

ЮРІЙ МИРОШНИЧЕНКО

## МЕТОДИКА РОЗРОБКИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗА СТАНОМ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

Розглянуто особливості метрологічного забезпечення технічного обслуговування за станом засобів зв'язку великої розмірності (десятки і сотні тисяч елементів), що складаються з окремих підсистем, перевірку працездатності яких, технічне обслуговування та відновлення працездатності можливо виконувати автономно. Пропонується для підвищення ефективності технічного обслуговування за станом врахувати особливості метрологічного забезпечення, встановлювати раціональну послідовність виконання операцій, залежно від вимог обґрунтовано вибирати засоби вимірювальної техніки. Для цього в методиці використовують комплексний показник, що об'єднує окремі параметри перевірок та ймовірність їх переважного вибору. Це дозволяє за мінімальний час із заданою вірогідністю оцінити технічний стан засобу зв'язку. Крім того можливо кількісно оцінити час виконання технічного обслуговування з урахуванням метрологічної надійності та ймовірності правильної оцінки результату перевірки параметрів засобами вимірювальної техніки. Формалізовано порядок використання отриманих результатів і приведено приклад реалізації. Вперше враховано результати останніх досліджень в галузі технічного і метрологічного забезпечення засобів зв'язку під час їх технічної експлуатації, а саме можливість помилкової оцінки результатів виконання перевірки параметрів, можливість відмови засобів вимірювальної техніки, що дозволяє суттєво збільшити ймовірність правильної оцінки технічного стану засобів зв'язку під час їх технічного обслуговування за станом. Крім того, врахування сучасних досягнень в технічній діагностиці дозволило кількісно оцінити максимальне значення часу технічного обслуговування за станом засобів зв'язку та порівняти його з припустимим, який заданий в технічній документації. Отримано і досліджено функціональні залежності запропонованого комплексного коефіцієнту доцільності виконання кожної перевірки, від метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки та ймовірності помилкових рішень в оцінці значень перевірок після вимірювання відповідних параметрів. Визначена область існування рішень при розрахунку комплексного коефіцієнту від якості метрологічного забезпечення. Отримані результати доцільно використовувати під час розробки технологічного процесу обслуговування перспективних та існуючих засобів зв'язку, а також при плануванні діяльності фахівців при планових роботах по технічному обслуговуванню техніки на польових і стаціонарних вузлах зв'язку.

**Ключові слова:** засоби зв'язку, засоби вимірювальної техніки, метрологічне забезпечення, технічне обслуговування за станом.

**Постановка проблеми.** В [1] розглянуто метрологічні аспекти експлуатації засобів зв'язку (ЗЗ), але без врахування технічного обслуговування за станом (ТОС), а в [2] та [3] приведені перспективні напрямки оцінки технічного стану (ТС) під час ремонту ЗЗ. У зв'язку з цим виникає необхідність упровадження методу ТОС ЗЗ, як найбільш економічного та який забезпечує необхідний рівень їх готовності до використання за призначенням. Однак, на даний час відсутні науково обґрунтовані методичні рекомендації щодо впровадження цього методу: не визначено мінімальну кількість параметрів, що перевіряються, послідовність виконання перевірок, не обґрунтовано вимоги до метрологічного забезпечення (МЗ) залежно від необхідного часу виконання робіт.

Сучасні та перспективні ЗЗ належать до найбільш наукоємних і високотехнологічних видів промислової продукції, до яких висуваються підвищені вимоги за якістю та ефективністю застосування. Ефективне функціонування сучасних ЗЗ базується на основних

видах забезпечення, до яких належить і МЗ. При цьому важливим є аналіз і оцінка правильності задавання вимог до МЗ зразків ЗЗ при їх ТОС. Контроль результатів вимірювання параметрів та обґрунтований вибір потрібних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) впливають на ймовірність правильної оцінки реального ТС ЗЗ під час ТОС, що є основним завданням технічної діагностики. При відхиленні значень окремих параметрів від норми вирішується наступне завдання технічної діагностики – пошук та заміна несправного елемента ЗЗ. При цьому для зменшення кількості вимірювань використовують умовні алгоритми діагностування (УАД). Основний склад робіт, щодо обґрунтування вимог до МЗ, формується з вибору номенклатури ЗВТ.

Таким чином, зазначені обставини обумовлюють необхідність рішення актуального наукового завдання, сутність якого полягає в обґрунтуванні вимог до ЗВТ залежно від необхідного часу проведення ТОС ЗЗ, які дозволяють після виконання мінімально необхідної кількості перевірок визначити реальний ТС ЗЗ із заданою ймовірністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технічне обслуговування (ТО) виробів – комплекс операцій підтримання справності або працездатності під час технічної експлуатації, що передбачає перевірку на відповідність технічним умовам значень параметрів [4].

Розрізняють принципи реалізації ТО [5]: календарний, за напрацюванням та ТОС. Остання стратегія є пріоритетною на даний час: перелік та періодичність операцій визначається ТС ЗЗ, що ґрунтується на використанні поточної інформації в процесі експлуатації. Перевага ТОС полягає в тому, що перевірку параметрів ЗЗ виконують в заздалегідь заданій послідовності, а перелік робіт залежить від результатів контролю. При цьому виникають проблеми: якими ЗВТ та в якій послідовності виконувати перевірку параметрів ЗЗ для визначення реального ТС за мінімальний час [6].

