

УДК 621.317.08

М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

## ПІДВИЩЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ АВТОНОМНОСТІ ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАНЬ

*Розглянуто питання забезпечення єдності вимірювань шляхом підвищення метрологічної автономності локальних систем вимірювань. Показано доцільність підвищення метрологічної автономності шляхом створення «віртуального» еталону. Проаналізовано можливі варіанти реалізації «віртуального» еталону, які забезпечать високу метрологічну стабільність вимірювань при незначних додаткових затратах. Вказано на необхідність створення універсальних технічних та програмних засобів забезпечення взаємних звірянь в локальних системах вимірювань для підвищення достовірності вимірювань в умовах метрологічної автономності.*

**Ключові слова:** метрологічна автономність, локальні системи вимірювань, засоби вимірювальної техніки, метрологічна відповідність, звіряння, калібрування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вирішення важливих науково-технічних завдань значною мірою залежить від єдності вимірювань. Зокрема від точності, правильності і своєчасності вимірювань та контролю різноманітних параметрів залежить оперативність і правильність прийняття рішень щодо функціонування багатьох процесів та систем. Тому рівень достовірності вимірювань в різноманітних галузях людської діяльності, в значній мірі, визначає їх ефективність [1 – 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під єдністю вимірювань розуміють такий стан вимірювань, при якому результати вимірювань виражаються у законодавчо визначених одиницях, а характеристики похибок або невизначеностей вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі [1].

Основою забезпечення єдності вимірювань є метрологічна діяльність, яка пов'язана із створенням та постійним вдосконаленням метрологічного забезпечення. Метрологічне забезпечення (МЗ) це встановлення та застосування метрологічних норм та правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності та потрібної точності вимірювань.

Для ефективного вирішення питань МЗ існує державна та відомчі метрологічні системи діяльності яких має бути спрямована на створення нормативно-правових, нормативних, науково-технічних

та організаційних основ забезпечення єдності вимірювань у державі. Виконання цих завдань досягається шляхом виконанням специфічних метрологічних робіт: дослідження, експлуатація, звірення (атестація) еталонів, метрологічна перевірка та калібрування засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), атестація методик вимірювань.

В умовах значного зношення еталонної бази, зростання цін на метрологічні послуги значно підвищується роль комплексу організаційно-технічних заходів із забезпечення певної метрологічної автономності локальних систем вимірювань, що дозволить зменшити затрати на їх метрологічне забезпечення при забезпеченні необхідного рівня єдності, точності та достовірності вимірювань [2].

В даний час одним з перспективних напрямів вдосконалення ЗВТ, призначених для зберігання, відтворення і передачі розміру одиниць фізичних величин, є створення нових групових еталонів, сформованих на базі групи мір одиниць фізичних величин [5]. В склад таких групових еталонів входять кілька високостабільних мір, які оснащені засобами звіряння. Причому окремі елементи групового еталону виконують не просто функцію «гарячого резерву» деякого основного елемента, а є повноправними членами групи і безпосередньо впливають на формування вихідної одиниці групового еталону [6]. Використання такого підходу дозволяє підвищити стабільність відтворення одиниці фізичної величини групового еталону у порівнянні із стабільністю

окремих елементів групи. Також, створення алгоритму опрацювання результатів взаємних звірень елементів групового еталону на основі максимально правдоподібної оцінки дозволяє значно спростити процедуру звірень та підвищити ефективність процесу статистичного опрацювання їх результатів [5, 6]. Таким чином, реалізація принципу метрологічної автономності в сучасних умовах дозволяє підвищувати метрологічну стабільність для локальних систем вимірювань.

Однак, на сьогоднішній день недостатньо розвивається практика впровадження методів підвищення метрологічної автономності локальних систем вимірювань, які існують в різних галузях промисловості та науки.

