

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ПОХИБОК ЗАСОБІВ  
ВИМІРЮВАНЬ**  
**ANALYSIS OF INSTANT CONTROL METHODS OF MEASURING INSTRUMENTS  
ERRORS**

*Микийчук М. М. д.т.н., проф., Ренетило Х. І., Приймачук І.М., Хома Ю.В. к.т.н, асист.  
Мукушук М.М., Repetylo Kh.I., Prytmachuk I.M., Khoma Yu.V.*

*–кафедра інформаційно-вимірвальних технологій,*

*Національний університет «Львівська політехніка», Україна; [khrystyna.repetylo@gmail.com](mailto:khrystyna.repetylo@gmail.com)*

### Анотація

У статті запропоновані методи оперативного контролю метрологічних характеристик засобів вимірювань для підвищення достовірності вимірювань у промисловості та для зменшення витрат на підтвердження їх метрологічної відповідності. Акцентовано увагу на залежності рівня витрат від точності та надійності вимірювань, на основі яких приймаються рішення щодо функціонування процесів. Від рішень щодо функціонування процесів залежить якість продукції.

Обґрунтовано підвищення ролі комплексу організаційно-технічних заходів з забезпечення певної метрологічної автономності окремих виробництв, котре дозволить зменшити затрати на метрологічне забезпечення виробництва при забезпеченні необхідного рівня єдності, точності та вірогідності вимірювань. Для зменшення частки метрологічно несправних ЗВ, які експлуатуються в промисловості, в технологічних процесах та для підвищення достовірності вимірювань, пропонується розроблення методів та алгоритмів оперативного контролю метрологічних характеристик засобів вимірювань. Такі методи повинні характеризуватися здатністю їх виконання у будь-який момент часу, відповідністю їх оцінок встановленому рівню вірогідності, сумісністю складових системи, надійністю, тобто функціонувати протягом визначеного часу без втрати метрологічних характеристик. В статті показано умови ефективного використання методів оперативного контролю похибок.

Розглянуто доцільність застосування таких методів як метод звірянь за спільним джерелом сигналу; метод взаємних звірянь; метод звірянь за стабільним ЗВ; метод звірянь за допомогою калібратора. Метод з використанням промислового калібратора є найефективнішим методом оперативного контролю похибок, що підтверджується дослідженнями.

### Abstract

The purpose of organizing an effective measurement process is to provide an optimal combination of the measuring instruments quality and the quality of measurements. To increase the reliability of measurements in industry and to reduce the cost of confirming their metrological compliance, methods of instant control of measuring instruments metrological characteristics are proposed. Attention is focused on the dependence of the level of costs on the accuracy and reliability of measurements. The last are based on decisions devoted to the operating processes.

It is ensured the certain metrological autonomy of individual industries, which allow reducing costs for the metrological maintenance of production while the necessary level of unity, accuracy and reliability of measurements is justified.

In the general case, depending on the place of application in the measurement, methods for increasing the accuracy of measurements can be divided into two groups: - methods for increasing the accuracy of measuring instrument; - methods for increasing the accuracy of measurement results. The first group is characterized by stabilization of the transformation function of measuring instruments. It is also divided into two methods categories. The first of them is the improvement of measuring instruments aiming the increase of the measurements quality. The second one is increasing the quality of measuring instruments. There exist the ways to stabilize the transformation function: - design and technology that form the best protection against interference. They are the application of a more advanced elemental base; structural-algorithmic stabilizing the transformation function of measuring instruments, and results processing. The second group combines the methods of stabilizing the output signal of measuring instruments. Stabilization is achieved by means of various metrological tests of instruments, which are aimed at establishing the real metrological properties of a particular instrument. Based on the results of these tests, adjustment of the measuring instruments can be applied.

A lot of methods have been devoted to improve the metrological quality of measuring instruments. Within the framework of this paper, it is important to determine quality enhancing ways of instruments while operating. Effective way to improve the quality of operation is to increase the calibration frequency of measuring instruments with more

accurate means of measurement or calibrator aiming the determining and excluding the systematic error. Analysis of the calibration effect on the metrological reliability of instruments carried out previously represents the most effective of the mentioned methods. One of them seems to be the built-in calibration element for each measurement cycle. It may be recommended the periodic control by an external measure.