Сучасні публікації в галузі технічної експлуатації складних систем [1] - [3], [7] - [16] свідчать про те, що є необхідність наукового аналізу і обґрунтування конкретних рекомендацій для практичного впровадження ТОС ЗЗ [1] - [3]. Фундаментальні теоретичні дослідження питань оптимізації виконання ТО приведені в [10], які в подальшому отримали розвиток в роботах з підвищення експлуатаційної надійності виробів [7] - [9]. У [11] проведено аналіз особливостей ТО систем з часовою надлишковістю і запропоновано заходи підвищення їх надійності. В сучасних роботах з технічної діагностики радіоелектронних систем для визначення послідовності перевірок, яка веде до скорочення часу локалізації дефекту, досить широко використовують ймовірність переважного вибору (ЙПВ) перевірок [12], [13]. Крім того, досліджено залежність впливу метрологічної надійності ЗВТ на час виконання ТО об'єктів різноманітного призначення [14] - [16], яка у попередніх роботах щодо оптимізації часу виконання ТО не врахована.

З проведеного аналізу слідує, що в дійсний час найбільш доцільно використовувати ТОС ЗЗ, при цьому необхідно комплексно врахувати показники надійності, часові та вартісні показники перевірки окремих підсистем, а також метрологічну надійність ЗВТ. Для цього потрібно запропонувати кількісний показник для оцінки ЙПВ параметрів з метою їх подальшого ранжування в порядку зменшення цього показника.

Метою статті є отримання і проведення аналізу аналітичних залежностей часу ТОС ЗЗ від показників якості МЗ для алгоритмізації процесу обґрунтованого вибору ЗВТ у вигляді методики.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Структура реалізації методики, її призначення і сутність, вихідні дані та результат використання, а також обмеження і припущення, які відповідають реальним умовам експлуатації ЗЗ, приведено на рис. 1.

Математичний апарат використовує методи теорії ймовірностей при кількісній оцінці ймовірності переважного вибору параметру під час ТОС ЗЗ, теорії метрології при врахуванні метрологічної надійності ЗВТ та вибору їх характеристик, а також технічної діагностики при розробці умовних алгоритмів мінімальної форми перевірки підсистем виробу і пошуку несправностей при відхиленні значень параметрів від норми.



Рисунок 1 – Структура реалізації методики розробки метрологічного забезпечення технічного обслуговування за станом засобів спеціального зв'язку

Аналіз публікацій щодо оцінки впливу МЗ на час виконання ТО об'єкту великої розмірності [6], [13], [16] дозволяє кількісно оцінити значення комплексного коефіцієнту кожної перевірки, що враховує показники надійності та часові показники

$$u_i = \frac{S_i v_i P_i}{\pi_i f_i q_i},$$

де  $P_i$  – метрологічна надійність ЗВТ в період  $\tau$  між перевірками

$$P_i = \prod_{j=1}^N P_j(\tau),$$

$N$  – кількість ЗВТ, що використовують під час перевірки параметру  $i$ ;

$P_j(\tau)$  – метрологічна надійність ЗВТ виду  $j$ ;

$v_i$  – значимість впливу параметру  $i$  на якість функціонування ЗЗ (оцінюють в результаті обробки даних експертного опитування фахівців за відомими методиками [17], [18])

$$\left(\sum_{i=1}^M v_i = 1\right);$$

$M$  – загальна кількість параметрів ЗЗ;

$S_i$  – ймовірність відмови сукупності елементів, що впливають на формування параметру  $i$

$$S_i = \frac{z_i}{\sum_{i=1}^M z_i} = z_i T, \quad \sum_{i=1}^M S_i = 1;$$

$z_i$  – параметр потоку відмов сукупності елементів;

$T$  – напрацювання ЗЗ на відмову;

$\pi_i$  – відносні працевитрати на технічне діагностування при відхиленні параметру  $i$  від норми

$$\pi_i = \frac{t_i}{\sum_{i=1}^M t_i}, \quad \sum_{i=1}^M \pi_i = 1,$$

$t_i$  – час виконання перевірки сукупності елементів, що впливають на формування параметру  $i$ ;

$f_i$  – відносні працевитрати на відновлення ЗСЗ і доведення параметру  $i$  до норми

$$f_i = \frac{t_{\theta i}}{\sum_{i=1}^M t_{\theta i}}, \quad \sum_{i=1}^M f_i = 1,$$

$q_i$  – значення імовірності помилки фахівця при оцінці параметру  $i$  залежно від ЗВТ (табл. 1) [19].

Таблиця 1 – Узагальнені відомості про помилкове рішення оцінки результату виконання вимірювальних операцій

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

Особливість використання ЗВТ під час ТОС ЗЗ обумовлена забезпеченням їх безвідмовності, переважно за прихованими метрологічними відмовами. Як показник метрологічної надійності ЗВТ використовують ймовірність  $P_j(\tau)$  збереження значень метрологічних характеристик у заданих межах протягом міжперевірочного інтервалу  $\tau$  [6], [15], [16].

Необхідний рівень метрологічної надійності суттєво залежить від сфери застосування ЗВТ і обирається з умови забезпечення необхідної ефективності функціонування ЗЗ. Як правило, цей рівень для робочих ЗВТ становить 0,85...0,99, а для зразкових – 0,90...0,99 [6], [15].

Кількісно ймовірність збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ в конкретних умовах експлуатації оцінюють за виразом [6], [13], [15]

$$P_j(\tau) = 1 - K_M K_C K_e,$$

де  $K_M$  – частка метрологічних характеристик ЗВТ, не охоплених вбудованим контролем;

$K_C$  – статистична оцінка коефіцієнта прихованих відмов, яка характеризує частку метрологічних відмов;

$K_e$  – еквівалентна кількість відмов при експлуатації ЗВТ

$$K_e = \tau K_B / T_3;$$

$K_B$  – середній коефіцієнт використання ЗВТ;

$T_3$  – напрацювання ЗВТ на відмову.

