

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

УДК 623.61+621.396.6

**МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ МІНІМАЛЬНО ПРИПУСТИМОГО ЗНАЧЕННЯ
ЙМОВІРНОСТІ ОЦІНКИ РЕЗУЛЬТАТУ ПЕРЕВІРКИ ПАРАМЕТРІВ**¹⁾Рижов Є. В., ²⁾Сакович Л. М.¹⁾Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного,
м. Львів, Україна²⁾Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного
університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського,
м. Київ, УкраїнаE-mail: zheka1203@ukr.net, lev@sakovich.com.ua

У статті запропонований метод обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату перевірки параметрів з врахуванням метрологічної надійності засобів виміральної техніки, що дає можливість зменшити витрати на метрологічне обладнання ремонтних органів. Метрологічна надійність характеризується інтенсивністю відмов, ймовірністю безвідмовної роботи та напрацюванням на відмову. Зазначена задача у відомих роботах вирішується за убуттям комплексного коефіцієнту параметрів, що враховує кількість елементів засобів спеціального зв'язку, які впливають на його формування, важливість параметру для організації зв'язку, часу і вартості вимірювання. Це справедливо для стаціонарних умов, але в польових умовах необхідно враховувати метрологічну надійність засобів виміральної техніки, що залежить від температури, вологості, вібраційних навантажень та інших факторів.

Ключові слова: засоби спеціального зв'язку, метрологічне обслуговування, засоби виміральної техніки.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Показники якості засобів виміральної техніки (ЗВТ) суттєво впливають на середній час діагностування і відновлення засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ). Тому обґрунтування мінімально припустимих вимог до ЗВТ при забезпеченні необхідного часу відновлення ЗСЗ є досить актуальним завданням, оскільки це знижує вартість технологічного обладнання ремонтних органів.

Встановлено, що функціональна залежність відхилення діагнозу при помилці ремонтника від метрологічних характеристик ЗВТ має максимум [1].

У відомих роботах [2 - 7] ця задача вирішується за убуттям комплексного коефіцієнту параметрів, що враховує кількість елементів ЗСЗ, які впливають на його формування, важливість параметру для організації зв'язку, часу і вартості вимірювання. Це справедливо для стаціонарних умов, але в польових умовах необхідно враховувати метрологічну надійність ЗВТ, що залежить від температури, вологості, вібраційних навантажень та інших факторів.

Цю обставину не враховано в відомих роботах [2-7], що веде до завищення вимог до ЗВТ і, як наслідок, збільшення їх вартості.

Метрологічна надійність – властивість ЗВТ зберігати встановленні значення метрологічних характеристик протягом певного часу при нормальних режимах та робочих умовах експлуатації. Вона характеризується інтенсивністю відмов, ймовірністю безвідмовної роботи та напрацюванням на відмову [8, 9].

В процесі експлуатації метрологічні характеристики і параметри ЗВТ зазнають змін. Ці зміни носять випадковий монотонний характер і призводять до відмов, тобто до неможливості ЗВТ виконувати свої функції. Відмови діляться на не метрологічні і метрологічні.

Не метрологічною називається відмова, обумовлена причинами, не пов'язаними зі зміною метрологічних характеристик ЗВТ. Вони носять головним чином явний характер, проявляються раптово і можуть бути виявлені без проведення перевірки.

Метрологічною називається відмова, викликана виходом метрологічних характеристик з встановлених допустимих меж. Як показують

проведені дослідження, метрологічні відмови трапляються значно частіше, ніж не метрологічні. Це обумовлює необхідність розробки спеціальних методів їх прогнозування і виявлення. Метрологічні відмови підрозділяються на раптові і поступові.

Метою роботи є розроблення методу обґрунтування мінімально припустимого значення імовірності оцінки результату перевірки параметрів з врахуванням метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що забезпечить зменшення витрат на технологічне обладнання ремонтних органів.

Виклад основного матеріалу

Пропонується алгоритм обґрунтування мінімально припустимого значення імовірності оцінки результату перевірки параметрів ЗСЗ під час їх ремонту агрегатним методом, що дозволяє мінімізувати вартість ЗВТ при виконанні вимог до

показників якості ремонту [2, 5, 10]:

$$T_e \leq T_{en}; \rho \leq 0,5; \rho_M \leq 1,0;$$

де T_e – розрахунковий час відновлення ЗСЗ;

T_{en} – припустимий час відновлення ЗСЗ;

ρ – середнє значення відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату перевірки;

ρ_M – максимальне значення відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату перевірки.

Отримано розрахункові вирази для кількісної оцінки цих показників при пошуку дефектів за умовними алгоритмами досконалої форми, що приведені в табл. 1 [2, 5, 10], де показано переваги сумісного пошуку над зонним і встановлено, що при $\rho \leq 0,5$ завжди $\rho_M \leq 1,0$, тобто цю умову можливо не перевіряти.

Таблиця 1. Співвідношення для кількісної оцінки відхилення результату визначення технічного стану об'єкта по умовному алгоритму досконалої форми ($F = 1$)

Вид алгоритму	Середнє значення відхилення, ρ	Максимальне значення відхилення, ρ_M	K	L	P
Бінарний $m = 2$	$0,5(L + K - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$(L - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$\log_2 L$	2^K	p^K
Однорідний $2 \leq m = const$	$\frac{m-1}{m} \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\log_m L$	m^K	p^K
Груповий $m = \mu + 1$	$\frac{\mu}{\mu+1} \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\log_{\mu+1} L$	$(\mu+1)^K$	$p^{\mu K}$

В табл. 1 додатково використано позначення:

L – загальна кількість елементів в об'єкті;

K – середня кількість перевірок при пошуку дефектів;

p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

m – модуль вибору алгоритму діагностування;

μ – кількість фахівців під час групового пошуку дефектів;

P – ймовірність правильної постановки діагнозу.