Development methods and algorithms for instant control of metrological characteristics of measuring instruments are proposed. Methods are important to reduce the degradation of measuring instruments in industry. Also, they are aimed at enhancement of measurements exactness.

Article assesses the conditions for effective applying the instant control methods of uncertainties. The expediency of such methods, as the method of verification of the common signal source; the method of mutual recognition; method of verification using high-stable measuring instrument; method of verification with a calibrator, is considered. The last one is the most effective method efficiency of which is proven by current research.

## **Ключові слова**

Метрологічна надійність, оперативний контроль, контроль метрологічних характеристик, метрологічна автономність.

## **Keywords**

Metrological Reliability, Instant Control, Metrological Characteristics, Metrological Autonomy.

## **1. Вступ**

Невідповідність вірогідності вимірювань призводить до витрат підприємств. Такі витрати пов'язані з ризиками споживача та виробника. Для їх мінімізації підприємству необхідно своєчасно і в найкоротші терміни приймати рішення щодо функціонування процесів, котрі є визначальними для якості продукції. Рішення приймаються на основі вимірювань, і саме від їх точності та надійності залежить рівень витрат. З іншого боку, забезпечення найвищих показників потребує великих затрат.

Вірогідність ґрунтується на понятті єдності вимірювань, що досягається шляхом точного відтворення та зберігання еталонами встановлених одиниць фізичних величин, і передачі їх розмірів робочим засобам вимірювань (ЗВ).

В умовах значного зношення еталонної бази, зростання цін на метрологічні послуги значно підвищується роль комплексу організаційно-технічних заходів з забезпечення певної метрологічної автономності окремих виробництв, що дозволить зменшити затрати на метрологічне забезпечення виробництва при забезпеченні необхідного рівня єдності, точності та вірогідності вимірювань.

## **2. Недоліки**

Недоліком прийнятого методу встановлення міжкалібрувальних інтервалів є застосування одного інтервалу для однотипних ЗВ. Проте, в такому випадку не береться до уваги особливості застосування окремого ЗВ. З огляду на використання у промисловості виникають питання інших категорій, що впливають на вибір інтервалів. З одного боку, калібрування зумовлює зупинку ТП, тобто простій, що спричиняє витрати. З іншого боку, недостовірність результатів вимірювань спричиняють витрати. В першому випадку є тяга до збільшення міжкалібрувального інтервалу, в другому – до зменшення.

Однак початкових даних для коректного і однозначного вирішення цього завдання як правило недостатньо. Так, відповідно до РМГ 74 [6] рекомендується використовувати залежність середніх економічних витрат від похибок ЗВ. Однак, важко знайти таку залежність для більшості типів ЗВ, за умови, що різні екземпляри ЗВ одного і того ж типу можуть використовуватися для різних цілей, а тому і наслідки від недостовірних результатів вимірювань, виконаних за допомогою таких ЗВ, можуть відрізнятися в сотні і тисячі разів.

Саме відсутність інформації (про тимчасову нестабільність компонентів ЗВ, про умови і інтенсивність їх застосування, про економічні наслідки від недостовірних результатів вимірювань та ін.), потрібної для розрахунків, призводить до недоцільності застосування таких складних і трудомістких методів на практиці, оскільки вони, на жаль, не забезпечують необхідної вірогідності [7]. При цьому призначення міжкалібрувальних інтервалів шляхом порівняння з міжкалібрувальних інтервалів аналогічних ЗВ (в умовах конкурентної боротьби фірм-виробника ЗВ) призводить до встановлення неправдоподібно тривалих міжкалібрувальних інтервалів на багато типів ЗВ.

Обмежують сферу застосування досить розвинутої і водночас складної теорії метрологічної надійності як при призначенні первинного міжкалібрувального інтервалу, так і при його коригуванні на етапі експлуатації [7] недостатність даних, котрі можна отримати в повсякденній практиці.

## **3. Мета роботи**

Метою роботи є здійснення класифікації та обґрунтування методів оперативного контролю метрологічних характеристик ЗВ для підвищення достовірності вимірювань у промисловості та для зменшення витрат на підтвердження їх метрологічної відповідності.

#### 4. Матеріали та методи

Підвищення метрологічної надійності є актуальним питанням. В ряді наукових робіт розглядалися методи її підвищення, проте досі не досягнуто чіткої теорії та структуризації цих методів.