Значення  $\tau$  отримують з МЗ обслуговуваних ЗЗ або з технічного опису ЗВТ.

Відомо, що майстер з обслуговування ЗЗ безпосередньо займається ТОС і відновленням працездатності 900 годин протягом року. У такому разі отримуємо за рік експлуатації ЗЗ  $K_B = 0,103$  [13].

За результатами аналізу технічного опису та інструкції з експлуатації конкретних зразків ЗВТ визначають  $K_M$ .

Значення  $K_C$  залежно від призначення ЗВТ при відсутності реальних статистичних даних в заданих умовах експлуатації ЗЗ визначають за усередненими показниками табл. 2 [6], [13], [15].

Напрацювання на відмову ЗВТ також беруть із статистичних даних, а при їх відсутності – з технічного опису приладів.

Середнє квадратичне відхилення оцінки ймовірності збереження значень метрологічних характеристик ЗВТ розраховують за виразом [6], [13]

$$\delta = K_e K_M \sqrt{K_C (0,15 K_C + 1 / K_e)}.$$

Кількісна оцінка показників метрологічної надійності ЗВТ, які використовують під час ТОС радіостанцій, за даними [6], [13], [15], приведено в табл. 3, за умови, що  $\tau = 8760$  год.

Значення коефіцієнту  $u_i$  безрозмірне, дозволяє виявити найменш надійні підсистеми ЗЗ, які потребують мінімального часу на перевірку та відновлення, але мають найбільший вплив на якість функціонування ЗЗ в цілому. Воно змінюється в досить широких межах, тому для ранжування порядку перевірки параметрів ЗЗ доцільно використовувати ЙПВ [6], [17]

$$U_i = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^M u_i}, \quad \sum_{i=1}^M U_i = 1.$$

Параметри ЗЗ перевіряються в порядку зменшення значення  $U_i$ . При заданому значенні ймовірності визначення ТС ЗЗ  $P_0$  параметри перевіряються згідно встановленого рангу до виконання умови

$$\frac{\sum_{i=1}^n u_i}{\sum_{i=1}^M u_i} \geq P_0, \quad n = \overline{1, M},$$

де  $n$  – число параметрів, які перевіряються при ТОС.

У такому випадку необхідний мінімальний час перевірки ЗЗ

$$T_n = \sum_{i=1}^n t_i,$$

а вираш у відносному часі у порівнянні з повною перевіркою усіх параметрів ЗЗ дорівнює

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^M t_i - T_n}{\sum_{i=1}^M t_i} \cdot 100\%.$$

Таблиця 2 – Усереднені значення коефіцієнта прихованих відмов залежно від призначення засобів вимірювальної техніки

№	Назва параметра ЗЗ і призначення ЗВТ	$K_C$
1	Напруга	0,1
2	Параметри компонентів електричних кіл із зосередженими постійними	0,21
3	Потужність	0,23
4	Параметри елементів і трактів з розподіленими постійними	0,22
5	Частота і час	0,16
6	Різниця фаз і груповий час запізнення	0,20
7	Форма сигналу і спектр	0,20
8	Характеристики радіопристроїв	0,16
9	Імпульсні сигнали	0,16
10	Напруга поля і радіозавад	0,18
11	Підсилювачі вимірювальні	0,15
12	Генератори вимірювальні	0,20
13	Ослаблення сигналів	0,21
14	Електричні і магнітні властивості матеріалів	0,16
15	Параметри коаксіальних і хвилевідних трактів	0,21
16	Параметри радіоламп і напівпровідникових приладів	0,24

Таблиця 3 – Кількісна оцінка показників метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки

№	Засіб вимірювальної техніки	$T_3, год$	$K_M$	$K_C$	$P_j(\tau)$	$\delta$
1	Електровимірювальний багатофункціональний прилад	1500	1,0	0,21	0,877	0,353
2	Вимірювач потужності	2000	1,0	0,23	0,899	0,319
3	Частотомір	3000	0,5	0,16	0,976	0,217
4	Вимірювач нелінійних спотворень	5000	0,1	0,16	0,997	0,054
5	Мілівольтметр	4000	1,0	0,10	0,978	0,148
6	Генератор височастотних сигналів	5000	0,3	0,20	0,989	0,187

У [6], [20] показано, що використання розглянутого підходу до ранжування параметрів ЗЗ під час ТОС дозволяє до 10% скоротити кількість параметрів, які перевіряються, при заданому значенні  $P_\delta$ , або до 37% при заданому значенні напрацювання на відмову ЗЗ після перевірки основних параметрів, які впливають на якість функціонування.

Розглянемо вплив МЗ на значення комплексного коефіцієнту  $u_i$ , де

$$C_i = \frac{S_i v_i}{\pi_i f_i}, \quad u_i = C_i \frac{P_i}{q_i}.$$

Відношення  $P_i/q_i > 1$  тому, що  $P_i \approx 1$ , а  $q_i \ll 1$ , тобто якість МЗ головним чином впливає на значення  $u_i$ , яке лінійно змінюється залежно від цього відношення.

При  $v_i = 0,025$ ;  $S_i = 0,04$ ;  $\pi_i = 0,054$ ;  $f_i = 0,055$  отримуємо  $C_i = 0,3367$ . В такому разі на рис. 2 приведено залежність  $u_i(P_i)$ , а на рис. 3 залежність  $u_i(q_i)$ .

