

## СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОВТ

УДК: 621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.30.2024.63-71>Л.М. Сакович<sup>1</sup>, Є.В. Ришов<sup>2</sup>, Я.Е. Курята<sup>1</sup>, О.С. Бабій<sup>3</sup>, М.В. Швець<sup>4</sup>

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

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

<sup>3</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

<sup>4</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ

Article history: Received 04 March 2024; Revised 06 March 2024; Accepted 14 March 2024

### МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТОЧНОГО РЕМОНТУ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ

Військова техніка зв'язку належить до багаторежимних об'єктів зі змінною структурою, що суттєво впливає на її надійність. Але цю обставину не враховують існуючі методики розробки метрологічного забезпечення поточного ремонту. Тому запропоновано удосконалений метод, який на відміну від відомих враховує не тільки можливість зміни структури військової техніки зв'язку під час використання за призначенням, а і наявність скритих дефектів у непрацюючій частині об'єкта. Це дозволяє отримувати об'єктивну оцінку часткових і комплексних показників надійності під час проектування перспективних зразків військової техніки зв'язку та їх дослідної експлуатації, а також обґрунтовано отримувати мінімально необхідні показники метрологічного забезпечення для задоволення вимог щодо надійності. Отримано нові функціональні залежності показників надійності від умов поточного ремонту і формалізований алгоритм вибору засобів вимірювальної техніки. Наведений приклад використання запропонованих пропозицій і кількісно оцінений ефект від їх впровадження. Застосування запропонованого методу не потребує додаткових економічних витрат для реалізації і дозволяє забезпечити вимоги щодо середнього часу відновлення військової техніки зв'язку при її поточному ремонті з використанням засобів вимірювальної техніки мінімальної вартості.

**Ключові слова:** об'єкт зі змінною структурою, приховані дефекти, метрологічне забезпечення, поточний ремонт.

#### Постановка проблеми

Сучасна програмно-керована військова техніка зв'язку (ВТЗ) відрізняється багатофункціональністю та багаторежимністю, при цьому залежно від режиму роботи використовують різні підмножини елементів. Тому ресурс окремих підсистем використовується не рівномірно. Крім того, у не працюючій частині ВТЗ внаслідок впливу перегріву, кліматичних умов та механічних перевантажень накопичуються приховані дефекти, які неможливо виявити та усунути до зміни режиму роботи ВТЗ або проведення щомісячного технічного обслуговування. Вочевидь це впливає на час поточного ремонту (ПР), що в свою чергу вимагає використовувати сучасні досягнення технічної діагностики і метрології для забезпечення потрібного часу виконання ПР. Для цього бажано використовувати засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) з мінімально

необхідними значеннями метрологічних характеристик для зменшення їх вартості. Це завдання у відомих роботах з врахуванням властивостей зміни структури ВТЗ і накопичення скритих дефектів не вирішено, чому і присвячена ця робота.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під час проектування перспективних зразків ВТЗ кількісно оцінюють значення їх показників надійності [1, 2], причому на значення середнього часу відновлення при ПР суттєво впливає якість метрологічного забезпечення (МЗ). Але властивість зміни структури ВТЗ під час використання за призначенням практично не враховують [3-8]. Досліджено вплив окремих видів надлишковості на значення показників надійності [9, 10] і якості програмного забезпечення [11, 12].

Встановлено, що в дійсний час відсутні теоретичні розробки та інженерні методи аналізу об'єктів зі зміною структурою [13]. Це завдання вирішено в [14-16], де приведенні практично реалізуемі рекомендації. Відомі методики [1-10] без врахування властивості зміни структури занижують розрахункові значення показників надійності, тому в [17] запропоновано використовувати поправочний коефіцієнт. Також встановлено, що існує властивість накопичення прихованих дефектів в непрацюючих частинах ВТЗ, причому параметр потоку відмов збільшується на  $0,01 \leq \alpha \leq 0,1$  від розрахункового значення при роботі об'єкта. Це веде до збільшення працевитрат на ПР ВТЗ і потребує врахування впливу МЗ на середній час відновлення. Так, наприклад, коефіцієнт прихованих відмов для ЗВТ зі складу апаратних зв'язку і апаратних технічного забезпечення, які використовують періодично тільки під час ПР або технічного обслуговування ВТЗ, дорівнює  $0,1 \leq \alpha \leq 0,24$  за рахунок накопичення дефектів під час короткочасного зберігання [18] залежно від умов (відкритий майданчик, навіс, неопалювальне сховище тощо). Це суттєво впливає на якість робіт при ПР внаслідок помилкової оцінки результату виконання окремих перевірок і технічного стану ВТЗ в цілому. Збільшення параметра потоку відмов також потребує удосконалення методів теорії дискретного пошуку – галузі технічної діагностики, яка досліджує алгоритмічні методи оцінки технічного стану об'єктів, що складаються з окремих елементів, відмова кожного з яких веде до відмови об'єкта в цілому. Явні дефекти усуваються під час ПР після відмови ВТЗ, а приховані при проведенні щомісячного технічного обслуговування [15-17]. В [19-21] наведені статистичні дані про ймовірність правильної оцінки результату діагностичного параметра ЗВТ. Крім того, у [21-23] розглянуто вплив зміни структури ВТЗ на вибір ЗВТ для її ремонту, але без врахування появи прихованих дефектів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проведений аналіз відомих наукових праць показує, що в них вирішені окремі завдання і відсутній комплексний підхід до розробки МЗ з урахуванням всіх особливостей ВТЗ як об'єкта ПР. Властивість можливості появи в ВТЗ прихованих дефектів під час використання за призначенням і короткочасного зберігання, а також її вплив на значення показників надійності, раніше не розглядалося.