В загальному випадку, в залежності від місця застосування у вимірювальному процесі, методи підвищення точності вимірювань можна розділити на дві групи:

- методи підвищення точності ЗВ;
- методи підвищення точності результатів вимірювань.

Перша група характеризується стабілізацією функції перетворення ЗВ. Вона поділяється також на дві категорії методів. Першій властиво удосконалення ЗВ для покращення якості вимірювань. Друга – для підвищення якості експлуатації ЗВ. Є такі способи стабілізації функції перетворення:

- конструкторсько-технологічні – кращий захист від завад, використання досконалішої елементної бази;
- структурно-алгоритмічні – структурна стабілізація функції перетворення ЗВ, внутрішня математична обробка вимірювальної інформації.

Друга група об'єднує методи стабілізації вихідного сигналу ЗВ. Стабілізація досягається за допомогою різноманітних метрологічних випробувань ЗВ, які направлені на встановлення реальних метрологічних властивостей конкретного ЗВ. За результатами цих випробувань можуть вводитися поправки до результатів вимірювань ЗВ.

Методам підвищення метрологічної якості ЗВ присвячено багато робіт [1-5], в межах даної роботи, важливо визначити шляхи підвищення якості ЗВ в процесі їх експлуатації.

Одним з найбільш ефективних способів підвищення якості експлуатації є підвищення частоти калібрування ЗВ шляхом зв'язання з точнішим ЗВ чи калібратором з метою визначення і виключення систематичної похибки.

Проведений в [1] аналіз впливу калібрування на метрологічну надійність ЗВ показав, що найефективнішими з них є два способи реалізації: у кожному циклі вимірювань по вбудованому опорному елементу або періодичною по зовнішньому еталону. Метою організації ефективного вимірювального процесу є забезпечення оптимального поєднання якості ЗВ та якості експлуатації ЗВ.

Для прогнозування справності ЗВ необхідно використовувати дані протоколів метрологічних перевірок.

При цьому інформація, яку можливо отримати з протоколів, різна для різних способів перевірки. Так, відповідно до РМГ 74 [6] розрізняють три способи метрологічної перевірки :

- встановлення дійсних значень фізичних величин (градування), приписаних ЗВ, в точках діапазону вимірювань, що перевіряються, - перший спосіб перевірки;
- визначення придатності до застосування по нормах стабільності із наступним градуванням ЗВ, визнаних придатними, - другий спосіб перевірки;
- визначення придатності до застосування із бракуванням тих ЗВ, похибки яких перевищує допустиму межу, - третій спосіб перевірки.

Використовуваний для робочих еталонів другий спосіб перевірки забезпечує оцінювання метрологічної стабільності, яка встановлюється шляхом порівняння нестабільності ЗВ, отриманої в результаті перевірки з прийнятими значеннями. Після цього здійснюється передача розміру одиниці фізичної величини від еталону.

Для робочих еталонів також використовується і перший спосіб перевірки, але його реалізація можлива в двох варіантах. При першому варіанті встановлюються дійсні значення фізичних величин, приписані ЗВ (як, наприклад, у випадку з однозначними мірами - гирею, котушкою опорів і так далі). Це дає можливість за результатами декількох перевірок отримати залежність дійсних значень фізичних величин, приписаних ЗВ, від часу, а, отже, оцінити нестабільність ЗВ і правильність призначення міжкالیбрувального інтервалу. У тому ж випадку, якщо при перевірці проводиться тільки передача розміру одиниці фізичної величини від еталону (як, наприклад, у разі передачі розміру від гирі вагам, від однозначної міри напруги калібратору) без встановлення дійсного значення фізичної величини на момент проведення перевірки, оцінити нестабільність ЗВ неможливо. Отже, в цьому випадку отримати достовірну інформацію, про поточний рівень метрологічної справності конкретного ЗВ, також не є можливим.

При третьому способі перевірки здійснюється контроль за альтернативною ознакою (придатний - не придатний) без приведення кількісних оцінок, що, зрозуміло, знижує достовірність оцінювання метрологічної справності, що отримуються для сукупності ЗВ за результатами оцінювання коефіцієнта (чи імовірності) метрологічної справності [1, 7].