Види і форми умовних алгоритмів діагностування ЗСЗ приведено на рис. 1 [2], де:

- бінарний ($m = 2$) досконалої форми ($K = \log_2 L$) (рис. 1 а);

- бінарний мінімальної форми (різниця максимальної K_{\max} і мінімальної K_{\min} кількості перевірок дорівнює одиниці) (рис. 1, в);

- бінарний довільної форми ($K = \frac{1}{L} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} i \cdot l_i$, l_i

– кількість результатів пошуку після виконання i

перевірок) (рис. 1с);

- бінарний максимальної форми ($K_{\min}=1$,

$$K_{\max} = \frac{L-1}{m-1}, K(m=2) = \frac{(L-1)(L+2)}{2L})$$
 (рис. 1, d);

- груповий сумісний (одночасна перевірка μ параметрів) довільної форми ($K_{\min} < K < K_{\max}$) (рис. 1 е);

- однорідний ($m = 3$) довільної форми (рис. 1 f).

В усіх випадках середній час відновлення дорівнює

$$T_e = \frac{tK + t_y}{P},$$

де t – середній час відновлення перевірки;

t_y – середній час виконання перевірки.

Функціональні залежності значення ρ від форми алгоритму діагностування приведено в табл. 2 за даними [2, 5, 10], де $[a]$ – ціла частина числа a , $\lceil a \rceil$ – округлення a до цілого числа.

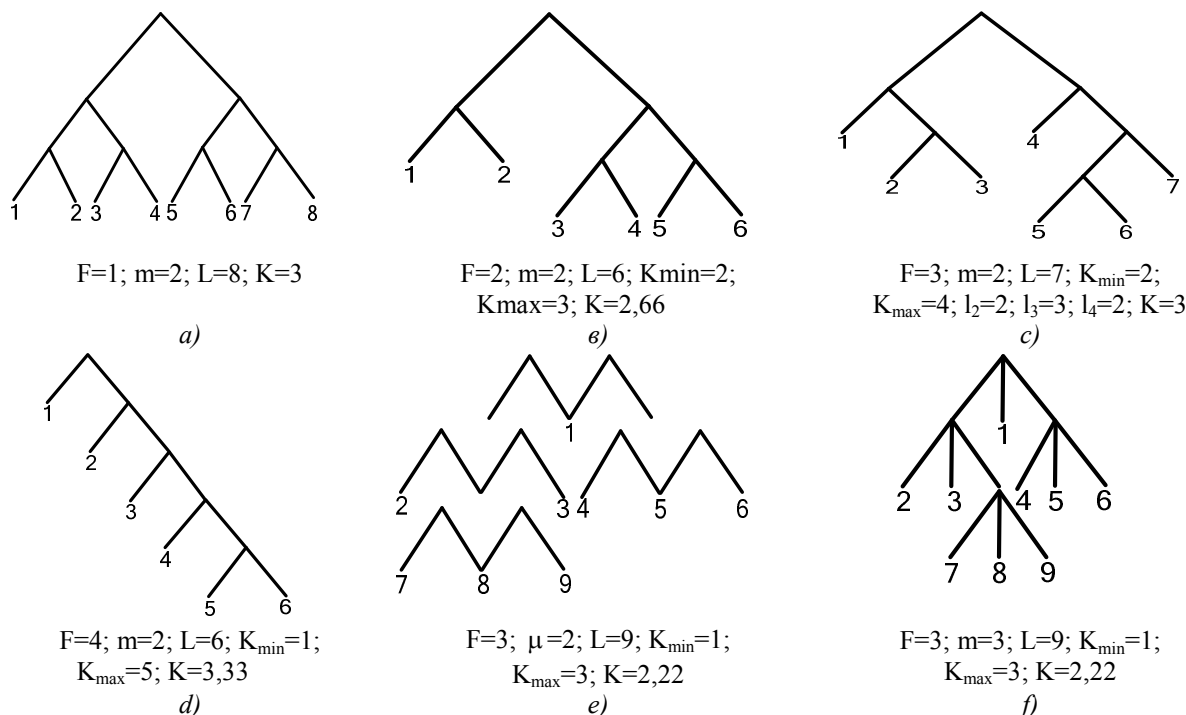


Рис. 1. Приклади видів і форми умовних алгоритмів

Таблиця 2. Функціональні залежності математичного сподівання відхилення технічного стану засобів спеціального зв'язку від його істинного значення

Форма алгоритму	Значення математичного сподівання відхилення діагнозу	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)	$\rho(m \geq 2) = \left[\frac{ml \left(m^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor (m-1) - 1 \right) + (L-l) \left(m^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil (m-1) - 1 \right) p}{2(m-1)m^{\lceil K \rceil}} \right] (1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1};$	(3)
	$\rho(\mu \geq 2) = \left[\frac{(\mu+1) \left((\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor \mu - 1 \right) + (L-l) \left((\mu+1)^{\lceil K \rceil} + \lceil K \rceil \mu - 1 \right) p}{2\mu(\mu+1)^{\lceil K \rceil}} \right] (1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1};$	(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)
	$\rho(\mu \geq 1) = \frac{0,5(1-p)}{p\mu} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i \left[(\mu+1)^i + i\mu - 1 \right]}{(\mu+1)^i} p^{i\mu};$	(6)
максимальна форма (F=4)	$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p \left(1 + p^{(L-1)/(m-1)} \right)}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1/m-1} \frac{i(m-1)-1}{m^i} p^i \right];$	(7)
	$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2p} \left[\frac{p \left(1 + p^{(L-1)/\mu} \right)}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1/\mu} \frac{\mu i - 1}{(\mu+1)^i} p^i \right].$	(8)

Дослідження функції $\rho(p)$ показує наявність максимуму (рис. 2), що визначається із рівності нулю першої похідної:

$$\frac{d\rho}{dp} = \frac{(\mu K + L - 1)p^{\mu K - 1}}{2\mu} \left[\frac{(\mu K - 1)(1 - p)}{p} - 1 \right] = 0.$$

Значення ρ зменшується зі збільшенням

кількості фахівців μ (рис. 3).