**Мета статті** – комплексне врахування властивостей ВТЗ як об'єкта зі зміною структурою і можливістю накопичення прихованих дефектів для наукового обґрунтування вибору ЗВТ для ПР із задоволенням вимог щодо показників надійності ВТЗ.

## Виклад основного матеріалу

Метод призначений для обґрунтування мінімально необхідної ймовірності оцінки результатів виконання вимірювання параметрів при діагностуванні ВТЗ під час її ПР, що дозволяє використовувати для цього ЗВТ мінімальної вартості при забезпеченні вимог щодо показників надійності виробу. Сутність методу і його новизна полягає в урахуванні можливості зміни структури ВТЗ під час використання за призначенням і накопичення прихованих дефектів, які неможливо визначити під час роботи виробу в окремих режимах, чого не враховують відомі методики розробки МЗ. Структурна схема реалізації методу наведена на рис. 1, де:

$L_i$  – кількість елементів ВТЗ в режимі роботи  $i = 1, R$ ;

$R$  – кількість режимів роботи ВТЗ;

$Z_i$  – параметр потоку відмов підмножини елементів  $L_i$ ;

$\alpha_i$  – коефіцієнт прихованих відмов в підмножині  $L_i$ ;

$T_{\Pi}$  – припустиме значення наробітку ВТЗ на відмову;

$T_{ВП}$  – припустимий час відновлення ВТЗ при її ПР;

$A_{\Pi}$  – припустиме значення коефіцієнта готовності ВТЗ;

$M$  – кількість ЗВТ при ПР або технічному обслуговуванні ВТЗ;

$P_j(\tau)$  – метрологічна надійність ЗВТ виду  $j = 1, M$  в міжповірочний період ( $\tau$ );

$\Delta p$  – крок зміни ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки параметрів ВТЗ при її ПР;

$t$  – середній час виконання перевірки значення параметру ВТЗ;

$t_y$  – середній час усунення несправності при ПР;

$T_p$  – загальний час роботи ВТЗ;

$T_{pi}$  – загальний час роботи підмножини елементів  $L_i$ ;

$T$  – розрахункове значення наробітку ВТЗ на відмову;

$T_B$  – розрахункове значення середнього часу відновлення;

$A$  – розрахункове значення коефіцієнта готовності ВТЗ;

$U$  – розрахункове значення коефіцієнта неготовності ВТЗ.

Математичний апарат реалізації методу заснований на використанні теорії ймовірностей, теорії надійності, технічної діагностики і метрології.

Обмеження і припущення відповідають реальним умовам використання ВТЗ за призначенням і відновлення працездатності при відмовах.

Значення коефіцієнта прихованих відмов  $\alpha_i$  визначають обробкою статистичних даних фіксації відмов ВТЗ при зміні режиму роботи, а також виявлених при щомісячному технічному обслуговуванні, або під час дослідної експлуатації

$$\alpha_i = Q_i / Q,$$

де  $Q_i$  – кількість виявлених прихованих відмов підмножини елементів  $L_i$ ;

$Q$  – загальна кількість відмов ВТЗ за той самий період експлуатації ( $T_p$ ).

В такому разі параметр відмов об'єкта в цілому дорівнює

$$Z = \sum_{i=1}^R u_i Z_i + \sum_{i=1}^R \alpha_i (1 - u_i) Z_i,$$

де  $u_i$  – відносний час роботи ВТЗ в режимі  $i$

$$u_i = T_i / T_p.$$

Ці дані можливо отримувати із формуляра, в який записують результати ПР, апаратного журналу чергової зміни на використання ВТЗ за призначенням, а також фіксації відмов у документації ремонтних підрозділів.