Для зменшення частки метрологічно несправних ЗВ, які експлуатуються в промисловості, в технологічних процесах та для підвищення достовірності вимірювань пропонується розроблення методів та алгоритмів оперативного контролю метрологічних характеристик ЗВ [10].

Вимогами до методів оперативного контролю похибок за [8] слід вважати :

- оперативність: можливість здійснення контролю похибок у будь-який момент часу;
- об'єктивність: відповідність оцінок похибок встановленому рівню вірогідності;
- інтегрованість: сумісність всіх складових системи оперативного контролю у процесі її функціонування;
- надійність: функціонування системи протягом визначеного часу без втрати відповідних метрологічних характеристик.

## 5. Результати і обговорення

Використовуючи узагальнення [8] запропоновано наступну класифікацію методів оперативного контролю похибок.

Таблиця 1.

Класифікація методів оперативного контролю МХ ЗВ

Table 1.

*Classification of operational control methods of metrological characteristics measuring instruments*

Ознака	Метод оперативного контролю МХ
За способом контролю	Метод допоміжних вимірювань
	Метод еталонних сигналів
За часом контролю	Неперервного контролю
	Періодичного контролю
За впливом на технологічний процес	З перериванням ТП для вилучення ЗВ на час контролю
	Без переривання ТП для здійснення оперативного контролю МХ ЗВ (бездемонтажний контроль МХ)

Специфікою промислових вимірювань можна вважати спрямованість на зменшення витрат. В такому випадку, калібрування повинно здійснюватися з найбільшими інтервалами. Проте, для забезпечення ефективності вимірювань необхідно впевнитися у їх достовірності. Беручи до уваги, такі дві позиції промислових вимірювань важливо використовувати методи оперативного контролю похибок. В статті показано умови їх ефективного використання.

Як показує аналіз [8] бездемонтажний оперативний контроль похибок промислових ЗВ доцільно здійснювати наступними методами:

- метод звірянь за спільним джерелом сигналу;
- метод взаємних звірянь;
- метод звірянь за стабільним ЗВ;
- метод звірянь за допомогою калібратора.

При можливості від'єднання входів ЗВ від джерел вимірювальних сигналів та одночасної подачі на всі входи стабільного сигналу (компактного розміщення ЗВ), можна використовувати метод звірянь ЗВ з використанням спільного джерела сигналів.

В результаті отримаємо ряд показів цієї сукупності однорідних ЗВ –  $\{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ . Наступним кроком є знаходження середнього арифметичного показів сукупності ЗВ -  $\bar{X}$ , яке приймається за опорне значення

$$\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_i$$

Визначивши похибки ЗВ -  $\{A_1, A_2, \dots, A_m\}$  та порівнявши їх значення із допустимими межами для кожного ЗВ можна виділити з них ті, для яких похибка перевищила допустимі межі, а отже, вони повинні бути вилучені з технологічного процесу (ТП) та підлягають калібруванню.

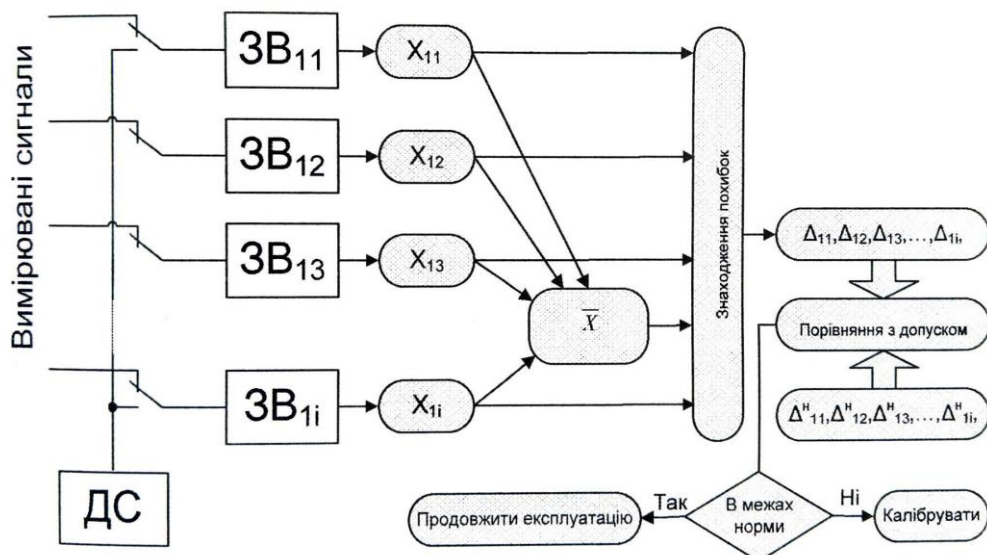


Рис.1. Метод звірянь однорідних ЗВ з використанням спільного джерела сигналу [10].