Значення ρ суттєво зменшується при сумісному груповому пошуку дефектів (рис. 3) і збільшеному модулю вибору m однорідних умовних алгоритмів (рис. 4).

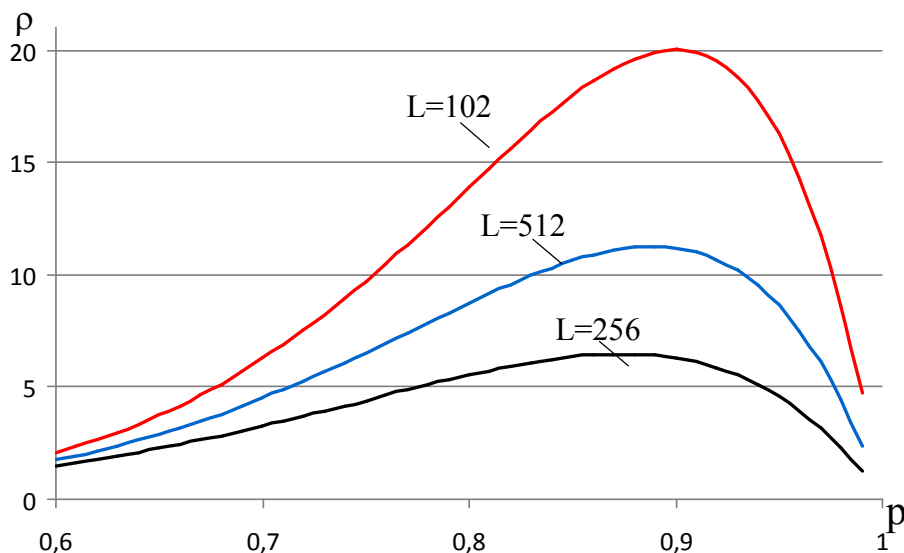


Рис. 2. Залежність математичного сподівання відхилення діагнозу від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки для $m = 2$, $\mu = 1$

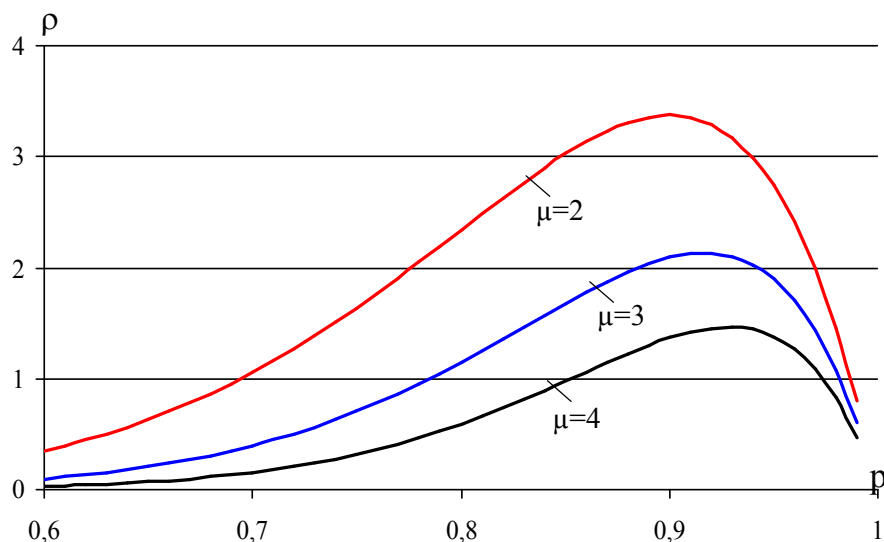


Рис. 3. Залежності $\rho(p)$ для $L = 256$ при $2 \leq \mu \leq 4$

Вочевидь, що при виконанні умови $T_g \leq T_{вп}$ існують дві ділянки, при яких $\rho \leq 0,5$.

Проаналізуємо умови існування максимального значення $\rho(p)$. Після введення позначення

$$A = 0,5 \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right),$$

що не залежить від p , отримуємо

$$\rho(m \geq 2) = A(1-p)p^{K-1}.$$

В такому разі

$$\frac{dp}{dp} = A(K-1)p^{K-2} - AKp^{K-1} = 0,$$

$$\max \rho(m \geq 2) = \frac{0,5}{K} \left(K + \frac{L-1}{m-1} \right) \left(\frac{K-1}{K} \right)^{K-1}.$$

тобто

$$K(1-p)-1=0,$$

Вочевидь, що умова $\max \rho \leq 0,5$ не виконується при $L \geq 4$ (рис. 5):

або умова появи максимального значення ρ приймає вигляд

$$p(\max \rho) = \frac{K-1}{K};$$

$$C = \left(1 + \frac{L-1}{K} \right) \left(\frac{K-1}{K} \right)^{K-1} \leq 1.$$