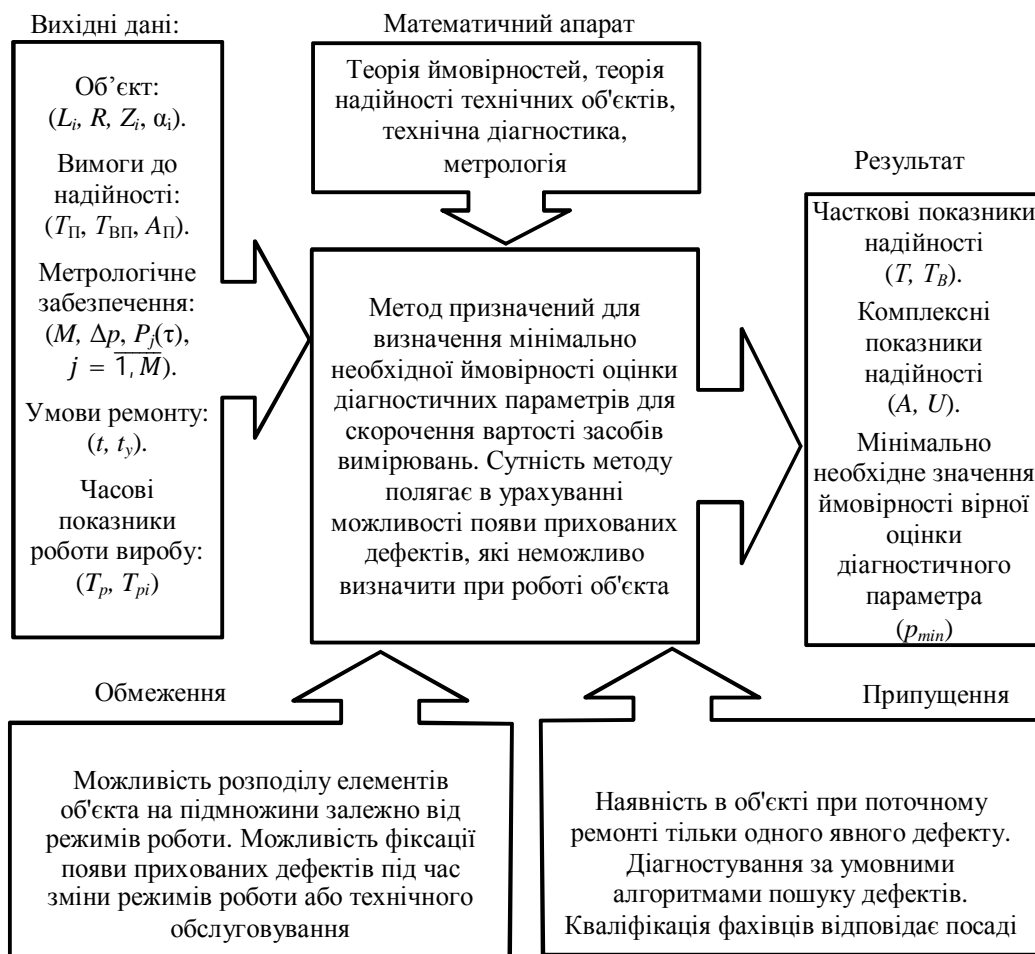


Рис. 1. Структурна схема реалізації методу обґрунтування вимог до метрологічного забезпечення поточного ремонту об'єктів зі змінною структурою

Після перетворень отримуємо

$$Z = \sum_{i=1}^R Z_i S_i,$$

де  $S_i = u_i (1 - \alpha_i) + \alpha_i$ .

Наробіток ВТЗ на відмову  $T = 1 / Z$ , а розрахункове значення середнього часу відновлення

$$T_{BP} = t_y + \frac{t}{Z} \sum_{i=1}^R Z_i S_i K_i,$$

де  $K_i$  – середня кількість перевірок при пошуку дефектів в підмножині елементів  $L_i$ .

При використанні в процесі діагностування умовних алгоритмів пошуку дефектів

$$K_i = \log_2 L_i,$$

а середня кількість перевірок

$$K = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \log_2 L_i.$$

На значення середнього часу відновлення ВТЗ при ПР суттєво впливає якість МЗ через врахування ймовірності правильної постановки діагнозу

$$P = p^K,$$

де  $p$  – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки ЗВТ, яку визначають за даними табл. 1 [19-21].

З врахуванням метрологічної надійності ЗВТ [18] отримуємо значення середнього часу відновлення ВТЗ при ПР

$$T_B = \frac{T_{BP}}{P \cdot P(\tau)},$$

$$\text{де } P(\tau) = \prod_{j=1}^M P_j(\tau).$$

Отримані функціональні залежності показників надійності ВТЗ зі зміною структурою з урахуванням наявності скритих дефектів і якості МЗ наведено в табл. 2, де ефект в уточненні результатів розрахунків виконується в порівнянні з відсутністю наявності скритих дефектів ( $\alpha = 0$ ).

Таблиця 1

### Узагальнення відомостей про безпомилковість виконання вимірювальних операцій

Вимірювальні операції	$p$
Сприйняття до оцінки показань одиночного стрілочного приладу:	
багатоканального	0,840-0,852
простого	0,944-0,960
з вертикальною лінійною шкалою	0,645
з горизонтальною лінійною шкалою	0,725
з круговою шкалою	0,891
з напівкруговою шкалою	0,834
зі шкалою у вигляді вікна	0,995
Визначення значення "норма" по сектору шкали	0,971
Пошук, сприйняття і оцінка індикаторів:	
від одного до семи	0,995
від п'яти до п'ятнадцяти	0,990
Сприйняття і оцінка показань цифрового приладу з кількістю розрядів:	
від одного до трьох	0,9997
від чотирьох до шести	0,9993
від семи і більше	0,9985
Прийняття рішення при декількох логічних умовах:	
одне, два	0,995
три, чотири	0,950
п'ять і більше	0,900