Figure 1. Method of verification homogeneous measuring instruments using a common signal source [10].

При відсутності можливості чи недоцільності використання традиційних методів калібрування ЗВ можна розглядати [10] метод колових звірянь для груп однорідних типів ЗВ.

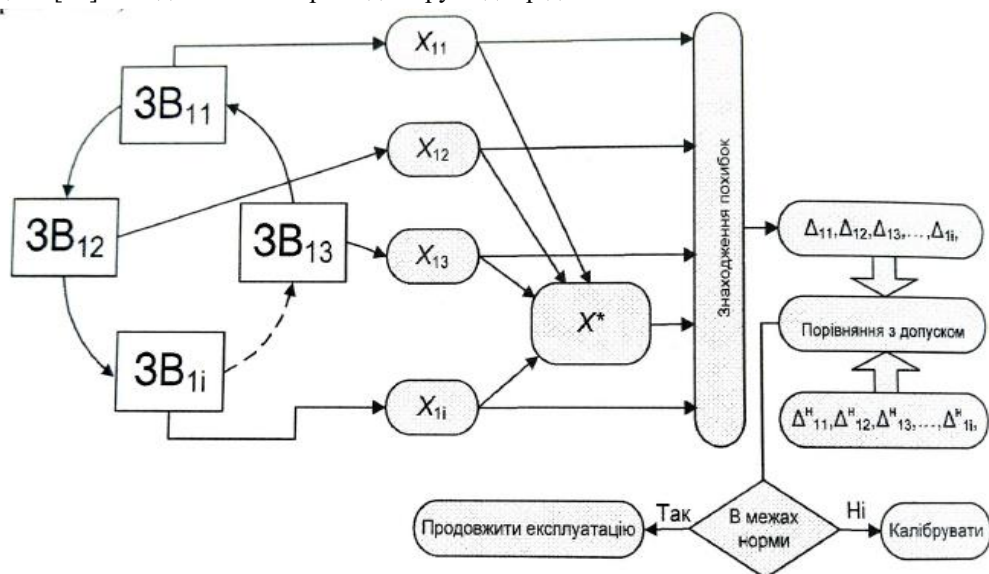


Рис.2. Метод колових звірянь в групах однорідних ЗВ [10]

Figure 2. Method of circle verification in groups of homogeneous measuring instruments [10]

Метод використовується, при умові можливості періодичного від'єднання ЗВ від джерел вимірювальних сигналів. Для такого варіанту оперативного контролю за опорне значення приймається максимально правдоподібна оцінка результату звірянь [14]

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

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

Подальші опрацювання результатів здійснюються як і для попереднього варіанту звірянь.

Якщо ж на підприємстві використовуються групи однорідних ЗВ або однорідні ЗВ розміщені в різних точках ТП, то для оперативного контролю похибок ЗВ доцільно застосовувати метод взаємних звірянь за показом стабільного ЗВ. При цьому, повинна бути можливість тривалого відімкнення ЗВ від контрольованого параметру, при умові неможливості проведення калібрування калібраторами.