і після підстановки отримуємо

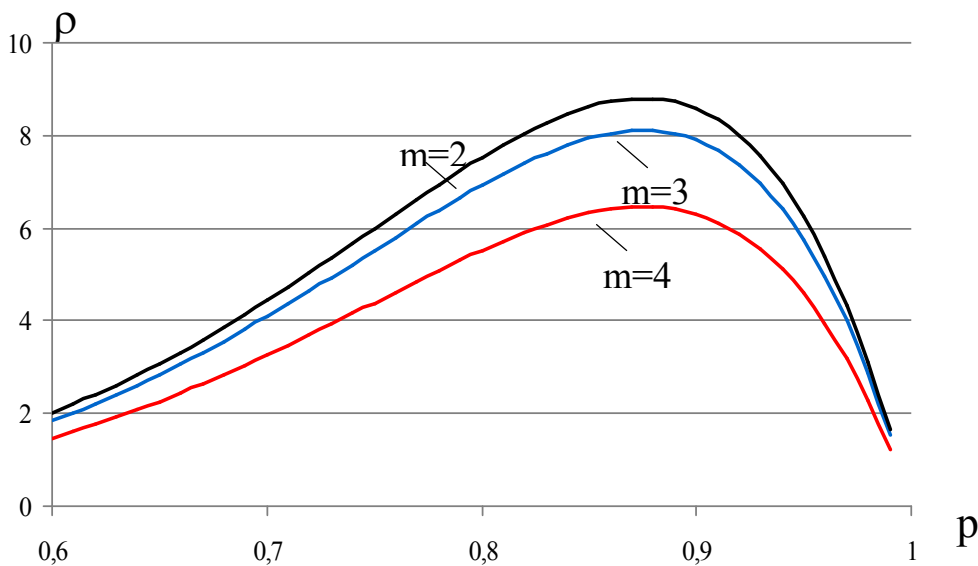


Рис. 4. Залежності $\rho(p)$ для $L = 256$ при $2 \leq m \leq 4$

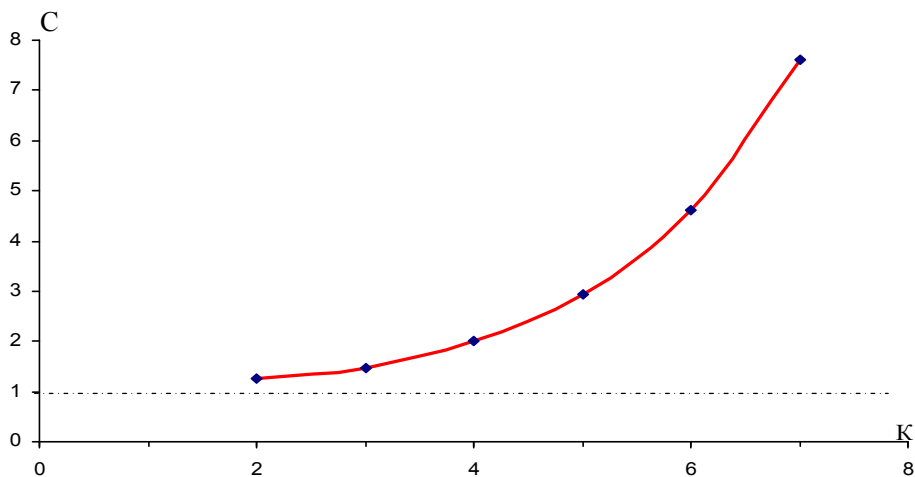


Рис. 5. Перевірка виконання умови $\max \rho \leq 0,5$ від глибини пошуку дефектів

Аналогічно для сумісного групового пошуку дефектів отримуємо:

$$B = \frac{\mu}{\mu+1} \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right);$$

$$\rho = B(1-p)p^{\mu K-1};$$

$$\frac{d\rho}{dp} = B(\mu K - 1)p^{\mu K-2} - B\mu K p^{\mu K-1} = 0;$$

$$p(\max \rho) = \frac{\mu K - 1}{\mu K};$$

$$\max \rho = \frac{1}{K(\mu+1)} \left(K + \frac{L-1}{\mu} \right) \left(\frac{\mu K - 1}{\mu K} \right)^{\mu K - 1}$$

З врахуванням метрологічної надійності ЗВТ

$$T_e = \frac{tK + t_y}{N \prod_{i=1}^N P_i(t)}$$

де N – кількість ЗВТ,

$P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ЗВТ в міжповірочний інтервал t ($0,95 \leq P_i(t) \leq 0,99$) [8, 9].

В такому разі значення ρ , отримані за табл. 1

і 2, також необхідно ділити на $\prod_{i=1}^N P_i(t)$.

Приведені результати дослідження дозволяють запропонувати алгоритм реалізації методу обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату виконання перевірки під час діагностування ЗСЗ в процесі їх ремонту (рис. 6, 7):

- введення вихідних даних

($L, m, \mu, N, F, p = 0,67, t, t_y, T_{en}$);

- розрахунок поправки врахування метрологічної надійності ЗВТ;

- розрахунок значення ρ і перевірка умови $\rho \leq 0,5$: якщо так – збільшення p на 0,001 і повтор операції до виконання умови $\rho = 0,5$, після чого розрахунок ρ і T_e , перевірка $T_e \leq T_{en}$, при виконанні вивід значень T_e, ρ, p (рис. 8, а);

- якщо при збільшенні p умови $\rho \leq 0,5$ або $T_e \leq T_{en}$ не виконуються, то перехід на іншу ділянку залежності $\rho(p)$ – розрахунок і перевірка умов при зменшенні значення p (рис. 8, б);

- якщо умови $\rho \leq 0,5$ або $T_e \leq T_{en}$ не виконуються – необхідна зміна вихідних даних і повтор алгоритму;

- при досягненні умов $\rho \leq 0,5$ і $T_e \leq T_{en}$ за відомими методиками [3, 4, 6] розрахунок класу точності, довжини шкали, ціни ділення аналогових ЗВТ, або кількість розрядів цифрових ЗВТ.