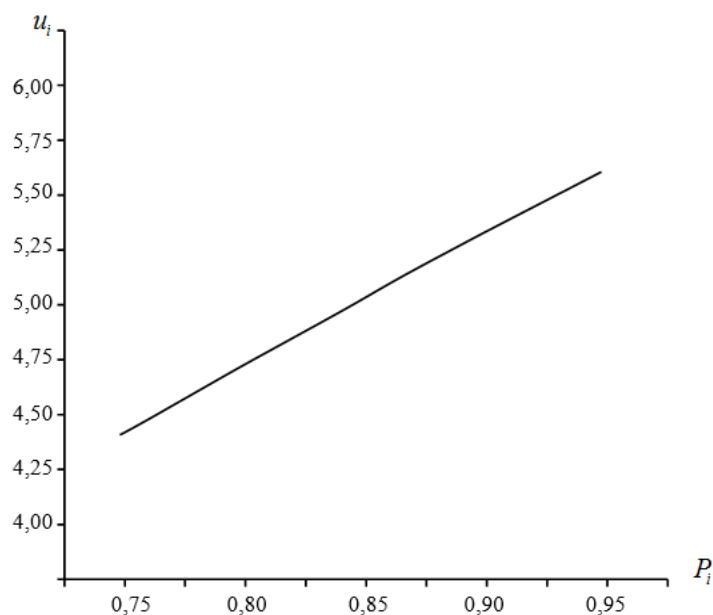


Рисунок 2 – Залежність  $u_i(P_i)$  при  $C_i = 0,3367$  і  $q_i = 0,058$

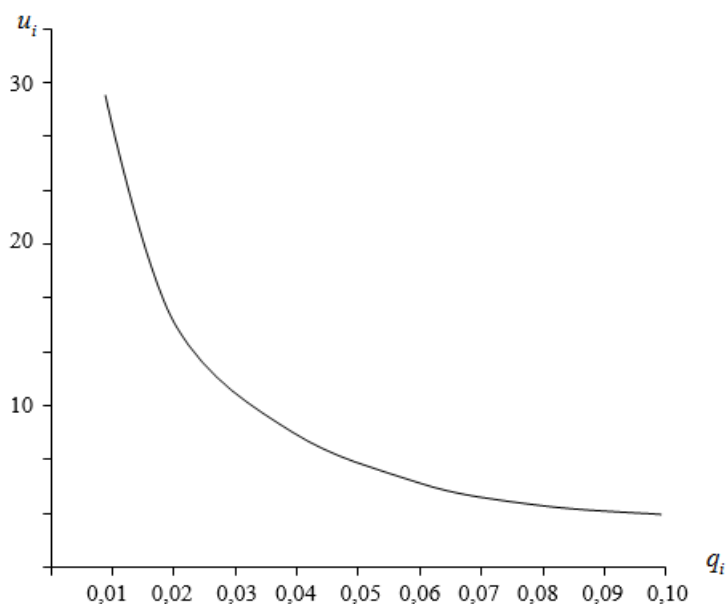


Рисунок 3 – Залежність  $u_i(q_i)$  при  $C_i = 0,3367$  і  $P_i = 0,85$

Тобто при збільшенні  $P_i$  на 0,2 отримуємо зростання  $u_i$  в 1,27 рази. Відповідно при зменшенні  $q_i$  на 0,09, коефіцієнт  $u_i$  також зменшується в 10 разів. У цілому маємо прямо пропорційну залежність значення  $u_i$  від якості МЗ (рис. 4 за даними [6]).

Використання запропонованого коефіцієнту  $u_i$  для розрахунку ЙПВ параметрів та їх ранжування дозволяє за рахунок перевірки в першу чергу найменш надійних сукупностей елементів  $n$  оцінити з необхідною точністю показники якості ТОС 33:

– ймовірність безвідмовної роботи перевіреної частини 33 за час  $t = 720$  год (місяць роботи)

$$P_{\delta} \leq P(n) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n z_i\right), \quad 1 \leq n \leq M,$$

де  $P_{\delta}$  – допустиме значення  $P(n)$ ;

– напрацювання перевіреної частини 33 на відмову

$$T_{\delta} \leq T(n) = \left(\sum_{i=1}^n z_i\right)^{-1}, \quad 1 \leq n \leq M,$$

де  $T_{\delta}$  – допустиме значення  $T(n)$ .

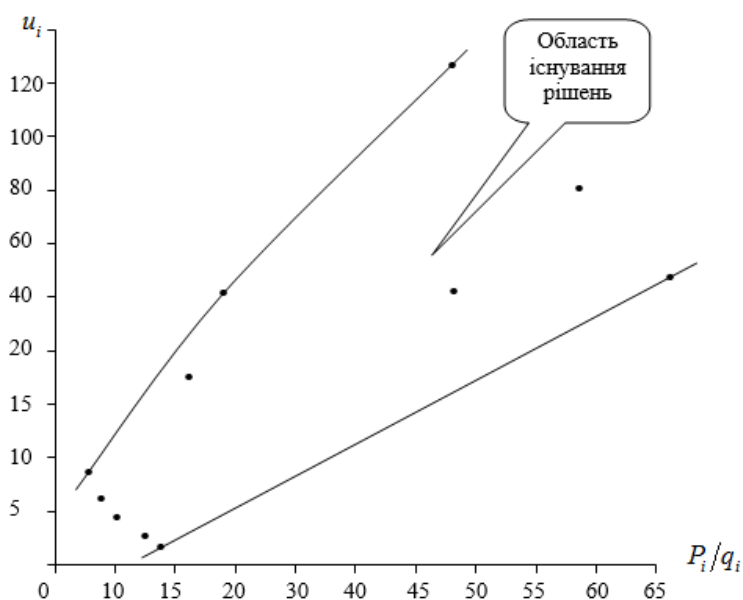


Рисунок 4 – Залежність  $u_i(P_i/q_i)$

Розглянемо вплив якості МЗ на відновлення 33 при невідповідності значення параметрів припустимим межах їх зміни.