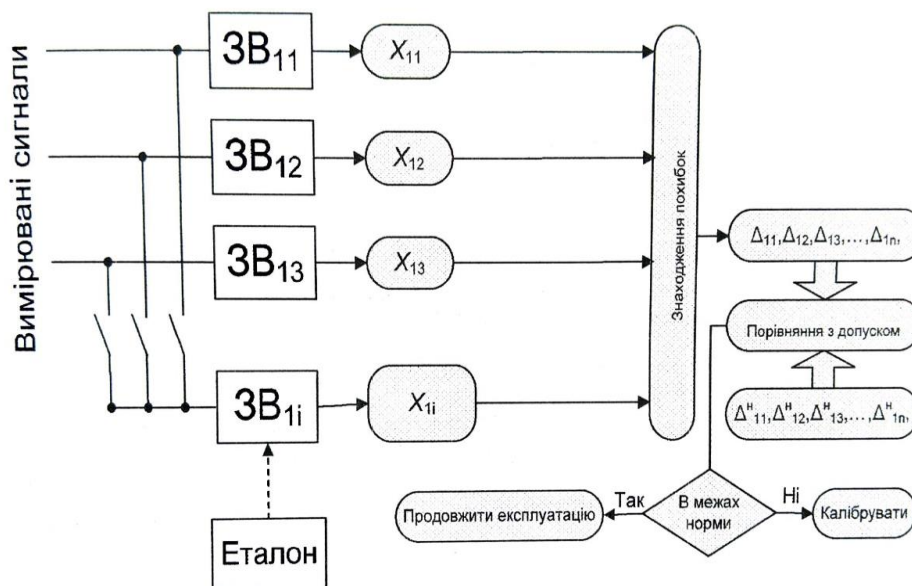


Рис.3. Метод взаємних звірянь за показом стабільного ЗВ [10].

Figure 3. The method of mutual verification by a stable measuring instrument [10]

З кожної групи однорідних ЗВ, за результатами їх попереднього контролю та калібрування, потрібно вибрати ЗВ, який має найменшу похибку та найвищу стабільність -  $\{ЗВ_{11}, ЗВ_{12} \dots ЗВ_{1i}\}$ . Для забезпечення простежуваності вимірювань з одиницями фізичних величин, що відтворюються державними еталонами, достатньо здійснити калібрування відібраних найстабільніших  $ЗВ_{1i}$ . Тоді процедура взаємних звірянь полягає в організації паралельних вимірювань стабільним  $ЗВ_{1i}$  та кожним ЗВ із цієї сукупності однорідних ЗВ тієї ж фізичної величини. Прийнявши за опорне значення показ  $ЗВ_{1i}$ , провівши опрацювання результатів вимірювань можна виділити ЗВ, котрі підлягають калібруванню.

Даний метод оперативного контролю за показами стабільного ЗВ підтверджується дослідженнями проведеними в [9], де показано, що вірогідне оцінювання метрологічної справності ЗВ можна здійснити при забезпеченні співвідношення між похибкою контрольованого та еталонного ЗВ на рівні 1:1,05.

Дослідження підтверджують, що метод з використанням промислового калібратора є найефективнішим методом оперативного контролю похибок.

Промисловий калібратор це ЗВ який використовується в процесах метрологічного підтвердження на виробництві. Вимоги до промислового калібратора можна сформулювати наступним чином:

- відтворення зразкових сигналів необхідних для калібрування всіх ЗВ, що використовуються в ТП;
- забезпечення необхідної точності передачі одиниць фізичних величин в даному ТП;
- інваріантність до впливу умов застосування ЗВ в ТП.

Звіряння ЗВ за допомогою промислового калібратора забезпечують найвищий ступінь єдності вимірювань у виробництві, а отже й високу вірогідність їх результатів. Широке його впровадження в ТП стримується відсутністю ПК, які б відповідали сформульованим вище вимогам.

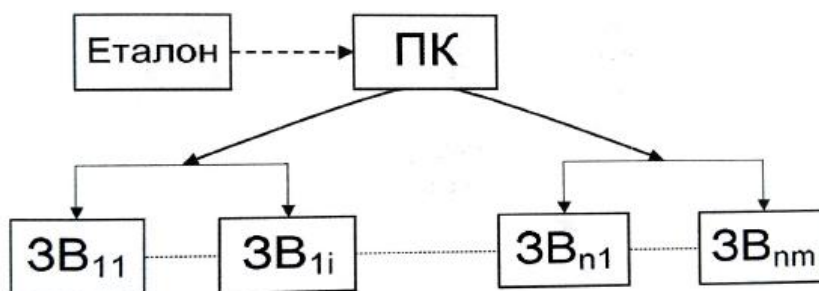


Рис.4. Метод звірянь ЗВ за допомогою промислового калібратора [10]

Figure 4. Method of verification measuring instruments by industrial calibrator [10]

## 6. Висновки

Запропоновані методи оперативного контролю метрологічних характеристик промислових ЗВ дозволять підвищити точність відтворення, зберігання і передачі розмірів широкого класу одиниць фізичних величин в умовах автономного метрологічного обслуговування ЗВ і зменшити економічні витрати при експлуатації вимірювальної техніки в промислових умовах.