**Формулювання мети дослідження.** Метою даної статті є дослідження ефективності забезпечення єдності вимірювань шляхом впровадження методів підвищення метрологічної автономності для різних галузей промисловості та науки.

### Виклад основного матеріалу

Будь-який процес вимірювання містить дві взаємопов'язані складові частини:

- сукупність операцій з отримання інформації про значення фізичної величини: взаємодія з об'єктом вимірювання, вимірювальні перетворення вимірюваних сигналів до виду зручного для подальшого використання, опрацювання результатів вимірювань;

- сукупність операцій із забезпечення єдності вимірювань: відтворення, зберігання та передача одиниць фізичних величин, створення умов для забезпечення метрологічної справності ЗВТ.

Ці взаємопов'язані складові процесу вимірювання і визначають в кінцевому результаті якість вимірювань. Останнім часом, у зв'язку із глобалізаційними процесами, що відбуваються у світовій економіці намічається тенденція до підвищення вагомості складової із забезпечення єдності вимірювань. Однак, підвищення конкурентності продукції передбачає зменшення затрат усіх складових виробничого процесу і зокрема за трат на здійснення процедур метрологічного підтвердження ЗВТ. Одним із шляхів в цьому напрямі є збільшення міжкалібрувальних інтервалів при збереженні необхідної метрологічної надійності ЗВТ. Цей шлях передбачає підвищення метрологічної автономності вимірювальних процесів.

Під метрологічною автономністю розуміється властивість, що полягає в здатності на протязі тривалого часу підтримувати метрологічні характеристики сукупності ЗВТ без використання еталонів, що стоять на вищих ступенях передачі розміру одиниці фізичної величини [6].

Згідно вимог [3] організації зобов'язані визначити рівень потрібних заходів контролю і встановити вимоги до системи керування вимірюваннями, що їх мають застосовувати як частину їхньої загальної сис-

теми керування. Результативна система керування вимірюваннями має забезпечувати придатність вимірювального обладнання та процесів вимірювання для використання за призначенням, а тому відіграє важливу роль у досягненні цілей щодо якості процесів, для яких вона створена, та в керуванні ризиками отримання невірних результатів вимірювання.

Основним методологічним принципом існуючої системи метрологічного забезпечення є проведення періодичних метрологічних перевірок чи калібрувань робочих ЗВТ через певні інтервали часу, з метою підтвердження їх метрологічної відповідності [4, 7]. Такий підхід до забезпечення єдності масових вимірювань не враховує специфіки застосування ЗВТ в реальних умовах експлуатації, що викликає виникнення додаткових похибок [8]. Ці додаткові похибки, як правило виникають від невідповідності умов в яких відбувається підтвердження метрологічної відповідності ЗВТ умовам їх експлуатації [4, 9, 10].

Сучасні технологічні процеси вимагають більш точного керування та зменшення втрат від недостовірності вимірювань, тому підвищуються вимоги до забезпечення метрологічної відповідності ЗВТ під час міжперевірювальних чи міжкалібрувальних інтервалів [9, 10].

Одним із шляхів підвищення єдності масових вимірювань є створення «віртуального» еталону точність якого визначала б поточний рівень єдності вимірювань в організації чи підприємстві. Практика застосування «віртуального» еталону відома [11, 12] і застосовується при підвищенні метрологічної надійності відтворення одиниць еталонами. Однак, на сьогоднішній день для широкого кола масових вимірювань ідеологія «віртуальних» еталонів ще недостатньо опрацьована, хоча на сучасному рівні розвитку мікроелектроніки та обчислювальної техніки їх створення не викликати особливих труднощів.

В кожному конкретному вимірювальному процесі використовується достатньо стабільна сукупність ЗВТ, результати вимірювання яких використовуються, на протязі тривалого часу. Ця сукупність ЗВТ володіє метрологічними характеристиками, які знаходяться в певному детермінованому зв'язку з технологічними режимами, отже цю сукупність ЗВТ можна вважати локальною системою вимірювань (ЛСВ), яка характерна для нього процесу. Ідеологія створення «віртуального» еталону полягає у створенні технічних засобів та методик, які б забезпечували процедури взаємних звірень ЗВТ, а також накопичення і використання інформації про їх індивідуальні метрологічні характеристики.