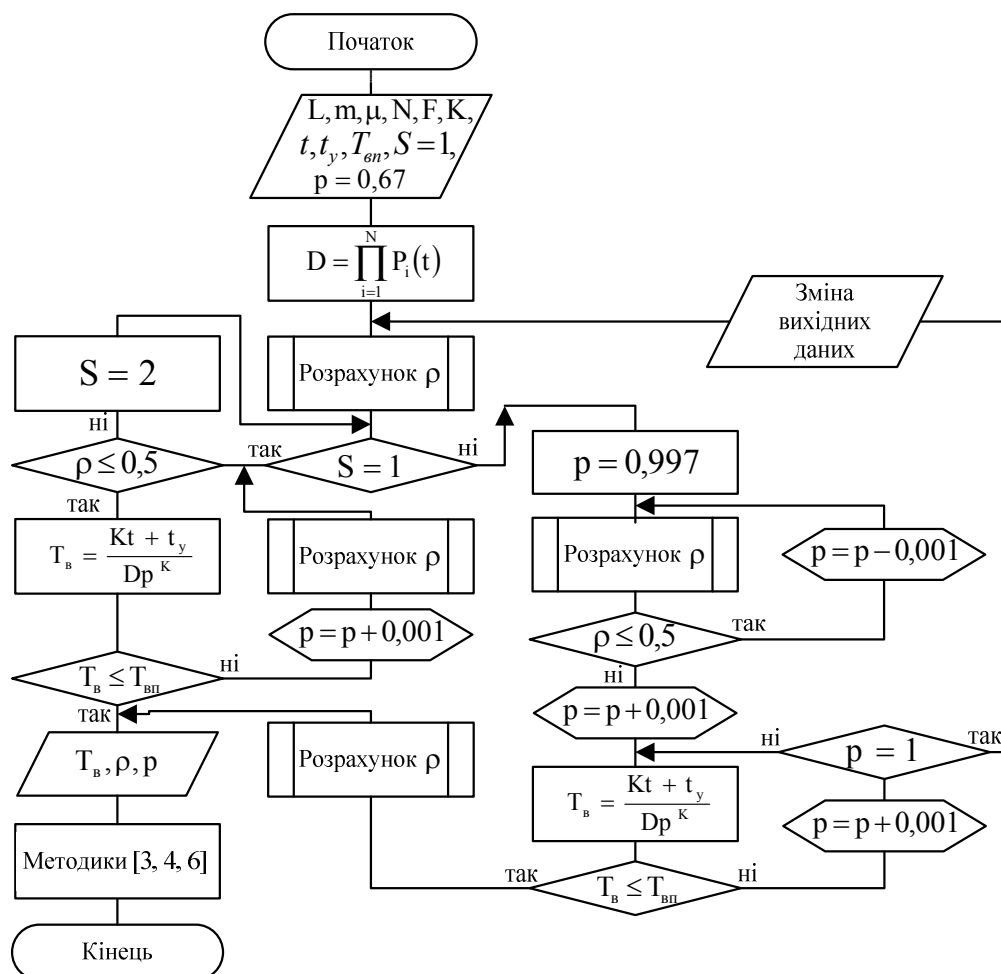


Рис. 6. Блок-схема алгоритму обґрунтування мінімально припустимих вимог до ЗВТ

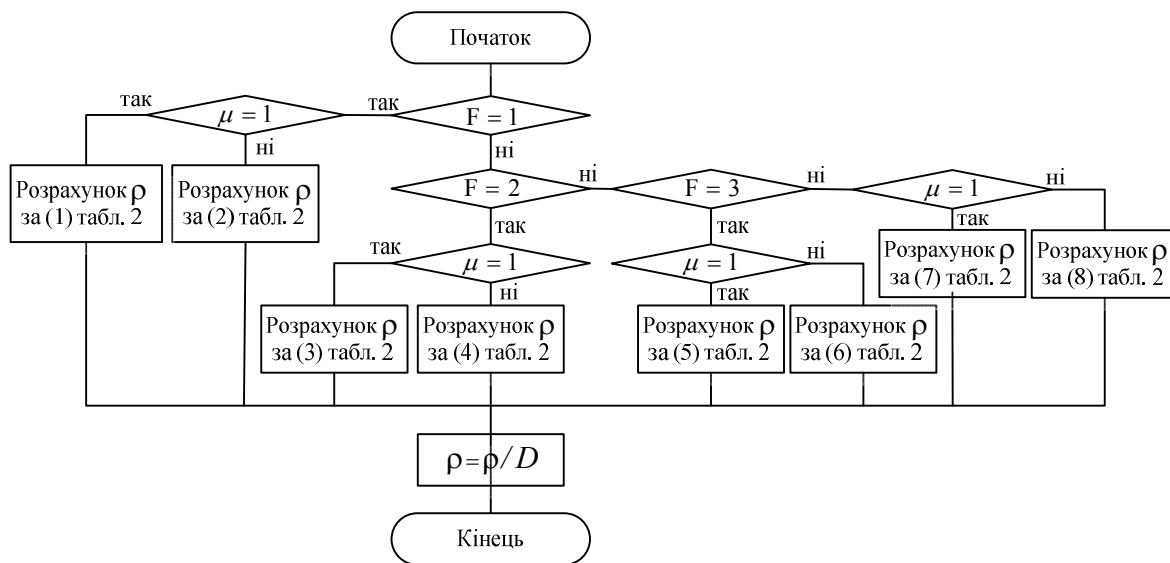


Рис. 7. Блок-схема алгоритму реалізації функції "Розрахунок середнього значення відхилення діагнозу при одній помилці фахівця в оцінці результату перевірки"

