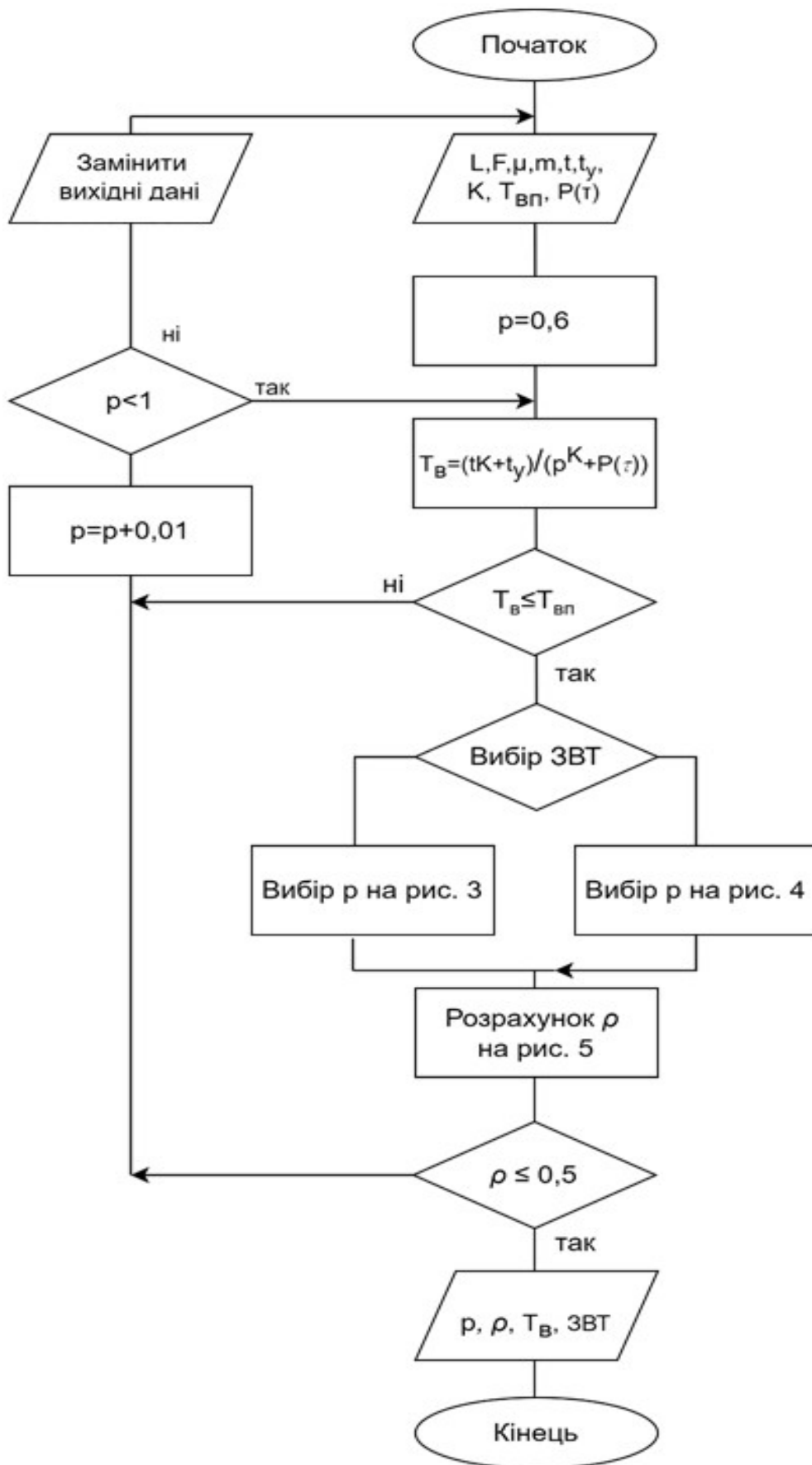


Рисунок – 2 Блок-схема алгоритму вибору засобів вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів під час їх проектування