Для впровадження методів бездемонтажного оперативного контролю ЗВ необхідно гармонізувати нормативно-методичне забезпечення в промисловості із сучасними вимогами до організації вимірювань. Необхідно розробити калібратори, які забезпечать відтворення зразкових сигналів, необхідну точність та інваріантність до умов застосування ЗВ.

## Список літератури

1. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений и других технических средств, имеющих точностные характеристики. Дис. докт. техн. наук. – М., 1994 - 423 с.
2. Новицкий П.В. Динамика погрешностей средств измерений / П.В.Новицкий , И.А.Зограф , В.С.Лабунец //– Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
3. Степанов О.С. Разработка и исследование научно-технических основ метрологического обеспечения производства и эксплуатации счётчиков воды / О.С. Степанов // Дисс. на соис. уч. ст. к.т.н. – М.: ВНИИМС, 2004 – 147 с.
4. Огірко Р.М. Принципи побудови універсальних вимірювальних засобів автоматизації технологічних процесів / Р.М. Огірко, М.М. Микійчук // Вимірювальна техніка і метрологія № 59, Львів, 2002. С.145-156.
5. Яцук В.О. Розвиток теорії та методів підвищення якості засобів вимірювальної техніки з використанням кодокерованих мір / В.О. Яцук // Автореф. дисерт. докт. техн. наук – Львів, 2004 р.
6. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений. 2005-05-26. М.: Стандартиформ. 2004 - 59 с
7. Данилов А.Е. 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.
8. Микійчук М.М. Підвищення метрологічної автономності локальних систем вимірювань [Текст] / М.М. Микійчук, П.Г. Столярчук // Збірник наукових праць Харківського університету повітряних сил. Випуск 1 (27) – 2011. – С.222-225.
9. Владимиров В.Л. Теоретические основы, методы и алгоритмы автоматизированной поверки средств измерений электрических величин / В.Л. Владимиров // Дис. докт. техн. наук. – Львов., 1990 - 255 с.
10. Микійчук М. М. Метрологічне забезпечення якості продукції на стадії виготовлення автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук : 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення / Микола Миколайович Микійчук ; Національний університет "Львівська політехніка". - Львів, 2012. - 40 с.

## References

- [1] A. Fridman, “The theory of metrological reliability of measuring instruments and other technical means with precision characteristics”, Dis. Dr. Sc., Moscow, USSR, 1994.
- [2] P. Novitsky, I. Zograf, V. Labunets. *Dynamics of errors in measuring instruments*, Leningrad, USSR: Energoatomizdat, 1990.
- [3] O. Stepanov, “Development and research of scientific and technical foundations of metrological support of production and operation of water meters”, Diss. Ph.D, Moscow, RF: VNIIMS, 2004.
- [4] R. Ogirko, M. Mykyuchuk, “Principles of the motivation of universal varieties of automation of technological processes”, *Measuring equipment and metrology*, Lviv Polytech. Nat. Univ., no.59, p.145-156, 2002.
- [5] V. Yatsuk, “Development of the theory and methods of improving the quality of measuring equipment with the use of coderometry measures”, Dr. Sc. thesis (in Ukrainian), Lviv, Ukraine, 2004.
- [6] RMG 74-2004 GSI, “Methods for determining the calibration and intercalibration intervals of measuring instruments. Moscow, RF:: Standartinform, 2005.
- [7] A. Danilov, I. Brigadenko, G. Ivanova, E. Paramonova, “Is the test interval for heat meters long with an extended range of flow measurement quite satisfactory”, *Energy saving*, № 5, p.17, 2003.
- [8] M. Mykyuchuk, P. Stolyarchuk, “Enhancement of metrological autonomy of local measuring systems”, Proc. of scient. papers of Kharkiv university of air forces, issue 1(27), p.222, 2011.
- [9] V..Vladimirov, “Theoretical bases, methods and algorithms for automated verification of measuring means of electrical quantities”, Dr. Sc. Dis., Lviv, USSR, 1990.
- [10] M. Mykyuchuk, “The metrology providing of quality of goods on the production stage”, Dr. Sc. Thesis, Lviv Polytechnic National University, 2012.