Таблиця 2

### Функціональні залежності показників надійності об'єктів зі змінною структурою

Показник	Функціональні залежності
Коефіцієнт врахування наявності прихованих відмов в об'єкті зі змінною структурою	$S_i = u_i (1 - \alpha_i) + \alpha_i$
Параметр потоку відмов, годин <sup>-1</sup>	$Z = \sum_{i=1}^R Z_i S_i$
Напрацювання на відмову, годин	$T = 1/Z$
Розрахунковий середній час відновлення, хвилин	$T_{BP} = t_y + \frac{t}{Z} \sum_{i=1}^R Z_i S_i K_i$
Середня кількість перевірок	$K = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^R \log_2 L_i$
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P = p^K$
Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки	$P(\tau) = \prod_{j=1}^M P_j(\tau)$
Середній час відновлення, годин	$T_B = \frac{T_{BP}}{60 \cdot P \cdot P(\tau)}$

Коефіцієнт готовності виробу	$A = \frac{T}{T + T_B}$
Коефіцієнт неготовності виробу	$U = 1 - A$
Ефект в уточненні напрацювання виробу на відмову	$\eta_T = \frac{T(a=0) - T(a)}{T(a)}$
Ефект в уточненні мінімально необхідного значення правильної оцінки результату виконання перевірки	$\eta_p = \frac{p(a=0) - p(a)}{p(a)}$
Ефект в уточненні значення коефіцієнта неготовності виробу	$\eta_U = \frac{U(a) - U(a=0)}{U(a)} \cdot 100\%$

Результати досліджень формалізовано у вигляді блок-схеми реалізації алгоритму визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату вимірювання параметрів ВТЗ при ПР,

наведеного на рис. 2, що дозволяє обґрунтовано вибрати необхідні ЗВТ мінімальної вартості, які забезпечують потрібне значення показників надійності ВТЗ.

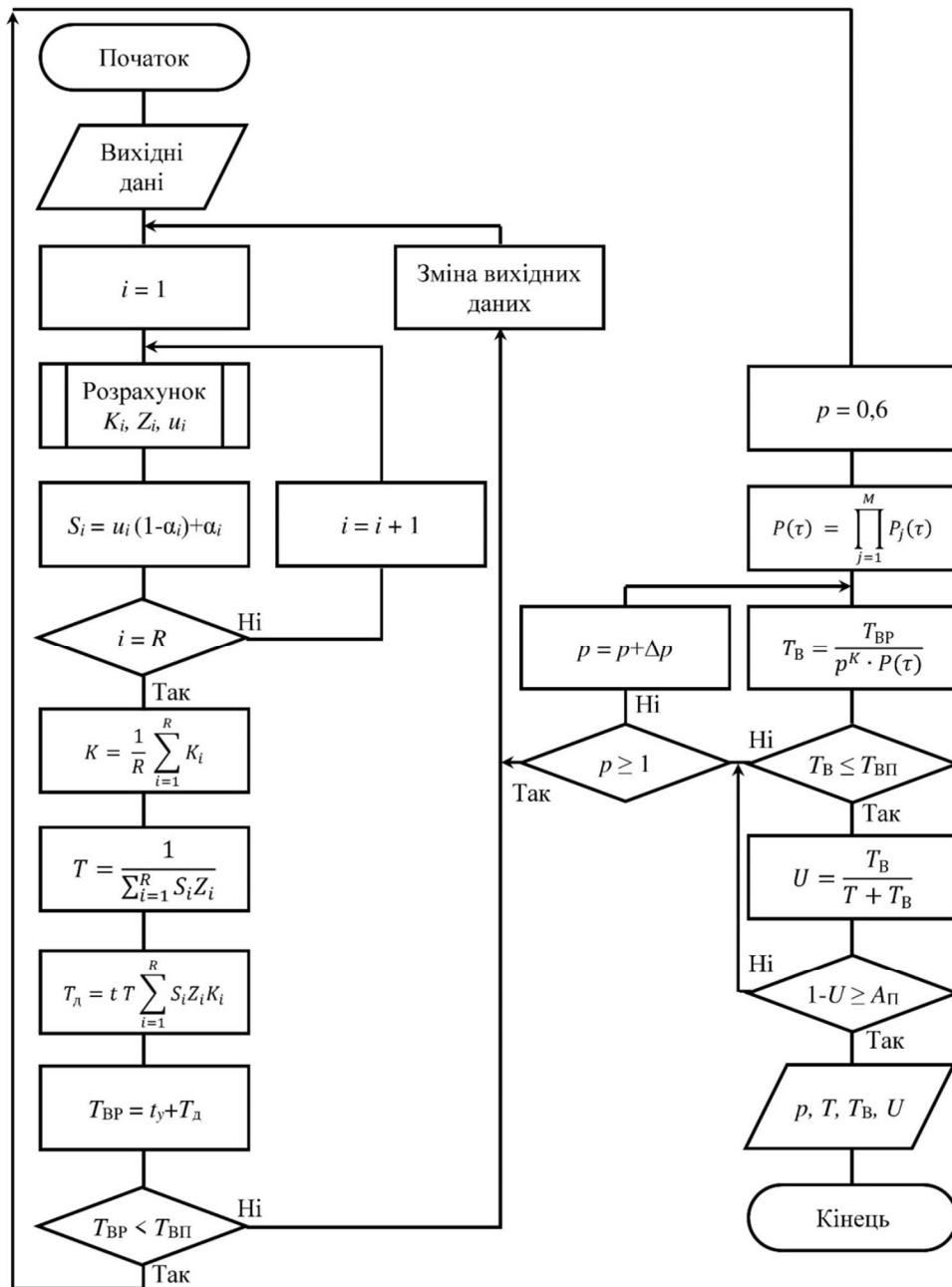


Рис. 2. Блок-схема алгоритму визначення мінімального необхідного значення ймовірності правильної оцінки діагностичного параметра