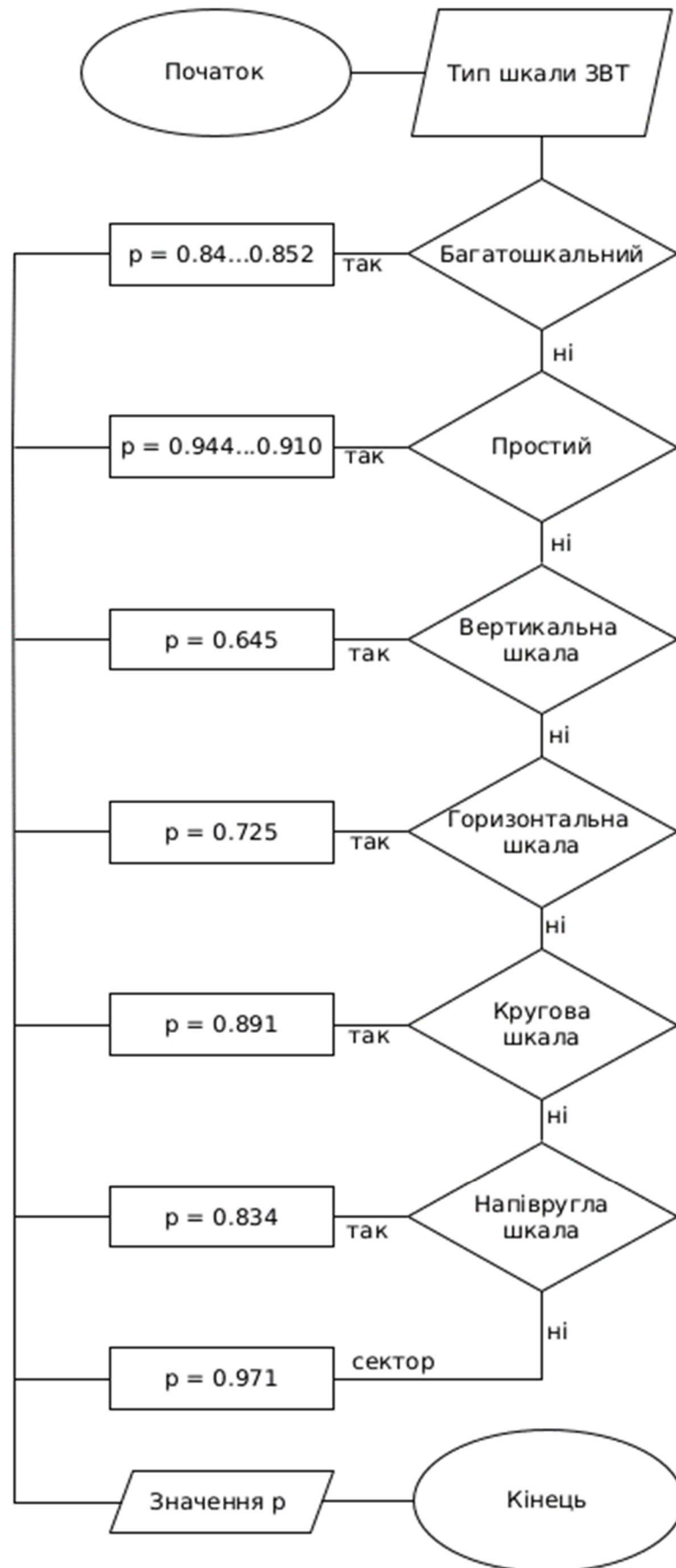


Рисунок – 3 Блок-схема алгоритму визначення ймовірності правильного оцінювання результату перевірки параметра аналоговим засобом вимірювальної техніки