Для реалізації «віртуального» еталону для локальної системи вимірювань необхідно, забезпечити такі його властивості: метрологічної оперативності та метрологічної одноманітності. Метрологічна оперативність – здатність ЛСВ забезпечувати оперативний контроль метрологічних характеристик ЗВТ, що використовуються в ЛСВ. При експлуатації достатньо

стабільної сукупності ЗВТ в ЛСВ на протязі тривалого часу достатньо просто сформувати інформаційну базу даних про індивідуальну точність та стабільність цих ЗВТ та розробити методики оновлення цієї бази даних [13]. Метрологічна одноманітність – забезпечення технічних можливостей для здійснення ефективних звірянь ЗВТ, які використовуються в ЛСВ. На сучасному рівні розвитку мікроелектроніки без значних затрат можливо створювати високоточні засоби, які забезпечуватимуть потрібні технічні можливості для реалізації процедур звірянь [4, 14].

Розглянемо можливі варіанти реалізації «віртуальних» еталонів для ЛСВ широкого застосування. В локальній системі вимірювань - на окремому підприємстві, організації - існує певна кількість робочих ЗВТ, що вимірюють технологічні параметри. Цю сукупність ЗВТ, можна розділити на кілька груп однорідних ЗВТ, які характеризуються одноманітністю входних вимірюваних параметрів. Тоді для кожної групи однорідних ЗВТ можна створити «віртуальний» еталон одиниці фізичної величини яку вимірюють в межах цієї групи. Специфіка створення «віртуального» еталону полягає у особливостях реалізації процедур взаємних звірянь ЗВТ та операцій статистичного визначення опорного значення одиниці фізичної величини.

Метод взаємних звірянь в групах однорідних ЗВТ можна здійснити наступними способами. У випадку компактного розміщення однорідних ЗВТ, наприклад на контрольному щиті, необхідно реалізувати схему періодичного від'єднання їх входів від джерел вимірювальних сигналів та паралельну подачу на усі входи одночасно стабільного входного сигналу. З ряду отриманих показів цієї сукупності однорідних ЗВТ –  $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ , необхідно визначити середнє арифметичне показів сукупності ЗВ –  $\bar{X}$ , яке приймається за опорне значення:

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m X_j \quad (1)$$

Тоді визначивши похибки ЗВТ -  $\{\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_m\}$  та порівнявши їх значення з допустимими межами для кожного ЗВТ можна виділити з цієї сукупності ті, для яких похибка перевищила допустимі межі, а отже, вони повинні бути вилучені з процесу вимірювань та підлягають калібруванню. Важливою вимогою при реалізації цього способу звіряння є забезпечення стабільності джерела входного сигналу за період часу фіксації показів всіх контрольованих ЗВТ.

Якщо ЛСВ організовані таким чином, що в них присутні періодичні перерви в роботі, а також недоцільно здійснювати попередній варіант звірянь, то можна організувати колові звіряння ЗВТ. Тоді, в умовах метрологічної автономності, провівши послідовні звіряння однорідних ЗВТ отримаємо матрицю результатів звірянь [6].

$$\begin{aligned} \Delta_{12} &= X_1 - X_2 = \Delta_1 - \Delta_2 = \gamma_{12} + \eta \\ \Delta_{13} &= X_1 - X_3 = \Delta_1 - \Delta_3 = \gamma_{13} + \eta \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_{1j} &= X_1 - X_j = \Delta_1 - \Delta_j = \gamma_{1j} + \eta \end{aligned} \quad (2)$$

Після відповідного статистичного опрацювання за опорне значення «віртуального» еталону приймається максимально правдоподібна оцінка результатів звірянь [5]:

$$X^* = \arg \max \{p(X_1, \dots, X_j / X)\} \quad (3)$$

де  $X$  – дійсне значення одиниці фізичної величини, що вимірюється під час звіряння.

