

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

М.М. Микийчук

*Національний університет "Львівська політехніка", вул. С. Бандери 12, м. Львів, 79013,
тел. (032)-258-23-94, e-mail: mykolamm@ukr.net*

Розроблено алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки, що дозволяє оперативно коригувати міжкалібрувальні інтервали.

Ключові слова: метрологічна надійність, коригування, міжкалібрувальний інтервал, коефіцієнт метрологічного запасу.

Разработан алгоритм оценивания индивидуальной метрологической надежности средств измерительной техники, что позволяет оперативно корректировать межкалибровочные интервалы.

Ключевые слова: метрологическая надежность, коррекция, межкалибровочный интервал, коэффициент метрологического запаса.

The algorithm of evaluation of individual metrology reliability of facilities of measuring technique is developed, that allows operatively to correct intergauge intervals.

Keywords: metrology reliability, correction, intergauge interval, coefficient of metrology supply.

Актуальність

Одним з основних факторів, що визначає якість засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) промислового застосування, є наявність ефективних методів оцінювання їх метрологічної надійності [1]. В останні роки, все більше стала помітною неефективність існуючих традиційних методів контролю похибок промислових ЗВТ. Такий стан пояснюється специфікою застосування промислових ЗВТ, яка полягає в тому, що вони експлуатуються в умовах відмінних від умов їх метрологічної перевірки, внаслідок чого виникають ряд додаткових похибок. Додаткові похибки від зміни умов експлуатації ЗВТ, по відношенню до умов метрологічної перевірки, важко оцінювати, оскільки ці похибки нормуються для типу ЗВТ і не враховують їх індивідуальну стабільність.

Оцінка сумарної інструментальної похибки, в конкретних умовах застосування, визначається як сума основної та додаткових похибок, проноrmованих для типу ЗВТ, без врахування метрологічного запасу та напряму дрейфу похибки, який має конкретний ЗВТ [2, 3]. Тому часто метрологічно справний ЗВТ вилучають із технологічного процесу для здійснення його метрологічної перевірки, або метрологічно несправний ЗВТ продовжують експлуатувати, що і в першому, і другому випадку спричиняє неоправдані витрати [4-6].

Тому питання правильного оцінювання метрологічної надійності ЗВТ є важливою умовою забезпечення якості сучасних технологічних процесів.

Стан проблеми

Оснoву загальноприйнятого підходу гарантування метрологічної надійності ЗВТ складає призначення одного міжкалібрувального інтервалу для всіх ЗВТ одного типу шляхом рішення задачі оптимізації міжкалібрувального інтервалу за критерієм мінімізації сукупних витрат [6]:

- на перевірку і вимушений простій ЗВТ (спонукаючи до збільшення міжкалібрувального інтервалу);

- від невірогідних результатів вимірювань (спонукаючи до зменшення міжкалібрувального інтервалу).

На жаль, початкових даних для коректного і однозначного вирішення цього завдання зазвичай недостатньо. Так, відповідно до РМГ 74 рекомендується використовувати залежність середніх економічних втрат від похибок ЗВТ. Але де узяти таку залежність для більшості типів ЗВТ, за умови, що різні екземпляри ЗВТ одного і того ж типу можуть використовуватися для різних цілей, а тому наслідки від невірогідних результатів вимірювань, виконаних за допомогою таких ЗВТ, можуть відрізнятись в тисячі разів [6].

Стан метрологічної надійності ЗВТ визначається стабільністю його функції перетворення. Традиційні методи оцінювання метрологічної надійності ЗВТ базуються на визначенні ймовірності виходу похибки за допустимі межі, які встановлюються при нормуванні класу точності для типу ЗВТ [2], причому, оптимізація процесу нормування класів точності повинна базуватися на відповідному техніко-економічному обґрунтуванні, що в умовах ринкової економіки реалізувати важко. Основний недолік існуючих підходів до оцінювання метрологічної надійності промислових ЗВТ полягає у відсутності нормативного та методичного забезпечення для об'єктивного встановлення та нормування показників метрологічної надійності для конкретного ЗВТ. Це зокрема виражається у застосуванні узагальнених показників метрологічної надійності шляхом встановлення однакових інтервалів між метрологічними перевірками для ЗВТ, які мають різну метрологічну надійність, наприклад через відмінність умов експлуатації.