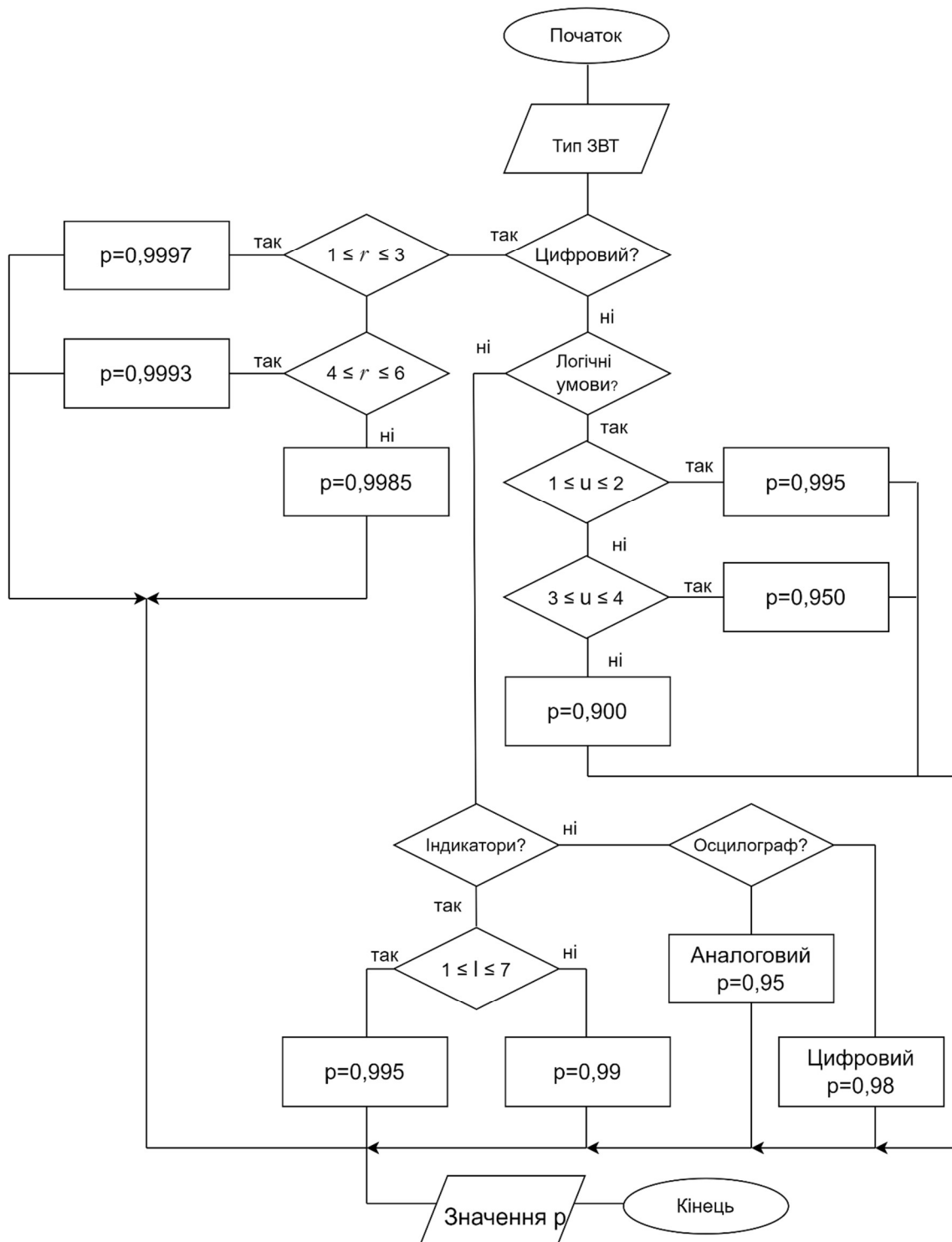


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритму визначення ймовірності правильного оцінювання результату перевірки параметру іншим засобом вимірювальної техніки (r – кількість розрядів цифрових ЗВТ, u – кількість логічних умов, l – кількість індикаторів)

За можливості, перевагу слід віддавати сучасним цифровим мультиметрам (вимірювання опору, постійної і змінної напруги) а також осцилографам (вимірювання постійної і змінної напруги, частоти та рівня сигналів у широкій смузі частот, коефіцієнту модуляції та інших параметрів).

За вибору ЗВТ для поточного ремонту РЕЗ під

час їх технічної експлуатації необхідно використовувати можливості вбудованих засобів технічного діагностування (рис. 3, 4), а також обладнання військових ремонтних органів (рис. 6). Запропоновані блок-схеми алгоритмів орієнтовані на використання ЕОТ під час розробки метрологічного і діагностичного забезпечення поточного ремонту радіоелектронних засобів.

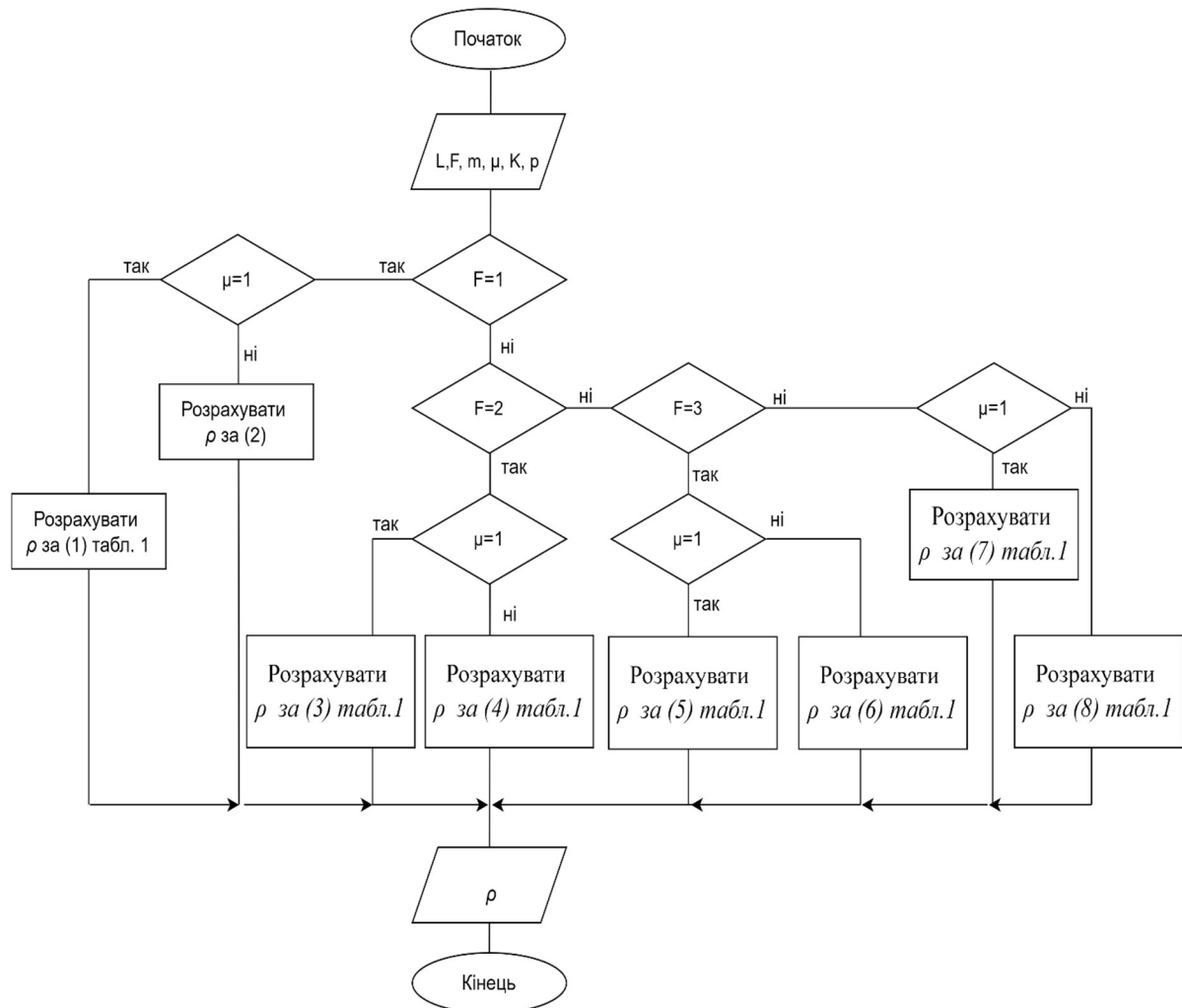


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму кількісної оцінки значення математичного сподівання відхилення технічного стану об'єкта від його істинного значення