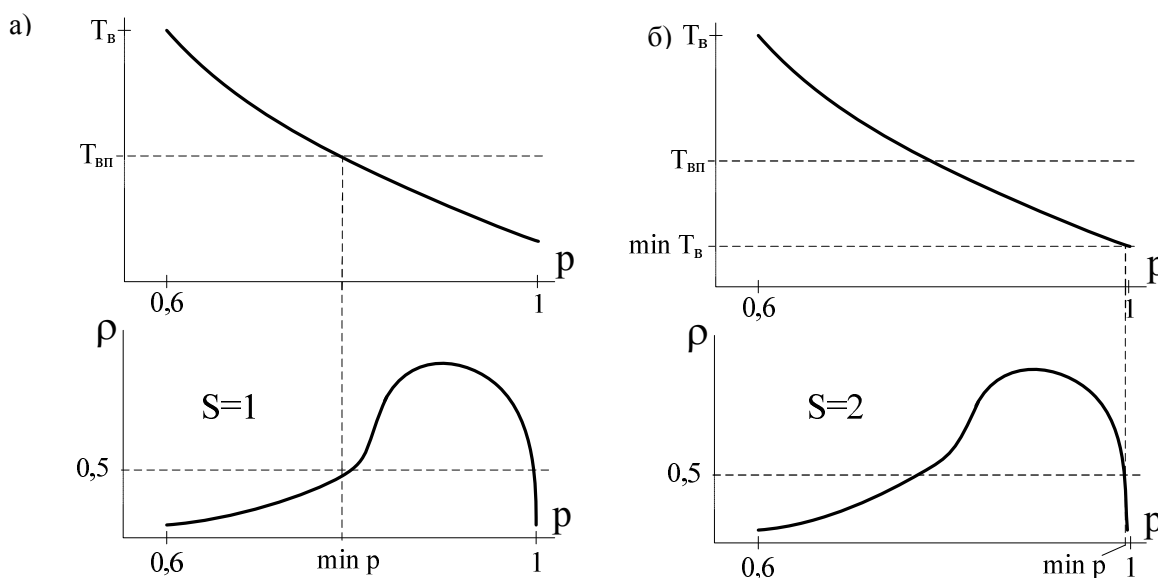


Рис. 8. Можливі варіанти рішення

Розглянемо використання методу, схема реалізації якого наведено на рис. 9, на прикладі вибору ЗВТ для діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача двома майстрами ($\mu = 2$), що складається з $L = 25$ елементів. Алгоритм сумісного групового пошуку дефектів приведено на рис. 10, де в найгіршому випадку при відмові включення високої напруги $L = 8$ і $K = 2$.

Згідно алгоритмів рис. 6 і 7, а також виразів з табл. 2 отримуємо при використанні в якості одного приладу ($N = 1$) вольтметра постійної напруги багато шкального тестера Ц-4315. Згідно табл. 1 обираємо $p = 0,851$, при цьому

$$T_{вп} = 30 \text{ хв.}; \quad P_i(t) = 0,97; \quad \rho = 0,5; \quad t = 3 \text{ хв.}; \\ t_y = 5 \text{ хв.};$$

$$\rho = \frac{2}{3} \left(2 + \frac{7}{2} \right) \frac{0,149 \cdot 0,851}{0,127 \cdot 0,97} = 0,5;$$

$$T_g = \frac{2 \cdot 3 + 5}{0,851^2 \cdot 0,97} = 15,7 \text{ хв.} < T_{вп}.$$

Для того ж об'єкту при $\mu = 1$ в [2] отримано $p = 0,955$; $T_g = 28 \text{ хв.}$; $\rho = 0,5$. Тобто, в порівнянні з прототипом середній час відновлення скорочено на $\delta T_g = 44 \%$, а вимоги до ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки знижено на $\delta p = 11 \%$.

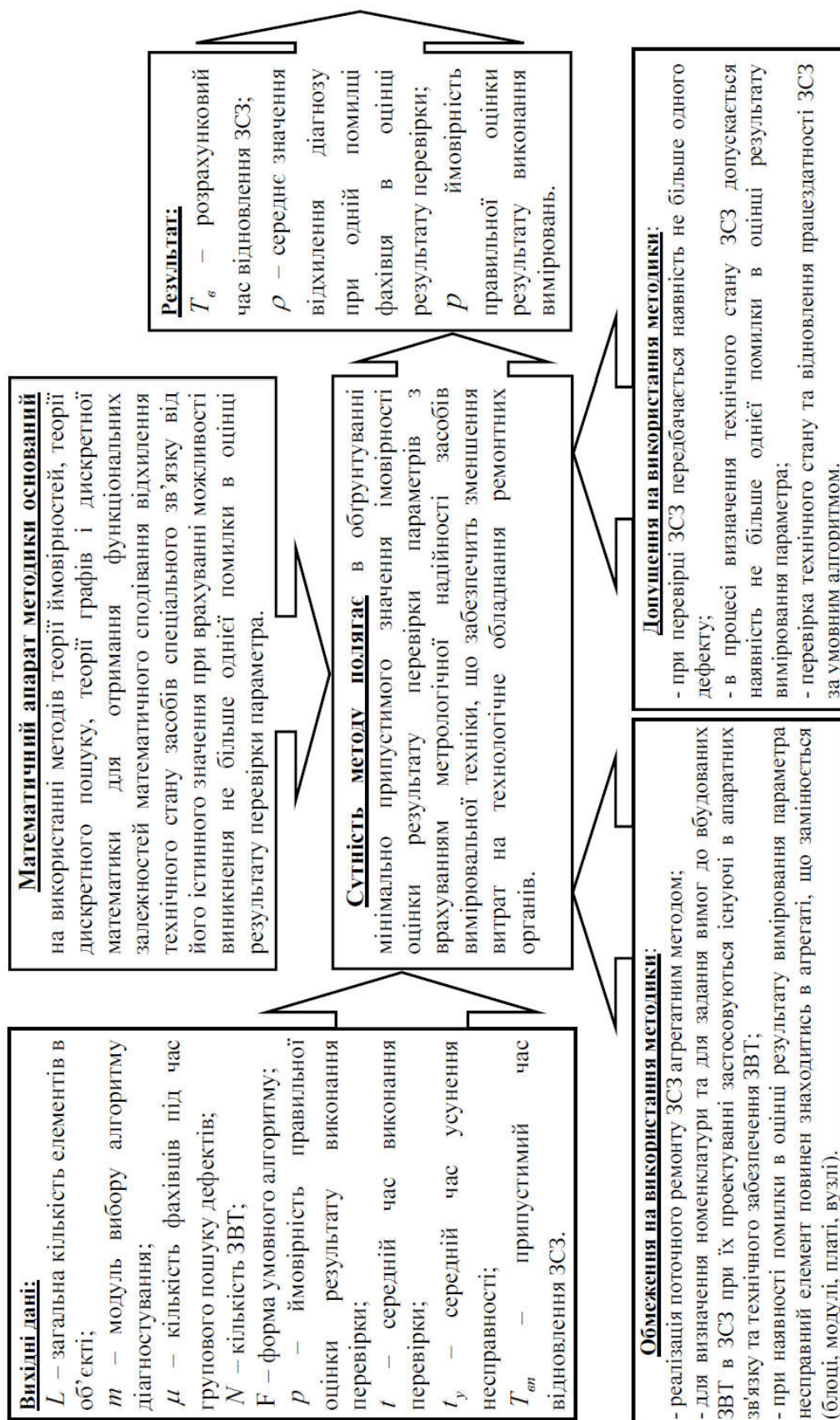


Рис. 9. Схема реалізації методу обґрунтування мінімально припустимого значення ймовірності оцінки результату перевірки параметрів