Цей метод можна використовувати і для звіряння різноточних однорідних ЗВТ якщо ввести матрицю звіряння ваги окремих звірянь [5].

Коли є кілька груп однорідних ЗВТ або вони розміщені у віддалених місцях контрольованого об'єкту, то їх взаємні звіряння можна організувати наступним чином. З кожної групи однотипних ЗВТ, за результатами їх попередньої експлуатації та калібрувань, потрібно вибрати ЗВТ, який має найвищу стабільність. Тоді процедура взаємних звірянь полягає в організації паралельних вимірювань стабільним та кожним ЗВТ із цієї сукупності однорідних ЗВТ. Приймаючи за опорне значення показ стабільного ЗВТ та провівши опрацювання результатів вимірювань можна виділити ЗВТ, котрі підлягають калібруванню. Такий варіант забезпечення єдності вимірювань в межах ЛСВ підтверджується проведеними в [15] дослідженнями і очевидно є найменш затратний оскільки не вимагає додаткових технічних засобів. Для забезпечення прослідковуваності вимірювань в ЛСВ з одиницями фізичних величин, що відтворюються державними еталонами, достатньо здійснити калібрування відібраних найстабільніших ЗВТ.

Необхідно зауважити, що ЗВТ які входять до складу цього «віртуального» еталону є робочими ЗВТ і використовуються для вимірювань у ЛСВ, однак висока індивідуальна метрологічна стабільність дозволяє періодично використовувати їх для підвищення достовірності вимірювань всієї сукупності ЗВТ, що входять до складу ЛСВ.

Запропонований підхід до оцінки одиниць фізичних величин «віртуальних» еталонів дозволяють повною мірою представити процес відтворення, зберігання і передачі розмірів широкого класу одиниць фізичних величин в умовах автономного метрологічного забезпечення ЗВТ і зменшити економічні витрати пов'язані з експлуатацією вимірювальної техніки в ЛСВ.

## Висновки

Таким чином, створення «віртуальних» еталонів в ЛСВ дозволить підвищити достовірність вимірювань та метрологічну надійність ЗВТ, що використовуються в технологічних процесах підприємств та організацій, а також зменшити затрати на підтвер-

дження метрологічної відповідності парку ЗВТ встановленим метрологічним нормам. Подальші дослідження необхідно проводити в напрямку розробки ефективних алгоритмів опрацювання результатів взаємних звірянь в межах ЛСВ, а також створення стабільних промислових калібраторів-розширювачів.

### Список літератури

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від від 15 червня 2004 року N 1765-IV. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi/>
2. Камінський В.Ю. Методологія синтезу автономної системи метрологічного забезпечення атомних електростанцій. // В.Ю. Каменський, К.М. Маловик. Збірник наукових праць СНУЯЕтаП.: Загальнонаукові і спеціальні дослідження 2010. – С.161-168.
3. ДСТУ ISO 10012:2005. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT): чинний з 2007-01-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с.
4. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики: дис. ... докт. техн. наук: 05.11.15 / Фридман Анатолий .Эммануилович. – Москва, 1994. - 423 с. – Библиогр.: С. 393-415.
5. Безуглов Д.А. Максимально правдоподобная оценка единицы физической величины группового рабочего эталона по результатам внутригрупповых сличений / Д.А. Безуглов, П.М .Поморцев // Измерительная техника. – 2001. – № 1. – С. 3-5.
6. Безуглов Д.А. Математический аппарат повышения метрологической автономности в системе единства измерений./ Д.А. Безуглов, П.М. Поморцев // Журнал «Радиоэлектроника» - 2002. - №1. – С. 23-28
7. Новицкий П.В. Динамика погрешностей средств измерений: учебн. пособ. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф, В.С. Лабунец. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
8. Микийчук М.М. Прогнозування похибок промислових засобів вимірювання температури. / М.М. Микийчук, Р.М .Огірко, Т.Г. Бойко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник НУ "Львівська політехніка". - 2004. - №500 – С.36- 40.