Якщо під час діагностування радіоелектронних засобів використовують декілька ЗВТ, то за УАД визначають кількість застосувань кожного із них і для розрахунків показників якості за отриманими алгоритмами насамперед оцінюють середнє значення ймовірності правильності оцінки результату виконання перевірки, яка дорівнює

$$p = \frac{\sum_{i=1}^M p_i n_i}{\sum_{i=1}^M n_i},$$

де p_i – ймовірність правильності оцінки результату виконання перевірки ЗВТ типу i ,

n_i – кількість перевірок за УАД ЗВТ типу i за період часу τ .

Також метрологічну надійність комплексу із M ЗВТ оцінюють за виразом

$$P(\tau) = \prod_{i=1}^M P_i(\tau)$$

де $P_i(\tau)$ – метрологічна надійність ЗВТ виду i .

Обмеження і припущення на використання удосконаленого методу вибору ЗВТ для поточного ремонту і технічного обслуговування сучасних радіоелектронних засобів відповідають реальним умовам виконання поточного ремонту.

Розглянемо використання запропонованих пропозицій на прикладі розробки метрологічного забезпечення поточного ремонту супергетеродинного стереофонічного

радіоприймача з подвійним перетворенням частоти, схема якого наведена на рис. 7, де позначено:

- 1 – антена;
- 2 – підсилювач високої частоти;
- 3, 5 – змішувачі;
- 4, 7 – підсилювачі проміжної частоти;
- 6 – смуговий фільтр;
- 8 – детектор;
- 9, 10 – гетеродини;
- 11, 13 – підсилювач нижньої частоти;
- 12, 14 – гучномовці;
- 15 – трансформатор;
- 16 – випрямляч;
- 17 – фільтр електроживлення;
- 18 – стабілізатор напруги.

Для виконання перевірок необхідні наступні ЗВТ:

- 1, 12, 14 – вимірювач опору;
- 15 – вольтметр змінної напруги;
- 16, 17, 18 – вольтметр постійної напруги;
- 2, 3, 9 – осцилограф для перевірки рівня сигналів високої частоти;
- 4, 5, 6, 7, 10 – осцилограф для перевірки рівня

сигналів проміжної частоти;
8, 11, 13 – осцилограф для перевірки рівня сигналів
низької частоти.

Для вимірювання опору, змінної і постійної
напруги доцільно використовувати мультиметр, а
рівень сигналів високої, проміжної і низької
частоти перевіряти осцилографом, тобто $M=2$.

Діагностична модель радіоприймача у вигляді
графа інформаційно-енергетичних зв'язків,
побудована за рекомендаціями [6, 7], де усунуто
транзитивні зв'язки по електроживленню, наведено
на рис. 8 із позначенням індексів передування для
подальшої побудови УАД.



Рисунок 6 – Блок-схема алгоритму перевірки відповідності засобів вимірювальної техніки і умовного алгоритму діагностування вимогам при поточному ремонті радіоелектронних засобів