Оскільки при ТОС використовується один комплект ЗВТ, як при перевірці параметрів, так і при пошуку елемента, який відмовив, то метрологічна надійність буде дорівнювати, як і раніше  $P_i = P$ .

При значеннях  $n$  перевірених параметрів в межах норми, загальний час ТОС складе

$$T_{ТОС} = \frac{1}{P} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{(1-q)^i}, \quad 1 \leq n \leq M,$$

де  $q = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - q_j)$  – ймовірність помилкової оцінки результату перевірки параметру при використанні  $N$  ЗВТ;

використанні  $N$  ЗВТ;

$q_j$  – ймовірність помилкової оцінки результату перевірки виробом  $j$ ;

$(1 - q)^n$  – ймовірність правильної оцінки технічного стану об'єкту.



При виявленні  $0 < m \leq n$  параметрів, які не відповідають нормі, виконується пошук дефектів в підмножинах елементів, які їх формують, по УАД з повторною перевіркою параметру після усунення несправності (рис. 5)

$$T_{TOC}(n, m) = \frac{1}{P} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{(1-q)^i} + T \left( \frac{\sum_{i=0}^m t_i z_i}{(1-q)^m} + \sum_{i=0}^m \frac{(K_i t + t_{yi}) z_i}{(1-q)^{K_i}} \right) \right],$$

де  $K_i = \log_2 L_i$  – кількість перевірок, коли параметр  $i$  не відповідає нормі;  
 $t$  – середній час виконання перевірки;  
 $t_{yi}$  – середній час усунення несправностей;  
 $z_i T$  – ймовірність відмови об'єкту через параметр  $i$ .

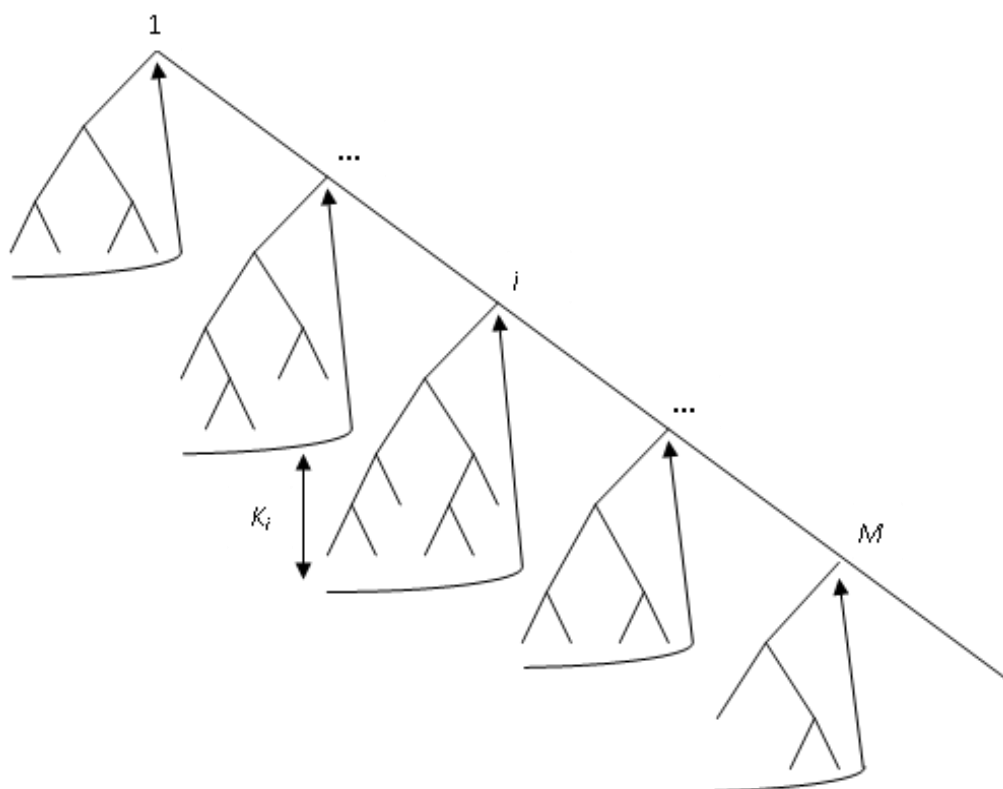


Рисунок 5 – Алгоритм виконання перевірок при технічному обслуговуванні об'єкту за станом з усуненням несправностей

Максимальне значення ТОС при  $m = n$  дорівнює

$$\max T_{TOC} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{t_i (1 + T z_i)}{(1-q)^i} + T \frac{(K_i t + t_{yi}) z_i}{(1-q)^{K_i}} \right].$$

Отримані результати дозволяють формалізувати порядок вибору ЗВТ для ТОС ЗЗ у вигляді алгоритму реалізації методики (рис. 6).

Наприклад, при  $0,85 \leq P_i \leq 0,99$  отримуємо  $P_i = P = 0,92$ . Використання цифрового ЗВТ під час ТОС (табл. 1) забезпечує ймовірність правильної оцінки результату перевірки  $1 - q_i = 0,9993$ , тобто  $q_i = q = 0,0007$ . За вихідними даними [6] якщо всі параметри ЗЗ в нормі отримуємо  $T_{TOC} = 202 \text{ хв}$ , що на 9% більше без врахування ймовірності помилки виконавця: при  $q = 0$   $T_{TOC} = 185 \text{ хв}$ .