Розглянемо приклад використання запропонованого методу при виборі ЗВТ для ПР підсистеми управління функціонуванням радіопередавача великої потужності, яке має  $R = 5$  підмножин елементів. Умовний алгоритм діагностування з роботи [19] наведено на рис. 3. Керування радіопередавачем здійснюється дистанційно, тому елементи працюють різний час.



Рис. 3. Умовний алгоритм оцінки технічного стану підсистеми керування роботою радіопередавача

Вихідні дані наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Вихідні дані для прикладу

$i$	$L_i$	$K_i$	$u_i$	$Z_i (\alpha=0)$	$Z_i (\alpha=0,1)$
1	3	1,7	1,00	0,0050	0,00500
2	7	2,9	0,95	0,0067	0,00640
3	4	2,0	0,95	0,0057	0,00544
4	8	3,1	0,05	0,0080	0,00116
5	2	1,0	0,05	0,0333	0,00483

Далі за алгоритмом рис. 2. отримуємо при  $T_{ВП} \leq 20$  хв;  $A \geq 0,994$ ;  $t = 1$  хв.;  $t_y = 5$  хв;  $M = 1$ ;  $P(\tau) = 0,95$ ;  $\Delta p = 0,1$ ;  $K = 2,14$ ;  $Z(\alpha=0) = 0,0188 \text{ год}^{-1}$ ;  $T(\alpha=0) = 53,2$  год;  $T_B(\alpha=0) = 7,54 / p^{2,14}$ . Результати розрахунків  $T_B$ ,  $A$  і  $U$  наведені на рис. 4-6, відповідно.

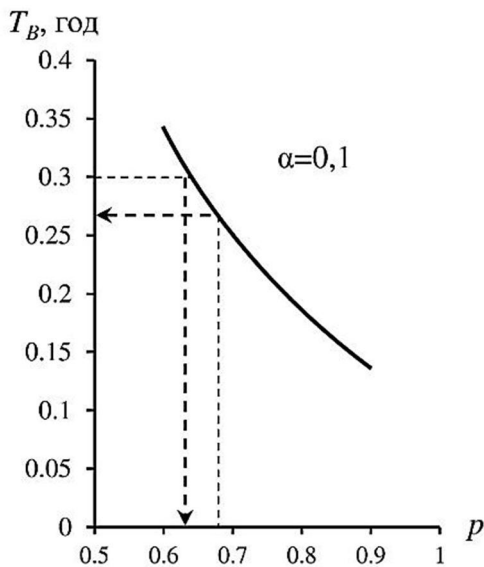


Рис. 4. Залежність середнього часу відновлення від ймовірності правильної оцінки результату перевірки

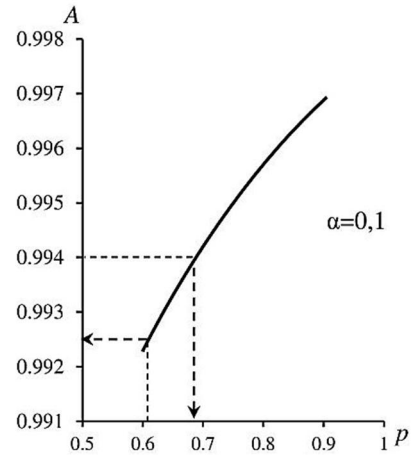


Рис. 5. Залежність коефіцієнта готовності виробу від ймовірності правильної оцінки результату перевірки

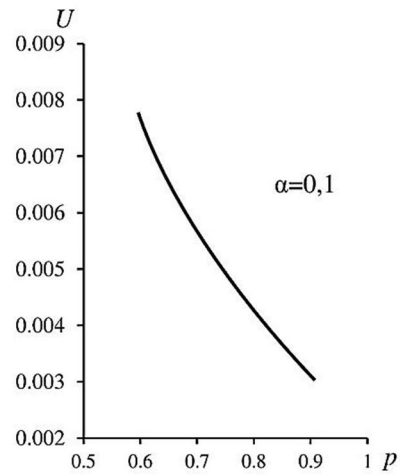


Рис. 6. Залежність коефіцієнта неготовності виробу від ймовірності правильної оцінки результату перевірки

Результати розрахунків для  $\alpha=0,1$  наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Результати розрахунків показників надійності виробу

$p$	$T_B$ , год	$A$	$U$
0,6	0,342	0,99225	0,00775
0,7	0,252	0,99428	0,00572
0,8	0,193	0,99561	0,00439
0,9	0,135	0,99693	0,00307