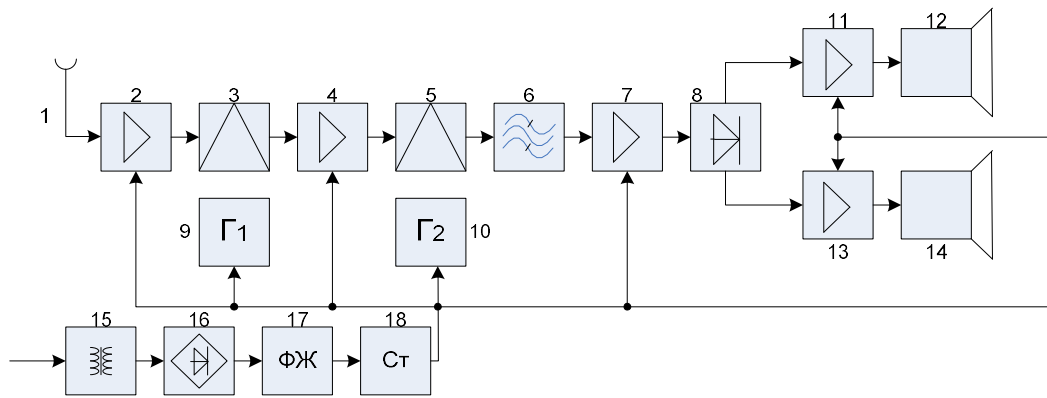


Рисунок – 7 Схема радіоприймача

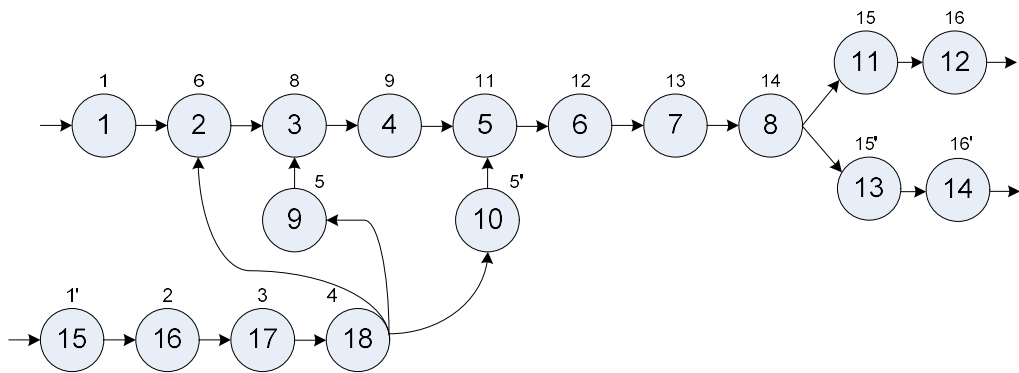


Рисунок 8 – Діагностична модель радіоприймача

Ремонт виконується агрегатним методом [6]. В такому разі загальна кількість елементів $L=18$. УАД радіоприймача, побудований за рекомендаціями [6; 7], наведено на рис. 9. Середня кількість перевірок дорівнює

$$K = (13 * 4 + 6 * 5) / (18 + 1) = 4,3.$$

На УАД відмічено $n_1=7$ перевірок за допомогою мультиметра, інші $n_2=11$ виконують з використанням осцилографа. В такому разі середнє значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки дорівнює

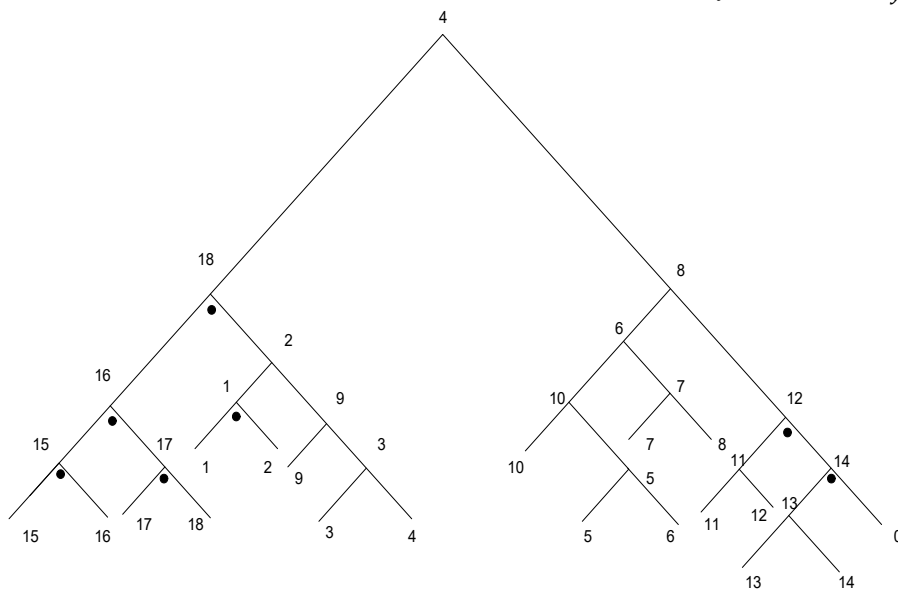
$$p = (7p_1 + 11p_2) / (7 + 11),$$

де p_1 – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки мультиметром, а p_2 – осцилографом.

Метрологічна надійність ЗВТ згідно [3], дорівнює

$$P(\tau) = \prod_{i=1}^2 P_i(\tau) = 0,95^2 = 0,9.$$

Результати розрахунків показників якості діагностичного забезпечення при можливих варіантах використання ЗВТ згідно рис. 3, 4, 5, 6 наведено в табл. 2 за умови $t=2$ хв; $t_y=5$ хв.



$L=18; m=2; \mu=1; \ell=13.$

Рисунок 9 – Умовний алгоритм мінімальної форми діагностування радіоприймача

Показники якості діагностичного забезпечення ремонту радіоприймача

Варіант	Засіб вимірювальної техніки		Показники якості УАД		
	мультиметр	осцилограф	ρ	$T_{в, хв.}$	ρ
1	Аналоговий $\rho_1 = 0,85$	Аналоговий $\rho_2 = 0,95$	0,911	24,1	1,04
2		Цифровий $\rho_2 = 0,98$	0,929	21,8	0,88
3	Цифровий $\rho_1 = 0,9993$	Аналоговий $\rho_2 = 0,95$	0,969	17,7	0,45
4		Цифровий $\rho_2 = 0,98$	0,987	16,1	0,20

Результати розрахунків наведено на рис. 10, де припустимо значення $T_{вп}=20$ хв, $\rho \leq 0,5$. Аналіз отриманих результатів свідчить, що для поточного ремонту радіоприймача доцільно використовувати

варіанти 3 або 4, тобто застосувати цифровий мультиметр з будь-яким осцилографом. Програма діагностування радіоприймача наведена в табл. 3.