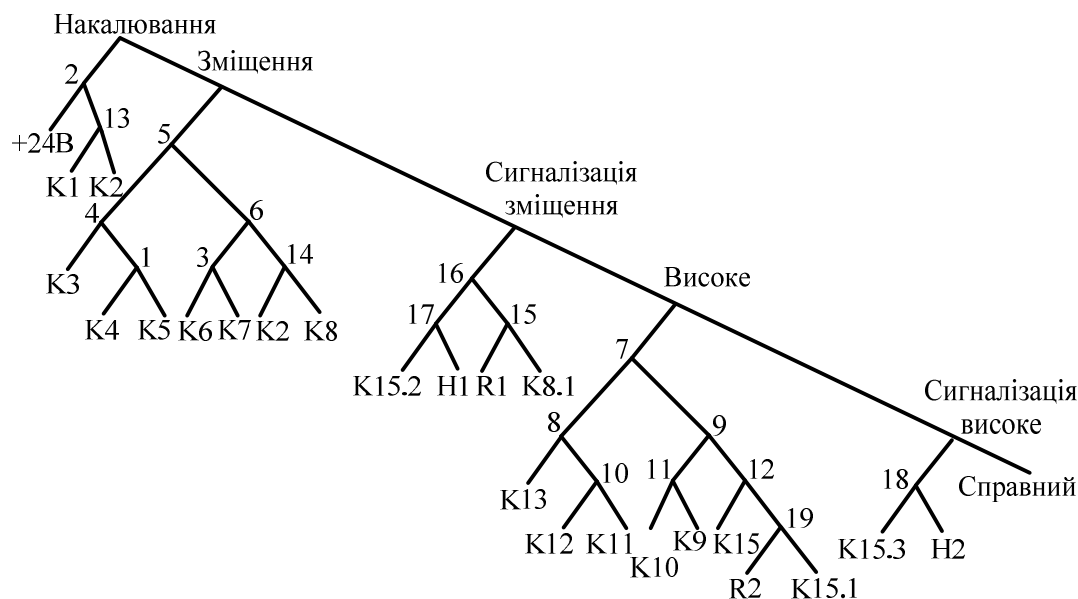


Рис. 10. Умовний алгоритм діагностування підсистеми управління функціонуванням радіопередавача

Висновки

1. Позитивний ефект досягається внаслідок того, що спочатку перевіряється ділянка функціональної залежності відхилення діагнозу при збільшенні ймовірності, чого немає в відомих роботах. А потім, якщо рішення відсутнє, при її зменшенні починаючи з одиниці, як в відомих роботах, але з врахуванням метрологічної надійності ЗВТ.

2. Метод доцільно використовувати під час розробки чи удосконалення метрологічного забезпечення ремонту ЗСЗ в стаціонарних пунктах технічного обслуговування та ремонту або в апаратних технічного забезпечення.

Література

1. Л. М. Сакович, Є. В. Рижов, О. В. Ходич // Військово-технічний збірник Національної академії сухопутних військ. – 2017. – № 16. – С. 60-64.
2. Рижов Є. В. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М. Ю. Яковлев, Є. В. Рижов // Військово-технічний збірник Академії СВ. – 2014. – № 1 (10). – С. 119-127.
3. Сакович Л. Н. Определение метрологических характеристик средств измерений для обслуживания и ремонта средств связи / Л. Н. Сакович, В. Н. Дзюба, В. П. Павлов // Зв'язок. – 2003. – №5. – С. 17-19.
4. Сакович Л. М. Методика предварительной дефектации аппаратных связи с множественными повреждениями в полевых условиях / Л. М. Сакович, Е. В. Рыжов // Вісник

Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ. – 2017. – Вип. 53(1). – С. 32-38.

doi:

[http://dx.doi.org/10.20535/1970.53\(1\).2017.106580](http://dx.doi.org/10.20535/1970.53(1).2017.106580).

5. Рижов Є. В. Аналіз методик метрологічної експертизи складних технічних систем / Є. В. Рижов, М. Ю. Яковлев, О. В. Ходич, П. Л. Аркушенко // Український метрологічний журнал. – 2015. – № 2. – С. 12-16.
6. M. Asprou. "The effect of instrument transformer accuracy class on the WLS state estimator accuracy", M. Asprou, E. Kyriakides, M. Albu, in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting (PES), 25 November 2013, – pp. 1–5. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/PESMG.2013.6672666>.
7. H. Czichos. "Handbook of Technical Diagnostics: Fundamentals and Application to Structures and Systems". Springer, 566 p., 2013. doi: 10.1007/978-3-642-25850-3; <http://www.springer.com/gb/book/9783642258497>.
8. Ким К. К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: учебное пособие / К. К. Ким. – СПб.: Питер, 2008. – 368 с.
9. Яковлев М. Ю. Развитие теории метрологической надёжности средств измерительной техники военного назначения: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення / М. Ю. Яковлев – Львів, 2011. – 39 с.
10. Сакович Л. М. Вимоги до метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку в апаратних технічного забезпечення /

Л. М. Сакович, Є. В. Рижев, П. Л. Аркушенко,
О. В. Ходич // Наука і техніка Повітряних Сил

Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). –
С. 150-152.

УДК 623.61+621.396.6

¹⁾**Е. В. Рыжев,** ²⁾**Л. Н. Сакович**

¹⁾*Национальная академия сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного, г. Львов, Украина;*

²⁾*Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» Государственной службы специальной связи и защиты информации Украины, г. Киев, Украина*

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТА ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ

В статье предложен метод обоснования минимально допустимого значения вероятности оценки результата проверки параметров с учетом метрологической надежности средств измерительной техники, что позволяет уменьшить затраты на технологическое оборудование ремонтных органов. Метрологическая надежность характеризуется интенсивностью отказов, вероятностью безотказной работы и наработкой на отказ. Указанная задача в известных работах решается с помощью убывания комплексного коэффициента параметров, учитывающего количество элементов средств специальной связи, которые влияют на его формирование, важность параметра для организации связи, времени и стоимости измерения. Это справедливо для стационарных условий, но в полевых условиях необходимо учитывать метрологическую надежность средств измерительной техники, что зависит от температуры, влажности, вибрационных нагрузок и других факторов.