Отримані результати свідчать, що  $p_{min} (\alpha=0,1) = 0,61$ , при цьому  $A (p_{min}) = 0,99235$ , ефект від врахування прихованих відмов:

$$\eta_p = \frac{p_{min} (a = 0) - p_{min} (a = 0,1)}{p_{min} (a = 0,1)} 100\% = 5,7\% ;$$

$$\eta_U = \frac{U (a = 0,1) - U (a = 0)}{U (a = 0,1)} 100\% = 16,7 .$$

В цьому випадку  $T_B = T_{ВП}$ , але  $A < A_{П}$ , тобто необхідно збільшити значення  $p$  до 0,68, при цьому  $A = 0,994$  і  $T_B = 0,267$  год  $< T_{ВП}$  (рис. 4, 5).

Розрахунки при  $\alpha = 0$  показують, що можливо використовувати вбудований вольтметр з вертикальною лінійною шкалою ( $p = 0,645$ ), але цього недостатньо. При ПР підсистеми радіопередавача доцільно використовувати штатний багатоканальний аналоговий мультиметр апаратної ( $p = 0,840 \dots 0,852$ ) або цифровий мультиметр ( $p = 0,9993$ ).

Аналіз отриманих результатів показує, що оцінка впливу прихованих дефектів знижує час наробітку на відмову, але реально підвищує вимоги до якості МЗ для забезпечення необхідного рівня надійності об'єктів зі змінною структурою.

### Висновки

На основі оцінки впливу якості МЗ на показники надійності ВТЗ зі зміною структурою під час функціонування в можливих режимах роботи вперше за критерієм мінімуму ймовірності правильної оцінки результатів виконання вимірювань ЗВТ під час ПР науково обґрунтований і формалізований метод задання вимог до їх метрологічних характеристик з урахуванням можливості виникнення прихованих дефектів, умов ПР і обмежень на необхідне значення показників надійності. Наведено конкретний приклад використання методу на реальний ВТЗ і показано, що при цьому можливо уточнення  $p_{min}$  до 5,7%, а коефіцієнта неготовності до 16,7%.

Формалізація методу дозволяє використання ЕОМ в процесі розробки МЗ існуючих і перспективних зразків ВТЗ, що виключає вплив суб'єктивного фактора і прискорює час рішення завдання.

Подальші дослідження доцільно направити на удосконалення МЗ відновлення ВТЗ з аварійними і бойовими пошкодженнями слабого ступеня в польових умовах.

### Список літератури

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994. 88 с.
2. ДСТУ 2862-94. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Київ: Держстандарт України, 1994. 32 с.
3. Kuo W., Zuo M. J. Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2003. 544 p.
4. Rausand M., Barros A., Нюланд А. System reliability theory: models, statistical methods, and applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2021. 813 p.
5. Zio E. Reliability Engineering: Old Problems and New Challenges. *Reliability Engineering and System Safety*. – 2009. vol. 94. P. 125-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2008.06.002>
6. Зінковський Ю.Ф., Уваров Б.М. Визначення показників надійності в системах автоматизованого проектування

радіоелектронних пристроїв. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка, Радіоапаратобудування*, 2012. №50. С. 36-46. DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2012.50.36-46>

7. Жердев М.К., Ленков С.В., Креденцер Б.П. та ін.; за ред. М.К. Жердева. Фізичні основи теорії надійності: підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. 215 с.

8. Коренівська О.Л., Бенедицький В.Б. Теорія надійності, експлуатації та ремонту радіоелектронної та телекомунікаційної техніки: навчальний посібник. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 180 с.

9. Креденцер Б.П., Буточнов О.М., Міночкін А.І., Могилевич Д.І.; за ред. Креденцера Б.П. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація: Монографія. Київ: Фенікс, 2013. 342 с.

10. Креденцер Б.П., Могилевич Д.І., Кононова І.В. Оцінка виграшу в надійності при комплексному використанні надлишковості в об'єктах телекомунікацій. *Збірник наукових праць ВІПІ*. Київ: НТУУ "КПІ", 2017. № 2. С.48-57.

11. Дідковська М.В. Аналіз моделей оцінювання надійності програмного забезпечення. *Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка*, Київ: НТУУ "КПІ", 2004. № 41. С.103-120.

12. Бобало Ю.Я., Волочій Б.Ю., Лозинський О.Ю., Мандзій Б.А., Озірковський Л.Д., Федасюк Д.В., Щербовських С.В., Яковина В.С. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. 300 с.