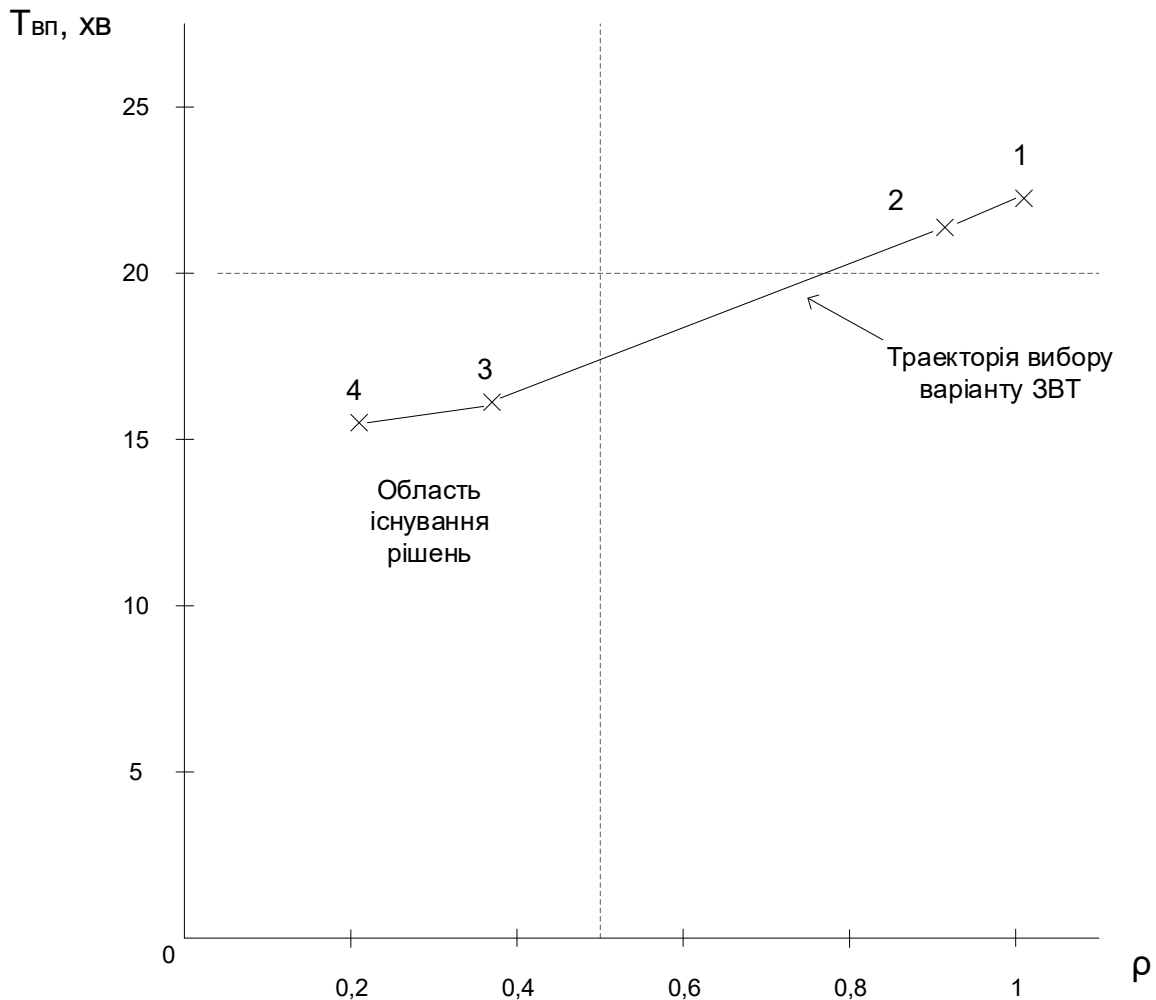


Рисунок 10 – Показники якості діагностичного забезпечення радіоприймача за можливих варіантів застосування засобів вимірювальної техніки

Наведений приклад відображає можливість обґрунтування вибору ЗВТ для ремонту радіоелектронних засобів, а також використання цих результатів для розробки діагностичного

забезпечення поточного ремонту, що за показниками якості відповідає вимогам. Якщо вимоги не виконуються, тоді необхідно замінити вид і форму УАД згідно наведених рекомендацій.

Програма діагностування радіоприймача

Умовний номер перевірки	Зміст перевірки	ЗВТ	Результати перевірки	
			не норма	норма
1	2	3	4	5
4	Перевірити рівень сигналу на виході першого підсилювача проміжної частоти	Осцилограф	Перевірка 18	Перевірка 8
18	Перевірити постійну напругу на виході стабілізатора	Мультиметр	Перевірка 16	Перевірка 12
16	Перевірити постійну напругу на виході випрямляча	Мультиметр	Перевірка 15	Перевірка 17
15	Перевірити змінну напругу на вторинній обмотці трансформатора	Мультиметр	Замінити трансформатор	Замінити випрямляч
17	Перевірити постійну напругу на виході фільтра електроживлення	Мультиметр	Замінити фільтр	Замінити стабілізатор
2	Перевірити рівень сигналу на виході підсилювача високої частоти	Осцилограф	Перевірка 1	Перевірка 9
1	Перевірити опір антени	Мультиметр	Замінити антену	Замінити підсилювач високої частоти
9	Перевірити рівень сигналу на вході Γ_1	Осцилограф	Замінити Γ_1	Перевірка 3
3	Перевірити рівень сигналу на виході першого змішувача	Осцилограф	Замінити змішувач	Замінити підсилювач проміжної частоти
8	Перевірити наявність сигналів на виходах детектора	Осцилограф	Перевірка 6	Перевірка 12
6	Перевірити сигнал на виході смугового фільтра	Осцилограф	Перевірка 10	Перевірка 7
10	Перевірити рівень сигналу на виході Γ_2	Осцилограф	Замінити Γ_2	Перевірка 5
5	Перевірити рівень сигналу на виході другого змішувача	Осцилограф	Замінити другий змішувач	Замінити смуговий фільтр
7	Перевірити сигнал на виході другого підсилювача проміжної частоти	Осцилограф	Замінити другий підсилювач	Замінити детектор
12	Перевірити опір гучномовця лівого каналу	Мультиметр	Перевірка 11	Перевірка 14
11	Перевірити сигнал на виході підсилювача лівого каналу	Осцилограф	Замінити підсилювач	Замінити гучномовець
14	Перевірити опір гучномовця правого каналу	Осцилограф	Перевірка 13	Радіоприймач справний
13	Перевірити сигнал на виході підсилювача правого каналу	Осцилограф	Замінити підсилювач	Замінити гучномовець

Висновки й перспективи подальших досліджень

Удосконалено метод обґрунтування вибору засобу вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів з використанням електронної обчислювальної техніки.

Формалізовано рішення завдання обґрунтованого вибору засобів вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів з мінімально необхідними значеннями метрологічних характеристик.

Застосування запропонованих алгоритмів дає

зможу вирішити завдання вибору засобів вимірювальної техніки для поточного ремонту радіоелектронних засобів як під час їх проектування, так і в процесі вдосконалення технологічного обладнання ремонтних органів, з використанням електронно-обчислювальних машин, що суттєво скорочує час і виключає вплив суб'єктивних факторів на результат.

Отримані результати доцільно використовувати в автоматизованій системі метрологічного забезпечення сучасних радіоелектронних засобів з використанням інформаційних технологій, водночас до бази даних вносять відомості про

об'єкт і ремонтний орган, а база знань використовує наведені в статті алгоритми і рекомендації.

Подальші дослідження слід направити на

розробку метрологічного забезпечення ремонту радіоелектронних засобів з аварійними і бойовими пошкодженнями, слабого ступеню в польових умовах, силами фахівців військових ремонтних органів.

Список бібліографічних посилань

1. Рижов Є. В., Яковлєв М. Ю. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. *Військово-технічний збірник НАСВ*. 2014. № 1 (10). С. 119–127. 2. Рижов Є. В., Яковлєв М. Ю., Ходич О. В., Аркушенко П. Л. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем. *Український метрологічний журнал*. 2015. № 2. С. 12–16. 3. Кононов В. Б., Водолажко О. В., Коваль О. В. та інші. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків : ХНУПС, 2017. 288 с. 4. Яковлєв Є. В., Рижов Є. В., Сакович Л. М., Аркушенко П. Л. Удосконалення методу завдання вимог до мінімального припустимо значення імовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час діагностування.

Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України. 2017. № 4 (29). С. 137–140. 5. Рижов Є. В., Сакович Л. М. Метод обґрунтування мінімально припустимо значення імовірності оцінки результату перевірки параметрів. *Вісник НТУУ КПІ серія «Приладобудування»*. 2017. Вип. 54 (2). С. 96–104. 6. Сакович Л. М., Романенко В. П., Гіренко І. М. та інші. Технічна експлуатація засобів та систем зв'язку. ІСЗЗІ КПІ. Київ : КПІ, 2021. 176 с. 7. Sakovich L., Gnatiuk S., Semekha S., Volosheniuk D., Popov I. Formalizing the Development of Diagnostic Support for Radio-Electronic Equipment. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2024. Vol. 60. № 2. P. 305-319. DOI: 10.1007/s10559-024-00671-w.

IMPROVED METHOD OF JUSTIFICATION OF SELECTION OF MEASURING EQUIPMENT FOR REPAIR OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

Gnatiuk Serhiy (Candidate of Technical Sciences)¹
Sakovych Lev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)²
Voloshko Serhii (Candidate of Technical Sciences, senior researcher)³
Kuriata Yana (Philosophy Doctor)²
Loza Volodymyr (Philosophy Doctor)³

¹ State Scientific and Research Institute of Cybersecurity Technologies and Information Protection, Kyiv, Ukraine

² National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

³ The National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

⁴ Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Formulation of the problem in general. The purpose of the article is to improve the method of substantiating the choice of measuring equipment for the current repair of radio-electronic equipment using electronic computing technology.

Research methods. When writing the article, methods of probability theory, technical diagnostics and metrology were applied. The specified methodological approach made it possible to conduct research on new approaches to the metrological support of the current repair of radio-electronic equipment. The article improves the method of selecting measuring instruments with the minimum permissible values of metrological characteristics when ensuring the maintainability indicators of radio-electronic equipment during their current repair.