У найгіршому випадку, коли  $m = n = M$  при  $t = 3 \text{ хв}$  отримаємо  $\max T_{\text{ТОС}} = 247 \text{ хв}$  з урахуванням ймовірності відмови підмножин елементів, тобто на 22,3% більше ніж при  $m = 0$ . При цьому при  $n = 9$  отримуємо  $P(n) = 0,85 = P_{\delta}$ ,  $T(n) = 11300 \text{ год} > T = 10000 \text{ год}$ , а також  $\max T_{\text{ТОС}} = 247 \text{ хв} < T_{\text{ТОС}} = 250 \text{ хв}$ . Тобто ЗВТ вибрано правильно та МЗ відповідає вимогам.

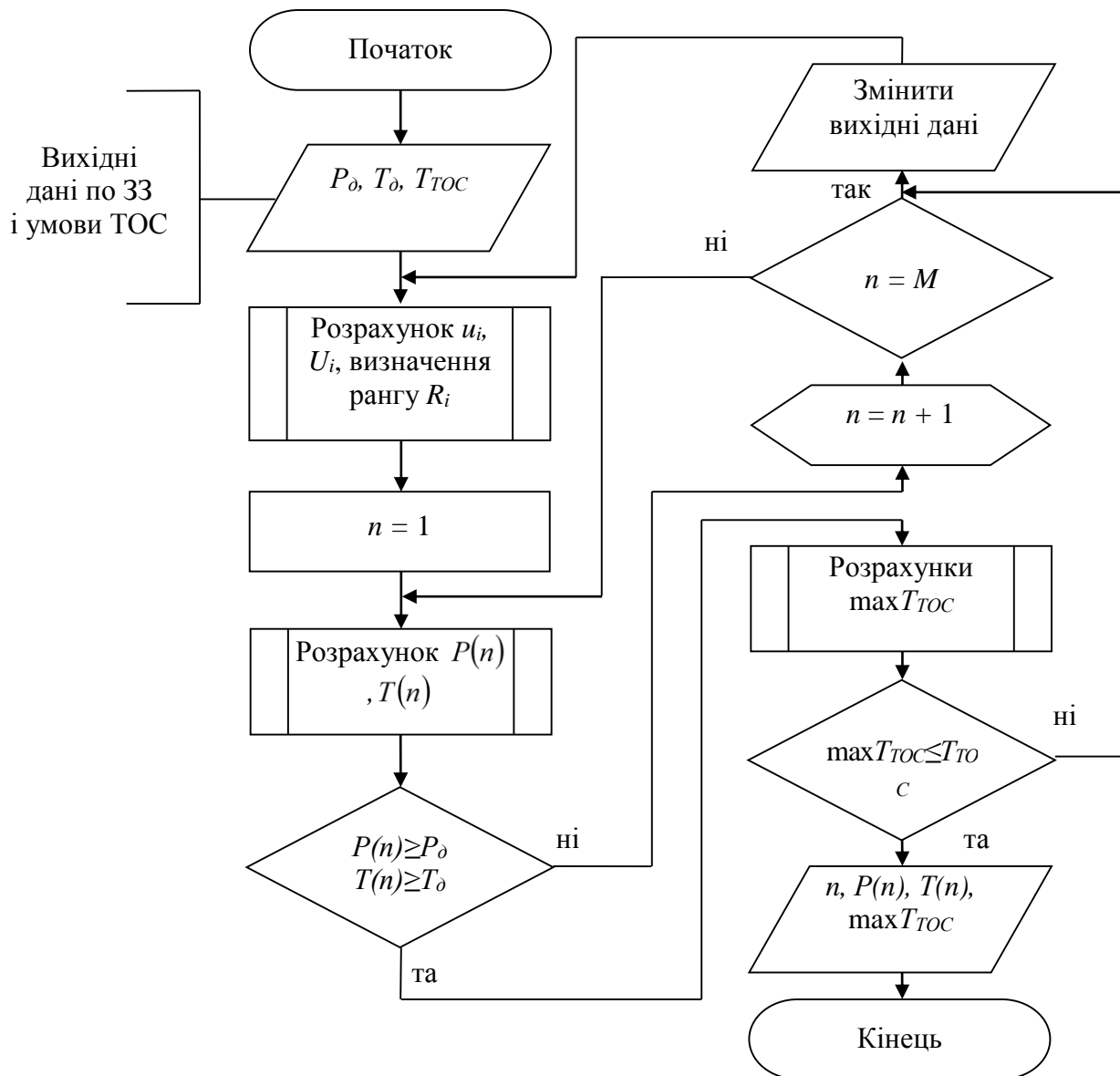


Рисунок 6 – Блок-схема алгоритму реалізації методики вибору засобів вимірювальної техніки для технічного обслуговування за станом засобів зв'язку

**Висновки.** 1. Вперше проаналізовано і враховано вплив метрологічного забезпечення на якість технічного обслуговування за станом засобів зв'язку.

2. Отримано і досліджено функціональні залежності показників якості технічного обслуговування за станом засобів зв'язку від метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки та ймовірності правильної оцінки результату перевірки значення параметру засобу зв'язку виконавцем.

3. Результати досліджень доведено до рекомендацій, які практично реалізуються у вигляді методики вибору засобів вимірювальної техніки залежно від вимог до показників якості технічного обслуговування за станом засобів зв'язку у вигляді формалізованого алгоритму з прикладом його використання.