13. Gurov S.V., Habarov S.P., Utkin L.V. Safety Analysis of a Multi-phased Control System. *Microelectronics Reliability*. 1997. Vol. 37, Issue 2. P. 243-254, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0026-2714\(96\)00088-1](https://doi.org/10.1016/S0026-2714(96)00088-1)

14. Ryzhov Y.V., Sakovich L.N., Puchkov O.O., Nebesna Y.E. Evaluation of Reliability of Radio-Electronic devices with Variable Structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2020. №3. P. 31–41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>

15. Сакович Л.М., Романенко В.П., Гиренко І.М., Курята Я.Е., Мирошніченко Ю.В. Технічна експлуатація засобів та систем зв'язку [Електронний ресурс]. Київ: НТУУ КПІ ім. І. Сікорського, 2021. 176 с. Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/57827/1/Tekhnichna\\_ekspluatatsiia\\_zasobiv\\_ta\\_system\\_zviazku.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/57827/1/Tekhnichna_ekspluatatsiia_zasobiv_ta_system_zviazku.pdf)

16. Pyrozhkov S.I., Reznikova O.O., Gnatiuk S.Ye., Kuryata Ya.E. Assessing the Reliability of Complex Systems Under Uncertainty in the Context of Ensuring National Resilience. *Science and Innovation*. 2023. № 19 (4). P 3-15. <https://doi.org/10.15407/scine19.04.003>

17. Василишин В.І., Женжера С.В., Чечуй О.В., Глушко А.П. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем: навчальний посібник. Харків: ХНУПС, 2018. 268 с.

18. Кононов В.Б., Водолажко С.В., Коваль С.В., Науменко А.М., Кондрашова І.І. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.

19. Ryzhov Ye., Sakovych L., Vankevych P., Yakovlev M., Nastishin Yu. Optimization of requirements for measuring

instruments at metrological service of communication tools. *Measurement*. 2018. Vol. 123. P.19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>

20. Gnatiuk S., Sakovich L., Kuryata Y. et al. Method for Estimating the Values of Reliability Indicators of Objects with Variable Structure. *CPITS 2022: Proceedings of the Workshop, 13 October 2022: proceedings*. - Kyiv, 2022. – Vol.3288. – P.33-43.

21. Ryzhov Y., Sakovich L., Kuryata Y. et al. Method of justification of requirements for metrological maintenance at the repair of products with variable structure. *Ukrainian metrological journal*. 2023. Vol.3 P. 16-23. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2023.291931>

22. Яковлев М.Ю. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М.Ю. Яковлев, Є.В. Рижов. *Військово-технічний збірник*. 2014. № 1(10). С. 115-121. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.115-121>

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

## References

1. State Standart of Ukraine (1994), "2860-94. Nadiinist tekhniki. Terminy ta vyznachennia" [2860-94. Reliability of the equipment. Terms and definitions]. Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, 88 p. [in Ukrainian].

2. State Standart of Ukraine (1994), "2862-94. Metody rozrakhunku pokaznykiv nadiinosti. Zahalni vymohy" [2862-94. Methods of calculating reliability indicators. general requirements]. Derzhstandart Ukrainy, Kyiv, 32 p. [in Ukrainian].

3. Kuo W. and Zuo M. J. (2003), *Optimal Reliability Modeling: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 544 p.

4. Rausand M., Barros A. and Høyland A. (2021), *System reliability theory: models, statistical methods, and applications*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 813 p.

5. Zio E. (2009), *Reliability Engineering: Old Problems and New Challenges*. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 94. pp. 125-141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.res.2008.06.002>

6. Zinkovskiy Yu.F. and Uvarov B.M. "Vyznachennia pokaznykiv nadiinosti v systemakh avtomatyzovanoho proektuvannia radioelektronnykh prystroiv" [Determination of reliability indicators in computer-aided design systems for electronic devices]. *Bulletin of NTUU "KPI". Series Radio engineering, Radio engineering*, Kyiv: NTUU "KPI", 2012. Issue 50. pp. 36-46. DOI: <https://doi.org/10.20535/RADAP.2012.50.36-46>. [in Ukrainian]

7. Zherdev M.K., Lienkov S.V. and Kredentser B.P. edited by M.K. Zherdev. (2008), "*Fizychni osnovy teorii nadiinosti*" [Physical foundations of reliability theory]: Textbook, Kyiv University Publishing and Printing Centre, Kyiv, 215 p. [in Ukrainian]

8. Korenivska O.L. and Benedytskiy V.B. (2020), "*Teoriia nadiinosti, ekspluatatsii ta remontu radioelektronnoi ta telekomunikatsiinoi tekhniki*" [Theory of Reliability, Operation and Repair of Radioelectronic and Telecommunication Equipment]: Tutorial, State University "Zhytomyr Polytechnic", Zhytomyr, 180 p. [in Ukrainian]

9. Kredentser B.P., Butochnov O.M., Minochkin A.I. and Mohylevych D.I. edited by Kredentser B.P. (2013), "*Nadiinist system z nadlyshkovistiu: metody, modeli, optymizatsiia*" [Reliability of systems with redundancy: methods, models, optimisation]: Monograph, Feniks, Kyiv, 342 p. [in Ukrainian]

10. Kredentser B.P., Mohylevych D.I. and Kononova I.V. (2017), "*Otsinka vyhrashu v nadiinosti pry kompleksnomu vykorystanni nadlyshkovosti v ob'ektakh telekomunikatsii*" [Evaluation of reliability gains in the integrated use of redundancy in telecommunications facilities]. *Collection of scientific works of VITI*. Kyiv. № 2. pp. 48-57. [in Ukrainian]