Ключевые слова: средства специальной связи, метрологическое обслуживание, средства измерительной техники.

¹⁾**Y. V. Ryzhov,** ²⁾**L. N. Sakovych**

¹⁾*National Army Academy named after Hetman Sahaidachny, Lviv, Ukraine;*

²⁾*State institution «Institute of special communication and information security of National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», Kyiv, Ukraine*

METHOD SUBSTANTIATION OF MINIMALLY POSSIBLE VALUE OF PROBABILITY ASSESSMENT OF ESTIMATION RESULT OF PARAMETERS

Indicators of quality of measuring equipment significantly affect the average time of diagnosis and restoration of special communication means. Therefore, the substantiation of the minimum permissible requirements for measuring instruments in providing the necessary time for the restoration of special communication means is a rather urgent task, since it reduces the cost of technological equipment repair bodies.

It has been established that the functional dependence of the deviation of the diagnosis with the error of the repairman on the metrological characteristics of the measuring equipment has a maximum.

Metrological reliability is characterized by the intensity of failures, the probability of failure-free operation and failure to work. In the course of operation, the metrological characteristics and parameters of the measuring equipment are subject to change. These changes are random monotonic and lead to failures, that is, the impossibility of measuring instruments to perform their functions. This task in known works is solved by the elimination of the complex factor of parameters, which takes into account the number of elements of special communication means that influence its formation, the importance of the parameter for the organization of communication, time and cost of measurement. This is true for stationary conditions, but in field conditions it is necessary to take into account the metrological reliability of measuring equipment, which depends on temperature, humidity, vibration loads and other factors.

The positive effect is achieved due to the fact that the area of functional dependence of the diagnostic defect is initially checked with increasing probability, which is not known in the works. And then, if the decision is absent, at its reduction starting from the unit, as in the known works, but taking into account the metrological reliability of the measuring equipment.

The method is advisable to use during the development or improvement of metrological maintenance of repair of special communication means at fixed points of maintenance and repair or hardware technical support.

Key words: special communication means, metrological service, measuring instruments.

*Надійшла до редакції
05 листопада 2017 року*

УДК 681.586.325

ІНФОРМАТИВНІСТЬ ЯК МЕТРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ МІКРОАКСЕЛЕРОМЕТРІВ

Дубінець В. І.

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна**E-mail: vidubinets@ukr.net*

У статті представлені результати моделювання чутливих елементів осьових мікроакселерометрів. Проведені дослідження і встановлені закономірності впливу на чутливість геометричних параметрів пружного підвісу і маси чутливого елемента.

За допомогою аналітичних співвідношень і кінцево-елементного методу розраховані основні параметри пружного підвісу МЕМС-акселерометра.

Ключові слова: МЕМС-акселерометр, чутливий елемент, метод кінцевих елементів, чутливість, власна частота, демпфуючі властивості.

Вступ

Провідні світові фірми-розробники такі як Analog Devices, Freescale Semiconductors, STMicroelectronics, VTI Technologies, Silicon Sensing Systems Ltd і ін. виробляють МЕМС-акселерометри, гіроскопи в промислових обсягах. Незважаючи на те, що обсяги поставок МЕМС-датчиків досягають сотні мільйонів штук потреба в них постійно зростає. Тенденція до мікромініатюризації і зниження вартості систем привела до того, що датчики мають конструкцію, що поєднує чутливий елемент і кристал з електронікою в одному малогабаритному корпусі. Такі МЕМС-датчики знаходять широке застосування, починаючи з управляючих систем автомобіля, систем стабілізації платформ в авіації, в персональних / бортових системах навігації для піхоти і машин, високоточних боеприпасів і закінчуючи електронними іграшками [1, 3, 6, 8, 11, 13, 14, 17, 20]. Основним вузлом МЕМС-акселерометра, що визначає точність приладу, є його чутливий елемент. Не дивлячись на значну кількість теоретичних моделей і методів розрахунку чутливого елемента, як і раніше залишається невирішеною проблема однозначного вибору схеми його підвісу. Наразі реальна точність відомих розробок не перевершила рубіж $1\div 2\%$ від вимірюваного діапазону [2 – 4, 9, 10, 12, 15 – 18].

Постановка задачі

Актуальним є завдання визначення параметрів чутливого елемента мікромеханічного акселерометра на етапі його проектування. При

цьому необхідно враховувати ряд основних факторів:

- співвідношення між чутливістю и частотою власних коливань;
- міцність та метрологічну надійність.

Чутливі елементи осьових мікроакселерометрів

Чутливий елемент (ЧЕ) є первинним вимірювальним перетворювачем, який безпосередньо сприймає прискорення, і перетворює його у вихідний сигнал. ЧЕ складається з основи у вигляді рамки, усередині якої знаходиться маса (М). М кріпиться до рамки за допомогою підвіски, що складається з пружних балок.

Базові принципові схеми ЧЕ осьових МЕМС-акселерометрів приведені на рис.1 і характеризуються низькою чутливістю до поперечних дій, високою жорсткістю і основною власною частотою [2 – 4, 9, 12, 15, 18].

Для обґрунтованого знаходження співвідношень між чутливістю і основною власною частотою ЧЕ використовують метрологічну характеристику – інформативність, яку визначають за формулою [8]:

$$B = S f_1^2.$$

Моделювання та аналіз на міцність ЧЕ

До ЧЕ пред'являють підвищені вимоги по міцності та метрологічній надійності. Під метрологічною надійністю розуміють здатність зберігати достовірність вимірювань в межах