Також зберігається практика застосування класичної теорії надійності для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, хоча науково доведено [7-9] її неадекватність. Зокрема, єдиним справедливим висновком класичної теорії надійності для метрологічних відмов є припущення про її випадковий характер [4]. Застосування як моделі дрейфу похибки ЗВТ процесу з одновимірним нормальним законом розподілу призводить до методично неправильних результатів [4], коли ймовірність метрологічної відмови може мати від'ємне значення.

Напрошується висновок, що в умовах відсутності науково обґрунтованого методичного забезпечення оцінювання метрологічної надійності важливо здійснювати контроль метрологічної справності ЗВТ в період між плановими калібруваннями. Тому розроблення методів контролю похибки в реальних умовах експлуатації та оцінювання показників метрологічної надійності конкретних промислових ЗВТ є гострою потребою підвищення якості вимірювальних процесів у сучасних виробництвах.

Постановка задачі

Для підвищення об'єктивності встановлення міжкالیбрувальних інтервалів необхідно розробити алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ.

Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності засобів вимірювань промислового застосування

Згідно існуючої метрологічної практики при нормуванні метрологічної надійності ЗВТ використовують такі показники [10, 11]:

- $P_{MC}(t)$ – ймовірність метрологічної справності ЗВТ, рівна ймовірності того, що в заданий момент часу t ЗВТ виявиться метрологічно справним;
- $K_{MC}(t)$ – коефіцієнт метрологічної справності, рівний середній долі міжкالیбрувального інтервалу, на протязі якого ЗВТ знаходиться в метрологічно справному стані;
- $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи, рівна ймовірності того, що на протязі заданого часу експлуатації метрологічна відмова не виникне.

Такий підхід до встановлення показників метрологічної надійності є наслідком нормування метрологічної надійності для типу ЗВТ, коли за результатами досліджень великої кількості однотипних ЗВТ визначаються усереднені показники метрологічної надійності, що не сприяє об'єктивному нормуванню індивідуальних показників метрологічної надійності. Для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ необхідно вибирати характеристики, які можуть відображати значення та дрейфові властивості реальної похибки ЗВТ.

При аналізі похибок під час експлуатації ЗВТ, зміну похибки представляють у вигляді стаціонарного випадкового процесу $\Delta(t)$ з сталим законом розподілу. При цьому задача аналізу зводиться до пошуку виду цього закону розподілу [1, 2, 4]. За таких умов метрологічно

справний стан ЗВТ зберігається до того моменту, доки миттєве значення випадкового процесу зміни похибки знаходиться в межах допустимого інтервалу зміни похибки $[-\Delta_{don}, +\Delta_{don}]$, а вихід випадкового процесу $\Delta(t)$ за ці межі класифікується як метрологічна відмова.

Неоптимальність такої моделі пояснюється тим, що ймовірність виходу випадкового процесу за межі $\pm\Delta_{don}$ однакова, як в початковий момент його експлуатації, так і через певний відрізок часу. Тобто, для даної моделі зміни похибки, час між метрологічними відмовами є сталий, що і покладено в основу рівномірних міжповірювальних інтервалів.

Як показують дослідження [2, 4] на протязі періоду експлуатації ЗВТ є три основні етапи зміни його метрологічної стабільності. На протязі першого етапу спостерігатися значне зростання ймовірності виходу похибки за встановлені межі, що зумовлено стабілізацією характеристик елементів. Другий етап характеризується високою стабільністю і відповідно низькою ймовірністю метрологічної відмови, як правило цей період триває від 3-го до 7-го року експлуатації [1, 2]. Третій етап характеризується значним зростанням похибки, часто у кілька разів, що є наслідком деградаційних процесів у елементах ЗВТ [1, 4].