4. Подальші дослідження доцільно направити на автоматизацію процесу вибору засобів вимірювальної техніки за допомогою електронно-обчислюваної техніки, що дозволить скоротити час розробки технологічної документації технічного обслуговування перспективних засобів зв'язку за станом та обґрунтовано обирати для цього засоби вимірювальної техніки мінімальної вартості.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu. Myroshnychenko, V. Hrabchak, Yu. Nastishin, and A. Volobuiv, "Metrological support of maintenance by the technical state of communication means", *Ukrainian metrological journal*, vol. 3, pp. 17-23, 2021, doi: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2021.241573>.
- [2] L. Sakovych, S. Gnatiuk, S. Voloshko, and Yu. Myroshnychenko, "Research of conditional diagnostic algorithms many source objects", *Control, navigation and communication systems*, iss. 3 (65), pp. 139-142, 2021, doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.139>.
- [3] С. І. Глухов, Л. М. Сакович, та О. С. Бабій, "Використання інформаційних технологій для прогнозування технічного стану об'єктів радіоелектронної техніки", *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 1 (46), с. 72-78, 2022, doi: <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.46.10>.
- [4] Державний стандарт України. (1998, Лип. 01). *ДСТУ В 3576, Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення*. Держстандарт України. Київ, 1998. 59 с.
- [5] Державний стандарт України. (1998, Лип. 01). *ДСТУ В 3577, Види технічного обслуговування. Заміна комплектуючих виробів. Загальні положення*. Держстандарт України. Київ, 1998. 9 с.
- [6] В. Б. Кононов, Л. М. Сакович, та Л. А. Коротченко, "Метод завдання послідовності перевірки радіоелектронних комплексів при технічному обслуговуванні за станом", *Advanced Information Systems*, vol. 4, no 1, pp. 85-90, 2020, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.12>.
- [7] В. А. Острейковский, *Теория надежности*. Москва, Россия: Высшая школа. 2003.
- [8] А. М. Половко, и С. В. Гуров, *Основы теории надежности*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ-Петербург, 2006.
- [9] В. І. Василюшин, С. В. Женжера, С. В. Чечуй, та А. Л. Глушко, *Основы теории надёжности та експлуатації радіоелектронних систем*. Харків, Україна: ХНУПС, 2018.
- [10] Е. Ю. Барзилович, *Модели технического обслуживания сложных систем*. Москва, СССР: Высшая школа, 1982.
- [11] Б. П. Креденцер, *Техническое обслуживание и надёжность систем с временным резервированием*. Киев, Украина: Феникс, 2016.
- [12] С. П. Ксёنز, М. И. Полтаржицкий, С. П. Алексеев, и В. В. Минеев, *Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации*. Санкт-Петербург, Россия: ВАС, 2010.
- [13] Ye. Ryzhov, L. Sakovych, P. Vankevych, M. Yakovlev, and Yu. Nastishin, "Optimization of requirements for measuring at metrological service of communication tools", *Measurement Journal of International Measurement Confederation*, vol. 123, pp. 19-25, 2018, doi: <https://doi.org/1016/j.measurement.2018.03.03.055>.
- [14] В. Б. Кононов, О. В. Водолажко, та О. В. Коваль, *Основы эксплуатации засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО*. Харків, Україна: ХНУПС, 2017.
- [15] V. Kononov, Ye. Ryzhov, and L. Sakovych, "Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support", *Advanced Information System*. vol. 2, no. 1, pp. 91-95, 2018, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
- [16] Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецький, та Я. Е. Небесна, "Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку", *Системи управління, навігації та зв'язку*, вип. 2 (48), с. 164-166, 2018, doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.164>.

- [17] А. И. Орлов, *Экспертные оценки*. Москва, Россия: Наука, 2002.
- [18] А. И. Коваленко, С. В. Драган, и М. А. Рыхальский, *Экспертные оценки в управлении информационными проектами*. Николаев, Украина: НУК, 2007.
- [19] Л. М. Сакович, В. А. Рыжаков, и В. П. Павлов, “Выбор средств измерений для технического обслуживания и текущего ремонта оборудования систем защиты информации”, *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*, вип. 7, с. 77-85, 2003.
- [20] Л. М. Сакович, С. В. Рижов, Ю. А. Настишин, Ю. В. Мирошниченко, та Л. А. Коротченко, “Методика визначення послідовності перевірки радіоелектронних комплексів при технічному обслуговуванні за станом”, *Військово-технічний збірник*, вип. № 22, с. 73-82, 2020, doi: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.66-73>.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2022.