11. Didkovska M.V. (2004), "*Analiz modelei otsiniuvannia nadiinosti prohramnoho zabezpechennia*" [Analysis of software reliability assessment models]. *Bulletin of NTUU "KPI". Computer science, management and computer engineering*. Kyiv. № 41. pp. 103-120. [in Ukrainian]

12. Bobalo Yu.Ia., Volochii B.Iu., Lozynskiy O.Iu., Mandzii B.A., Ozirkovskiy L.D., Fedasiuk D.V., Shcherbovskiy S.V. and Yakovyna V.S. (2013), "*Matematychni modeli ta metody analizu nadiinosti radioelektronnykh, elektrotekhnichnykh ta prohramnykh system*" [Mathematical models and methods of reliability analysis of radio-electronic, electrical and software systems]: Monograph, Lviv Polytechnic Publishing House, Lviv, 300 p. [in Ukrainian]

13. Gurov S.V., Habarov S.P. and Utkin L.V. Safety (1997), Analysis of a Multi-phased Control System. *Microelectronics Reliability*. Vol. 37, Issue 2. pp. 243-254, DOI: [https://doi.org/10.1016/S0026-2714\(96\)00088-1](https://doi.org/10.1016/S0026-2714(96)00088-1)

14. Ryzhov Y.V., Sakovich L.N., Puchkov O.O. and Nebesna Y.E. (2020), Evaluation of Reliability of Radio-Electronic devices with Variable Structure. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. № 3. pp. 31–41. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-3>

16. Pyrozhekov S.I., Reznikova O.O., Gnatiuk S.Ye. and Kuryata Ya.E. (2023), Assessing the Reliability of Complex Systems Under Uncertainty in the Context of Ensuring National Resilience. *Science and Innovation*. № 19 (4). pp. 3-15. <https://doi.org/10.15407/scine19.04.003>

17. Vasylyshyn V.I., Zhenzhera S.V., Chechui O.V. and Hlushko A.P. (2018), "*Osnovy teorii nadiinosti ta ekspluatatsii radioelektronnykh system*" [Fundamentals of the theory of reliability and operation of radio electronic systems]: Tutorial, Kharkov: KhNUPS. 268 p. [in Ukrainian]

18. Kononov V.B., Vodolazhko S.V., Koval S.V., Naumenko A.M. and Kondrashova I.I. (2017), "*Osnovy teorii nadiinosti ta ekspluatatsii radioelektronnykh system*" [Fundamentals of operation of military measuring equipment in ATO conditions]: Kharkov: KhNUPS. 288 p. [in Ukrainian]

19. Ryzhov Ye., Sakovych L., Vankevych P., Yakovlev M. and Nastishin Yu. (2018), Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement*. Vol. 123. pp. 19-25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>

20. Gnatiuk S., Sakovich L., Kuryata Y. et al. (2022), Method for Estimating the Values of Reliability Indicators of Objects with Variable Structure. *CPITS 2022: Proceedings of the Workshop, 13 October 2022: proceedings*. Kyiv. Vol. 3288. pp. 33-43.



21. Ryzhov Y., Sakovich L., Kuryata Y. et al. (2023), Method of justification of requirements for metrological maintenance at the repair of products with variable structure. *Ukrainian metrological journal*. Vol. 3 pp. 16-23. DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2023.291931>

22. Yakovlev M. Yu., Ryzhov Ye.V. (2014), Pidkhid do vyboru zasobiv vymiryval'noyi tekhniki viys'kovoho pryznachennya dlya metrolohichnoho obsluhovuvannya viys'kovoyi tekhniki zv'yazku [Approach to the selection of military measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment]. *Military Technical*

*Collection*. № 10. pp. 115-121. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.115-121> [in Ukrainian]

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

## REPAIR OF MILITARY COMMUNICATION EQUIPMENT

L.N. Sakovych, Ye.V. Ryzhov, Ya.E. Kuriata, O.S. Babii

*Military communication equipment refers to multi-mode objects with a variable structure, which significantly affects its reliability. But this circumstance is not taken into account by the existing methods of developing metrological support for current repairs. Therefore, an improved method is proposed, which, unlike the known ones, takes into account not only the possibility of changing the structure of military communication equipment during its intended use, but also the presence of hidden defects in the non-working part of the object. This makes it possible to obtain an objective assessment of partial and complex indicators of reliability during the design of prospective samples of military communication equipment and their experimental operation, as well as reasonably obtain the minimum necessary indicators of metrological support to meet reliability requirements. It is formalized in the form of a block diagram of the implementation of the algorithm for determining the minimum necessary value of the probability of correctly assessing the result of measuring the parameters of military communication equipment during current repair, which allows you to reasonably choose the necessary means of measuring equipment of minimum cost, which provide the required value of the reliability indicators of military communication equipment.*

*New functional dependences of reliability indicators on current repair conditions and a formalized algorithm for choosing measuring equipment were obtained. An example of the use of the proposed proposals and the quantified effect of their implementation are given. The application of the proposed method does not require additional economic costs for implementation and allows you to meet the requirements for the average recovery time of military communication equipment during its current repair with the use of minimal cost measuring equipment.*

**Keywords:** *object with a variable structure, hidden defects, metrological support, overhaul.*