Одним із основних недоліків традиційного нормування класу точності у вигляді симетричних, відносно нуля, допустимих меж зміни похибки полягає в тому, що такий стан не відповідає існуючій практиці експлуатації ЗВТ. На початку експлуатації кожен конкретний ЗВТ володіє індивідуальними значенням похибки та напрямком її часового дрейфу. Як показали дослідження, проведені в [2], для 75 % ЗВТ дрейф похибки відбувається до ближньої допустимої межі. Тому час до метрологічної відмови визначається метрологічним запасом (відстань реальної похибки від допустимої межі) та швидкістю дрейфу похибки.

На сьогоднішній день відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ, які володіють властивістю універсальності стосовно більшості ЗВТ [2, 4], тому основним шляхом забезпечення метрологічної справності ЗВТ на протязі міжкалібрувального інтервалу є встановлення значення реальної похибки на рівні 0,4...0,8 від допустимого значення. За такої практики метрологічна надійність конкретного ЗВТ визначається значенням метрологічного запасу похибки та стабільністю цього ЗВТ в кожен момент його експлуатації.

Враховуючи цю обставину, для підвищення об'єктивності нормування індивідуальної метрологічної надійності, доцільно нормувати похибку ЗВТ промислового застосування у вигляді систематичної похибки - $\Delta_{don} = \Theta(0)$. Це дозволить представити метрологічний запас ЗВТ в окремій точці діапазону вимірювання відносним показником – коефіцієнтом метрологічного запасу – K_m :

$$K_m = \frac{\Delta_{don} - \Delta}{\Delta_{don}}, \quad (1)$$

де Δ – значення похибки ЗВТ; Δ_{don} – допустиме значення похибки ЗВТ.

Перспективність застосування коефіцієнта метрологічного запасу – K_m , для оцінювання метрологічної надійності ЗВТ, розглянуто в [12]. Для створення умов оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів конкретних ЗВТ необхідно враховувати показники їх метрологічної стабільності. Наведені в [2] результати досліджень часових змін похибок для окремих ЗВТ показали, що для отримання вірогідних оцінок необхідно дані за 3-6 років. Очевидно, що традиційний підхід до оцінювання метрологічної надійності стає ефективним в кінці експлуатації ЗВТ.

Дослідження [3] показують, що для підвищення оперативності проведення робіт із коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий показник як частота метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ - ω . Оскільки в багатьох технологічних процесах експлуатуються групи однотипних ЗВТ, то за результатами оперативного контролю їх похибки, можна на протязі одного року визначити середню частоту метрологічних відмов для груп однотипних ЗВТ.

Аналіз результатів експериментальних досліджень характеру метрологічних відмов [2] дозволив визначити та узагальнити межі зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення

для різних видів ЗВТ. Результати аналізу зміни частоти метрологічних відмов та її прискорення для різних видів ЗВТ наведені у Таблиці 1.

Таблиця 1

Частота та прискорення метрологічних відмов для різних видів ЗВТ

Вид ЗВТ	Аналогові	Електронні	Цифрові
Частота метрологічних відмов, ω , 1/рік	0,18...0,23	0,38...0,45	0,27...0,39
Прискорення частоти метрологічних відмов, a_ω , 1/рік	0,03...0,07	0,06...0,11	0,05...0,12

Оскільки дані наведені в [2] отримані в умовах калібрувальних лабораторій, то можна очікувати, для реальних умов застосування частота метрологічних відмов є значно вищою внаслідок негативного впливу реальних умов експлуатації ЗВТ.

Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей.

Період до метрологічної відмови, в залежності від значення K_M та частоти метрологічних відмов ω_M можна представити виразом:

$$T = \frac{K_M}{\omega_M} \quad (2)$$

де ω_M - частота метрологічних відмов.

Як видно з (2) для забезпечення умови розширення міжкالیбрувальних інтервалів необхідно збільшувати коефіцієнт метрологічного запасу та зменшувати частоту метрологічних відмов. Ці задачі є взаємно пов'язані і мають вирішуватися шляхом підвищення рівня організаційної та технічної складової метрологічного забезпечення виробництва.

На рис. 1 представлено результати моделювання залежності часу до метрологічної відмови T в одиницях міжкالیбрувальних інтервалів від зміни мінімальної частоти метрологічних відмов ω_M для різних значень коефіцієнту метрологічного запасу K_M .

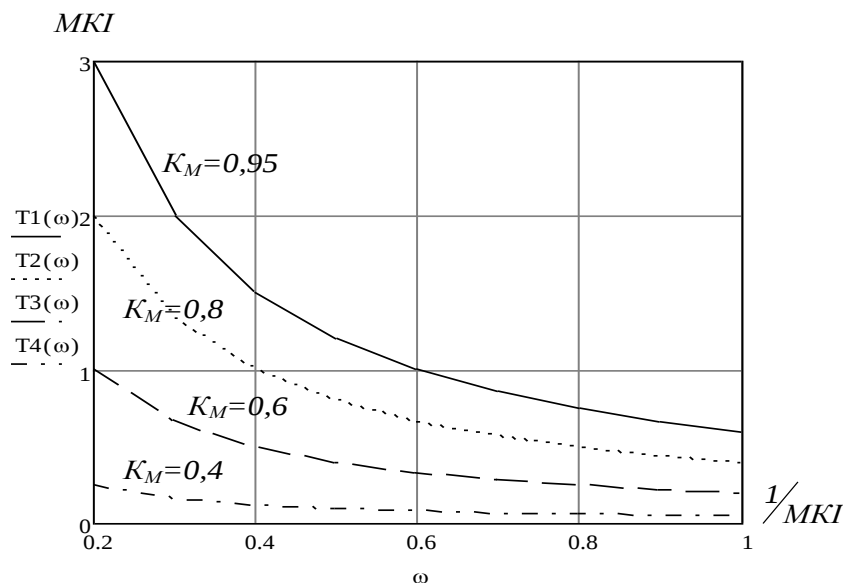


Рис. 1. Час до відмови T від зміни частоти метрологічних відмов ω_M для значень $K_M=0,4; 0,6; 0,8; 0,95$.

Як видно із Рис. 1 недоцільно забезпечувати мінімальну частоту метрологічних відмов $\omega_M \leq 0,2$, оскільки існує значна ймовірність втрати метрологічної справності ЗВТ до закінчення міжкالیбрувального інтервалу.

За умови широкого впровадження методів оперативного контролю похибки ЗВТ перспективним шляхом підвищення надійності результатів вимірювань на етапі виготовлення продукції є впровадження методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів. Суть такого методу полягає в тому, що за результатами оперативного контролю похибок ЗВТ визначають їх реальні систематичні похибки - Θ_i та оцінюють індивідуальний коефіцієнт метрологічного запасу - K_{Mi} . За результатами експлуатації в даному технологічному процесі однотипних ЗВТ оцінюють частоту метрологічних відмов ω_M цих ЗВТ. Доцільність такого підходу до оцінювання частоти метрологічних відмов підтверджується доведеною в [2] систематичністю впливу умов експлуатації ЗВТ на їх похибку.

Для реалізації методу оперативного коригування міжкалібрувальних інтервалів доцільно використовувати такий алгоритм коригування міжкалібрувальних інтервалів.

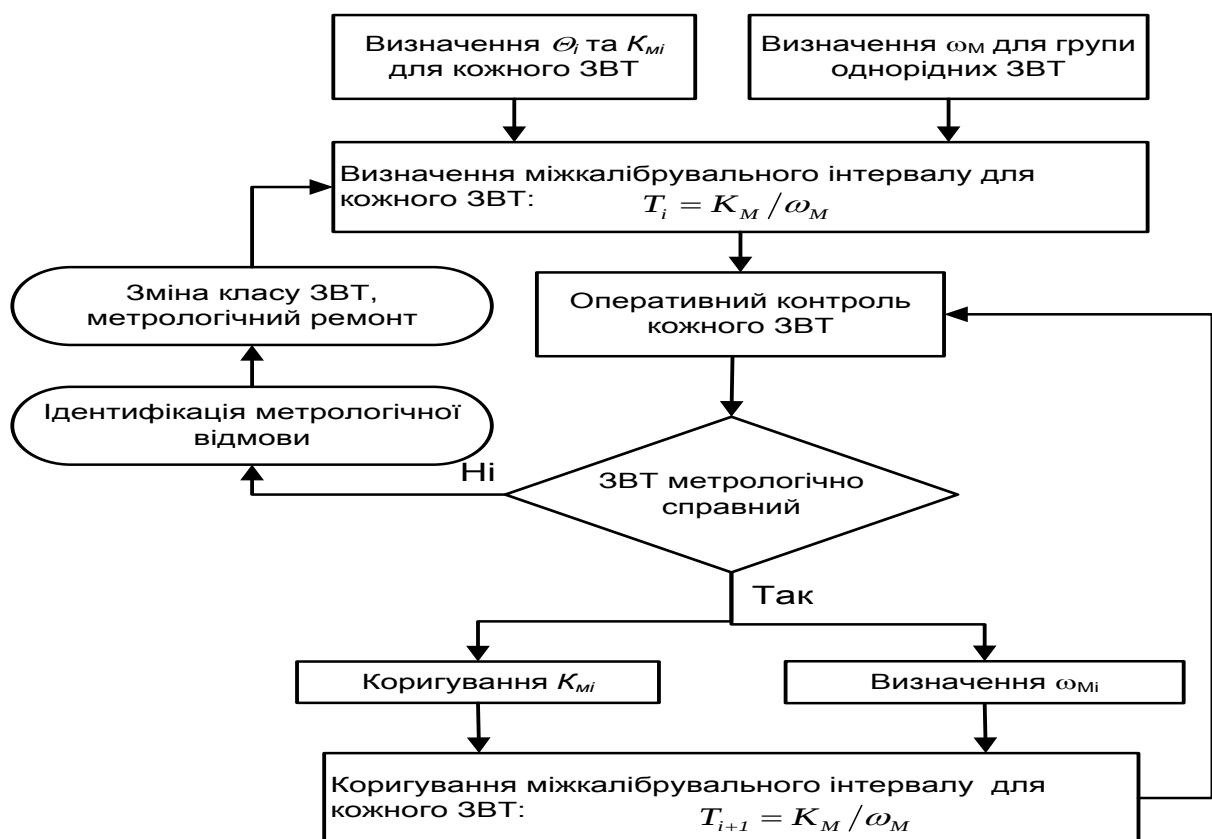


Рис. 2. Алгоритм оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ

Застосування запропонованого алгоритму для оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ має таку позитивну особливість, що дозволяє оцінювати метрологічну надійність конкретного ЗВТ без проведення багаторічних метрологічних досліджень, особливо, якщо прийняти до уваги твердження висунуті у відомих наукових дослідженнях [2, 4].

Для підвищення ефективності робіт із оперативного моніторингу метрологічної надійності ЗВТ на різних етапах їх експлуатації доцільно здійснювати їх групування за рівнем їх метрологічної стабільності. Аналіз результатів експериментальних досліджень довготривалої стабільності ЗВТ показав, що для однотипних ЗВТ розкид часової стабільності може змінюватися в широких межах - $(0,05...0,5) \Delta_{\text{дон}}$ [2]. Тому доцільно здійснювати ранжування ЗВТ промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої стабільності, середньої стабільності та низької стабільності. Можна запропонувати такі умови поділу ЗВТ на категорії за стабільністю: високої стабільності - $\Delta_{\text{н}} = (0...0,1) \cdot \Theta$, середньої стабільності - $\Delta_{\text{н}} = (0,1...0,3) \cdot \Theta$, низької стабільності - $\Delta_{\text{н}} = (0,3...0,7) \cdot \Theta$.

Застосування запропонованого алгоритму оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ дозволить підвищити оперативність та об'єктивність виявлення метрологічних відмов, а також мінімізувати втрати виробництва від прихованих метрологічних відмов.

Висновки

Оскільки важливим елементом забезпечення якості вимірювань в промисловості є забезпечення метрологічної надійності ЗВТ, то необхідно впроваджувати в метрологічну практику методи оцінювання індивідуальної метрологічної надійності ЗВТ. Впровадження методів оперативного контролю похибок ЗВТ в умовах їх експлуатації відкриває широкі можливості використання методів прогнозування метрологічної надійності конкретних ЗВТ з використанням простих лінійних моделей. На сьогоднішній день відсутні науково доведені моделі дрейфу похибки ЗВТ, які володіють властивістю універсальності, тому основним шляхом забезпечення метрологічної справності ЗВТ під час їх експлуатації є впровадження алгоритмів оцінювання їх метрологічної надійності. Розроблено алгоритм оцінювання метрологічної надійності ЗВТ на основі коефіцієнта метрологічного запасу та середньої частоти метрологічних відмов однотипних ЗВТ, що створює додаткові можливості оперативного виявлення метрологічних відмов та забезпечує підвищення обґрунтованості встановлення міжкалибрувальних інтервалів.

Показано доцільність ранжування засобів вимірювань промислового застосування за стабільністю на три категорії: високої, середньої та низької стабільності, що створює додаткові можливості підвищення ефективності вимірювань на етапі виготовлення продукції.

1. Екимов А.В. Надёжность средств электроизмерительной техники / А.В. Екимов, М.И. Ревяков // Л., Энергоатомиздат. – 1986. – 320 с.
2. Новицкий П.В. Динамика погрешностей средств измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец // 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. – 1990. – С.192.
3. Микийчук М.М. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення / М.М.Микийчук // Дис. докт. техн. наук. – Львів., 2012 – С.292.
4. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики/ А.Э. Фридман // Дис. докт. техн. наук. – М., 1994 – С.423.
5. Данилевич С.Б. Метрологическое обеспечение производства и качество продукции / С.Б. Данилевич, С.С. Колесников // Законодательная и прикладная метрология. — 2007. – №2. — с.6-9.
6. Данилов Е.А. Хорош ли продолжительный межповерочный интервал для теплосчётчиков при расширенном диапазоне измерения расхода / А.Е. Данилов, И.Н. Бригаденко, Г.Н. Иванова, Е.Ю. Парамонова // Энергосбережение, 2003, №5 – С. 17.
7. Конюхов А.Г. Автоматизация поверки: старые подходы и перспективные принципы / А.Г. Конюхов // Измерительная техника. – 1987.- №11.-С.14-15.
8. Микийчук М.М. Засоби перевірки вторинних пристроїв контактної термометрії на основі активних імітаторів опору / М.М. Микийчук // Автореф. дисерт. канд. техн. наук – Львів, 1998р.
9. Яцук В.О. Розвиток теорії та методів підвищення якості засобів вимірювальної техніки з використанням кодованих мір / В.О. Яцук // Автореф. дисерт. докт. техн. наук – Львів, 2004 р.
10. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
11. ГОСТ 8.565-99. ГСИ. Порядок установления и корректировки межповерочных интервалов эталонов.
12. Микийчук М.М. Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М.М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал Івано-Франківського національного технічного університету нафти та газу. – 2009. – №23 – С. 126-129.