та керування. Вісник НУ "Львівська політехніка". - 2004. - №500 – С.36- 40.

9. Данилов А.А. Теоретические основы сличения эталонов/ А.А. Данилов // Сб. докл. XXIV-й Межд. науч.практ. конф. «Коммерческий учет энергоносителей». – 2006. – С. 56-59.

10. Микийчук М.М. Прогнозування похибок промислових засобів вимірювання температури. / М.М. Микийчук, Р.М. Огірко, Т.Г. Бойко // Автоматика, вимірювання та керування. Вісник НУ "Львівська політехніка". - 2004. - №500 - С.36-40.

11. Стороженко В.А. Информационные признаки и решающие правила для обработки результатов термографического контроля. / В.А. Стороженко, С.Б. Малик, А.В. Мякий. // Методи та прилади контролю якості. - 2009. - № 22. – С.3-6.

12. Галимов Э.Р. Неразрушающий контроль как информационный процесс оценки коррозионных процессов. / Э.Р. Галимов, Н.К. Козар // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. - 2004. - № 4 – С.34-37.

13. Дяк Р.П. Нормативно-технічні засади автоматизації метрологічної перевірки теплолічильників.: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня. канд. техн. наук: спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / Дяк Роман Петрович ; НУ «Львівська політехніка» – Львів, 2011 - 18 с.

14. Микийчук М. Дослідження структур активних імітаторів опору як основи промислових калібраторів./ М. Микийчук // Вимірювальна техніка і метрологія. – 2010. - № 71. - С. 33-38.

15. Владимиров В.Л. Теоретические основы, методы и алгоритмы автоматизированной поверки средств измерений электрических величин [Текст] : дис. ... докт. техн. наук: 05.11.05 / В. Л. Владимиров. - Львов, 1991. - 255 с. Библиогр.: С. 235-243.

Надійшла до редколегії 2.03.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор Є.В. Походило. Національний університет "Львівська політехніка", Львів.

### ПОВЫШЕНИЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АВТОНОМНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЙ

М.М. Микийчук, П.Г. Столярчук

Рассмотрен вопрос обеспечения единства измерений путем повышения метрологической автономности локальных систем измерений. Показана целесообразность повышения метрологической автономности путем создания «виртуального» эталона. Проанализированы возможные варианты реализации «виртуального» эталона, которые обеспечат высокую метрологическую стабильность измерений при незначительных дополнительных затратах. Указано на необходимость создания универсальных технических и программных средств обеспечения взаимных сверок в локальных системах измерений для повышения достоверности измерений в условиях метрологической автономности.

**Ключевые слова:** метрологическая автономность, локальные системы измерений, средства измерительной техники, метрологическое соответствие, сверка, калибрование.

### INCREASE OF METROLOGY NONINTERACTION OF THE IN-PLANT SYSTEMS OF MEASUREMENTS

М.М. Mykyychuk, P.G. Stoljarchuk

The question of providing of unity of measurements is considered by the increase of metrology noninteraction of the in-plant systems of measurements. Expedience of increase of metrology noninteraction is rotined by creation of «virtual» standard. The possible variants of realization of «virtual» etalon are analysed, which will provide high metrology stability of measurements in insignificant additional expenses. It is indicated on the necessity of creation of universal technical and programmatic backer-ups mutual collations for the in-plant systems of measurements for the increase of authenticity of measurements in the conditions of metrology noninteraction.

**Keywords:** metrology noninteraction, in-plant systems of measurements, facilities of measuring technique, metrology accordance, collation, calibration.