Analysis of recent researches and publications. Features of technical operation of military measuring equipment and approaches to their selection for the implementation of current repairs of weapons and military equipment are considered in [1-3]. In [4] the value of the probability of correct assessment of the result of the inspection is summarized and its influence on the average time of restoration of radio-electronic equipment during their current repairs is shown. In [5] the functional dependences of the mathematical expectation of the deviation of the technical condition of products from its true value with one error of the specialist are summarized. Possible types (binary, homogeneous, heterogeneous, group) and forms (minimal, perfect, maximal) of conditional diagnostics algorithms are given.

Presenting the main material. The task of selecting a measuring instrument for routine repair of radio-electronic equipment is solved in stages: obtaining and analyzing the initial data; developing a conditional algorithm for diagnosing the product; assessing quality indicators; if necessary, changing the initial data and repeating the development of the conditional algorithm for diagnosing; when the conditions are met, transforming the conditional algorithm for diagnosing into a diagnostic program with recommendations for selecting measuring instruments. The best results are achieved if the selection of measuring instruments for routine repair and maintenance of radio-electronic equipment is carried out at the design stage. If possible, preference should be given to modern digital multimeters (measuring resistance, DC and AC voltage) and oscilloscopes (measuring DC and AC voltage, frequency and signal level in a wide frequency band, modulation factor and other parameters). When selecting a measuring instrument for routine repair of radio-electronic equipment during their technical

operation, it is necessary to use the capabilities of built-in technical diagnostic tools, as well as equipment of military repair bodies. The proposed block diagrams of algorithms are focused on the use of electronic computing equipment during the development of metrological and diagnostic support for the current repair of radio-electronic equipment. If several measuring instruments are used during the diagnosis of radio-electronic equipment, then the number of applications of each of them is determined by the conditional diagnostic algorithm, and to calculate the quality indicators using the obtained algorithms, the average value of the probability of the correctness of the assessment of the test result is first estimated. The limitations and assumptions for the use of the improved method for selecting measuring instruments for the current repair and maintenance of modern radio-electronic equipment correspond to the real conditions for performing current repairs.

Elements of scientific novelty. The essence of the improvement of the method lies in the maximum algorithmization of the task solution with the help of electronic computing equipment. The article provides block diagrams of the implementation of the method and shows their use on a sample of a radio electronic device. The obtained results differ from the known ones by the formalization of operations using electronic computing equipment, the possibility of comparing the options of a set of various measuring equipment to choose the best one.

Theoretical and practical significance of the article. The authors propose a formalization of the solution to the problem of a well-founded choice of a measuring instrument with the minimum necessary metrological characteristics for use in the knowledge base of promising automated systems for metrological support of the repair of radio-electronic equipment using modern information technologies. This will allow to fully automate the process of choosing a measuring instrument from the list of possible ones and eliminate the subjective factor.

Conclusion and the perspectives of future researches. The solution to the problem of a well-founded selection of measuring instruments for the current repair of radio-electronic means with the minimum required values of metrological characteristics is formalized. The application of the proposed algorithms allows solving the problem of selecting measuring instruments for the current repair of radio-electronic means both during their design and in the process of improving the technological equipment of repair bodies, using electronic computers, which significantly reduces time and eliminates the influence of subjective factors on the result. The results obtained should be used in an automated system of metrological support of modern radio-electronic means using information technologies, while the database includes information about the object and the repair body, and the knowledge base uses the algorithms and recommendations given in the article. Further research should be directed to the development of metrological and diagnostic support for the repair of radio-electronic means with emergency and combat damage, of a weak degree in field conditions, by specialists of military repair bodies.

Keywords: radio-electronic devices, measuring equipment, repair, reparability indicators.

References

1. Ryzhov, Y., Yakovlev, M., (2014). Approach to the selection of military measuring equipment for metrological maintenance of military communications equipment. *Military-technical collection of National Army Academy*. 1 (10), 119–127. 2. Ryzhov, Y., Yakovlev, M., Hodych, O., Arkuschenko, P., (2015). Analysis of metrological examination methods for complex technical systems. *Ukrainian Metrological Journal*. 2, 12–16. 3. Kononov, V., Vodolagko, O., Koval, V. and others, (2017). Basics of operation of military measuring equipment in the conditions of an anti-terrorist operation. Kharkiv: KNUAF. 4. Yakovlev, M., Ryzhov, Y., Sakovich, L., Arkuschenko, P., (2017). Improving the method of setting requirements for the minimum allowable value of the probability of correctly assessing the result of the check during diagnostics. *Science and technology of the air forces of the Armed Forces of Ukraine*. 4 (29). 5. Ryzhov, Y., Sakovich, L., (2017). Method of substantiating the minimum allowable value of the probability of evaluating the result of parameter verification. *Bulletin of National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*, «Instrumentation» series. 54(2). 6. Sakovich, L., Romanenko, V., Girenko, I. and others, (2021). Technical operation of means and communication systems. *ISZZI KPI*. Kyiv: KPI. 7. Sakovich, L., Gnatiuk, S., Semekha, S., Volosheniuk, D., Popov, I., (2024). Formalizing the Development of Diagnostic Support for Radio-Electronic Equipment. *Cybernetics and Systems Analysis*. 60, 2. DOI: 10.1007/s10559-024-00671-w.