## REFERENCE

- [1] Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu. Myroshnychenko, V. Hrabchak, Yu. Nastishin, and A. Volobuiv, “Metrological support of maintenance by the technical state of communication means”, *Ukrainian metrological journal*, vol. 3, pp. 17-23, 2021, doi: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.3.2021.241573>.
- [2] L. Sakovych, S. Gnatiuk, S. Voloshko, and Yu. Myroshnychenko, “Research of conditional diagnostic algorithms many source objects”, *Control, navigation and communication systems*, iss. 3 (65), pp. 139-142, 2021, doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2021.3.139>.
- [3] S. Glukhov, L. Sakovych, and O. Babii, “Using information technologies for forecasting the technical condition of radio electronic equipment objects”, *Science and Technology of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine*, no. 1 (46), pp. 72-78, 2022, doi: <https://doi.org/10.30748/nitps.2022.46.10>.
- [4] State standard of Ukraine. (1998, July 01). *DSTU B 3576, Operation and repair of military equipment. Terms and definitions. State Standard of Ukraine*. Kyiv, 1998. 59 p.
- [5] State standard of Ukraine. (1998, July 01). *DSTU B 3577, Types of maintenance. Replacement of components. Terms. State Standard of Ukraine*. Kyiv, 1998. 9 p.
- [6] V. Kononov, L. Sakovych, and L. Korotchenko, “The method of tasking the sequence of checking radio-electronic complexes during maintenance according to condition”, *Advanced Information Systems*, vol. 4, no 1, pp. 85-90, 2020, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.12>.
- [7] V. Ostreikovskiy, *Theory of reliability*. Moscow, Russia: Higher School. 2003.
- [8] A. Polovko, and S. Gurov, *Fundamentals of reliability theory*. St. Petersburg, Russia: BHV-Petersburg, 2006.
- [9] V. Vasylyshyn, S. Zhenzhera, S. Chechuy, and A. Glushko, *Basics of the theory of reliability and operation of radio electronic systems*. Kharkiv, Ukraine: KhNUPS, 2018.
- [10] E. Barzylovych, *Models of maintenance of complex systems*. Moscow, Russia: Higher School, 1982.
- [11] B. Kredenzler, *Maintenance and reliability of systems with temporary reservation*. Kyiv, Ukraine: Phoenix, 2016.
- [12] S. Ksyonz, M. Poltarzhitskiy, S. Alekseev, and V. Mineev, *Struggle with diagnostic errors during maintenance and repair of communication and navigation control systems*. St. Petersburg, Russia: VAS, 2010.
- [13] Ye. Ryzhov, L. Sakovych, P. Vankevych, M. Yakovlev, and Yu. Nastishin, “Optimization of requirements for measuring at metrological service of communication tools”, *Measurement Journal of International Measurement Confederation*, vol. 123, pp. 19-25, 2018, doi: <https://doi.org/1016/j.measurement.2018.03.03.055>.

- [14] V. Kononov, O. Vodolajko, and O. Koval, *Fundamentals of operation of military measuring equipment in conditions of anti-terrorist operation*. Kharkiv, Ukraine: KhNUPS, 2017.
- [15] V. Kononov, Ye. Ryzhov, and L. Sakovych, "Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support", *Advanced Information System*, vol. 2, no. 1, pp. 91-95, 2018, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
- [16] L. Sakovych., G. Krykhovetskyi, and Y. Nebesna, "Assessment of the influence of metrological reliability of measuring devices on the time of maintenance of special communication devices", *Control, navigation and communication systems*, vol. 2 (48), pp. 164-166, 2018, doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.2.164>.
- [17] A. Orlov, *Expert assessments*. Moscow, Russia: Science, 2002.
- [18] A. Kovalenko, S. Dragan, and M. Ryhalsky, *Expert evaluations in the management of information projects*. Nikolaev, Ukraine: NUK, 2007.
- [19] L. Sakovych, V. Ryzhakov, and V. Pavlov, "Choosing measurement tools for maintenance and ongoing repair of equipment for information protection systems", *Legal, normative and metrological support of the information protection system in Ukraine*, iss. 7, pp. 77-85, 2003.
- [20] L. Sakovych, E. Ryzhov, Yu. Nastyshyn, Yu. Myroshnychenko, and L. Korotchenko, "Methodology for determining the sequence of checking radio-electronic complexes during maintenance according to condition", *Military-technical collection*, iss. 22, pp. 73-82, 2020, , doi: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.22.2020.66-73>.

YURII MYROSHNYCHENKO

#### **DEVELOPMENT METHODOLOGY OF METROLOGICAL SUPPORT OF MAINTENANCE BY THE TECHNICAL STATE OF COMMUNICATION MEANS**

Peculiarities of metrological support for technical maintenance based on the condition of large-scale communication devices (tens and hundreds of thousands of elements) consisting of separate subsystems, whose functionality can be checked, maintenance and restoration of functionality can be performed autonomously, are considered. It is suggested to increase the efficiency of technical maintenance according to the condition to take into account the peculiarities of metrological support, to establish a rational sequence of operations, and to reasonably choose measuring equipment depending on the requirements. For this, the methodology uses a complex indicator that combines individual parameters of checks and the probability of their preferred choice. This makes it possible to assess the technical condition of the means of communication in a minimum time with a given probability. In addition, it is possible to quantitatively estimate the time of maintenance, taking into account metrological reliability and the probability of correct assessment of the result of checking parameters by means of measuring equipment. The procedure for using the obtained results is formalized and an example of implementation is given. For the first time, the results of the latest research in the field of technical and metrological support of means of communication during their technical operation are taken into account, namely, the possibility of erroneous assessment of the results of parameter checks, the possibility of failure of measuring equipment, which allows to significantly increase the probability of correct assessment of the technical condition of means of communication during their maintenance according to condition. In addition, taking into account modern achievements in technical diagnostics made it possible to quantitatively estimate the maximum value of the maintenance time based on the state of the means of communication and compare it with the acceptable value specified in the technical documentation. The functional dependencies of the proposed complex coefficient of the feasibility of each inspection, on the metrological reliability of the measuring equipment and the probability of erroneous decisions in the evaluation of the inspection values after measuring the relevant parameters, were obtained and investigated. The area of existence of solutions for calculating the complex coefficient from the quality of metrological support is defined. It is advisable to use the obtained results during the

development of the technological process of maintenance of promising and existing means of communication, as well as when planning the activities of specialists during scheduled maintenance work on equipment at field and stationary communication nodes.

**Keywords:** communication means, facilities of measuring technique, metrological support, maintenance by the technical state.

**Мирошниченко Юрій Володимирович**, аспірант, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна, ORCID ID 0000-0002-8603-9429, miroshnichenko\_yuriy@ukr.net.

**Myroshnychenko Yurii**, postgraduate student, Institute of special communication and information security of National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine.