

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ

УДК 53.08

DOI: 10.31471/1993-9981-2023-2(51)-50-56

АНАЛІЗ ТА ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ МІЖКАЛІБРУВАЛЬНИХ ІНТЕРВАЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Т. В. Кенещук¹, Л. Б. Пастушин¹, Б. С. Незамай²

¹Державне підприємство «Івано-Франківськстандартметрологія»;
76007, м.Івано-Франківськ, вул.Вовчинецька, 127, тел./факс: (0342)53-56-34, (0342)53-56-21,
e-mail: ktv.metr77@gmail.com, pastywin@ukr.net

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу; вул. Карпатська,
15, м. Івано-Франківськ, 76019 e-mail: borysnezamai@nung.edu.ua

У роботі відмічено, що одним з чинників, що забезпечує довіру до результатів вимірювань і визначає метрологічну простежуваність – це калібрування вимірювального обладнання (еталонів, засобів вимірювальної техніки, допоміжного обладнання), що проводиться через певні проміжки часу – міжкалібрувальний інтервал. Міжкалібрувальний інтервал – відрізок часу або напрацювання часу між двома послідовними калібруваннями вимірювального обладнання. Визначення максимально допустимого періоду, який має пройти між двома періодичними калібруваннями вимірювального обладнання, є дуже важливим для підтримання спроможності калібрувальних та випробувальних лабораторій отримувати достовірні та метрологічно простежувані результати вимірювань. Необхідність та термін проведення повторного калібрування вимірювального обладнання, яке експлуатується у калібрувальних та випробувальних лабораторіях, визначає їх власник (користувач). При цьому, термін чинності сертифікату калібрування не зазначається (за винятком, коли за згодою заявника робіт з калібрування у сертифікаті зазначається рекомендований термін наступного калібрування). Для робочих еталонів, які використовують під час перевірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології, встановлено міжкалібрувальні інтервали відповідно до Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів, затвердженого Наказом Мінекомрозвитку України від 10.08.2020 № 1518. Відмічено, що при визначенні міжкалібрувального інтервалу вимірювального обладнання можна застосовувати наступні методи: автоматичне регулювання або «сходи»; контрольні діаграми; час експлуатації; перевіряння під час експлуатації або тестування «чорним ящиком»; інші статистичні підходи. Наведено інформацію щодо визначення первинного міжлабораторного інтервалу для вимірювального обладнання, а також розглянуто наведені вище методи його визначення. Виходячи з практичного досвіду при визначенні міжкалібрувального інтервалу досить часто застосовується метод автоматичного регулювання або «сходинок», зокрема для мір фізичних величин. Проведено розрахунки та наведено результати визначення міжкалібрувального інтервалу для міри довжини штрихової типу IV.

Ключові слова: калібрування; міжкалібрувальний інтервал; еталони; засоби вимірювальної техніки; метрологічна простежуваність.

In this paper noted that one of the factors that ensures confidence in measurement results and determines metrological traceability is the calibration of measuring equipment (standards, measuring equipment, auxiliary equipment), which is carried out at certain time intervals - the calibration intervals. The calibration intervals is the period of time or time elapsed between two successive calibrations of the measuring equipment. Determining the maximum allowable period that should elapse between two periodic calibrations of measuring equipment is very important in maintaining the ability of calibration and testing laboratories to obtain reliable and metrologically traceable measurement results. The necessity and term of re-calibration of measuring equipment used in calibration

and testing laboratories is determined by their owner (user). At the same time, the validity period of the calibration certificate is not specified (except for cases when, with the consent of the applicant for calibration work, the recommended term of the next calibration is specified in the certificate). For working standards that are used during the calibration of measuring equipment operating and used in the field of legally regulated metrology, the inter-calibration intervals are established in accordance with the Procedure for calibration of secondary and working standards, approved by the order of the Ministry of Development of Ukraine dated 10.08.2020 No. 1518. It is noted that the following methods can be used to determine the calibration interval of measuring equipment: automatic adjustment or "stairs"; control cards; work time; checking during operation or "black box" testing; other statistical approaches. Information on determining the primary calibration interval for measuring equipment is given, as well as the given methods of its determination are considered. Based on practical experience, when determining the inter-calibration interval, the method of automatic adjustment or "steps" is often used, in particular for measures of physical quantities. Calculations were made and the results of determining the calibration intervals for the measure of the length of the type IV bar were given.

Keywords: calibration; calibration interval; standards; measuring equipment; metrological traceability.

Вступ

Калібрування вимірювального обладнання (еталонів, засобів вимірювальної техніки, допоміжного обладнання) є одним з чинників, що забезпечує довіру до результатів вимірювань і визначає метрологічну простежуваність та проводиться через певні проміжки часу – міжкалібрувальні інтервали [1].

Відповідно до ІЛАС-Р10:01 [2] ключовим аспектом, необхідним для забезпечення довіри до результатів калібрувань, випробувань або вимірювань, є забезпечення простежуваності результатів вимірювань. Як відмічено у ДСТУ ІЛАС-G24/OIML D 10 [3], важливою складовою підтримування спроможності калібрувальної/випробувальної лабораторії отримувати достовірні та метрологічно простежувані результати вимірювань є визначення допустимого періоду, що має пройти між двома періодичними калібруваннями вимірювального обладнання. На даний час необхідність та термін проведення повторного калібрування вимірювального обладнання визначає їх користувач (власник), термін дії сертифікату калібрування не зазначається [4]. Варто відмітити, що згідно ДСТУ EN ISO/IEC 17025 [5] передбачено зазначення рекомендованого терміну наступного калібрування за згоди заявника робіт, втім,

це є, скоріше, винятком, ніж розповсюдженою практикою.

Нормативно-правовим актом [6] встановлено міжкалібрувальні інтервали для робочих еталонів, які використовують повірочні лабораторії під час перевірки засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та застосовуються у сфері законодавчо регульованої метрології.

ДСТУ EN ISO/IEC 17025 передбачає наявність у калібрувальній/випробувальній лабораторії програми (графіку) калібрування власного вимірювального обладнання, яку потрібно, за необхідності, коригувати і переглядати, щоб підтримувати впевненість у статусі калібрування. Тобто, калібрувальна/випробувальна лабораторія на власний розсуд повинна встановити міжкалібрувальні інтервали для свого вимірювального обладнання, розробити та запровадити відповідні критерії, згідно з якими можна буде визначати терміни проведення повторних калібрувань.

Враховуючи вищенаведене, питання щодо визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання є досить актуальним, зокрема при провадженні діяльності калібрувальними та випробувальними лабораторіями.

Мета роботи – визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання, що

використовується у калібрувальних та випробувальних лабораторіях.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

З урахуванням відсутності єдиного уніфікованого методу, який підходить для різноманітного вимірювального обладнання (різних категорій та типів), можуть застосовуватися різні методи при визначенні та коригуванні міжкалібрувальних інтервалів та придатності цього обладнання. Ці методи наведені наведено та описано в різних документах, серед яких стандарти [3], [7], [8] публікації провідних інститутів [9], [10], [11] тощо. Приклад практичного визначення міжкалібрувальних інтервалів, необхідності проведення калібрування вимірювального обладнання із застосуванням контрольних карт Шухарта наведено в [4].

Формулювання цілей статті

У зв'язку з відсутністю універсальних рекомендацій відносно встановлення, визначення та коригування міжкалібрувальних інтервалів, ціллю даної статті є аналіз методів та практичні настанови щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання для категорії - матеріальні міри довжини, зокрема міри довжини штрихової типу IV.

Основний текст статті

Міжкалібрувальний інтервал – відрізок часу або напрацювання часу між двома послідовними калібруваннями вимірювального обладнання.

Відповідно до [3] при визначенні міжкалібрувального інтервалу вимірювального обладнання можна застосовувати наступні методи: автоматичне регулювання або «сходи»; контрольні діаграми; час експлуатації; перевіряння під час експлуатації або тестування «чорним ящиком»; інші статистичні підходи.

Первинне значення міжкалібрувального інтервалу встановлює розробник

вимірювального обладнання. У процесі експлуатації воно може коригуватися, чинники, що впливають на зміну (зменшення або збільшення) міжкалібрувального інтервалу є наступними [3]:

- рекомендації виробника вимірювального обладнання;
- очікувана тривалість та умови експлуатації вимірювального обладнання;
- вплив навколишнього середовища (кліматичні умови, вібрація, електромагнітне випромінювання тощо);
- вимоги до похибки/невизначеності вимірювань;
- регулювання (або зміни) в конкретному вимірювальному обладнанні;
- вплив вимірювальної величини (наприклад, вплив температури, тиску тощо на вимірювальне обладнання);
- відомі дані щодо таких самого або аналогічного вимірювального обладнання.

Для кожного типу або групи вимірювального обладнання необхідно провести оцінювання часу, упродовж якого після калібрування невизначеність вимірювань (похибка засобу вимірювальної техніки) залишиться у встановлених границях.

Для встановлення міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання обробляються статистичні дані за основними показниками надійності в конкретних умовах експлуатації, а саме: можливість безвідмовної роботи на протязі встановленого проміжку часу (t) МКІ (P_t); інтенсивність відказів (λt), напрацювання на відмову T_0 .

При цьому виконуються наступні операції:

- формуються однорідні групи вимірювального обладнання;
- збирається та обробляється статистична інформація про його стан для кожної однорідної групи в конкретних умовах експлуатації на протязі встановленого міжкалібрувального інтерва-

лу та збираються статистичні дані за показниками надійності;

- дається оцінка придатності вимірювального обладнання щодо раніше встановленого міжкалібрувального інтервалу та, у разі необхідності, його коригування (зменшуються чи збільшуються міжкалібрувальний інтервал).

Розглянемо методи коригування міжкалібрувальних інтервалів вимірювального обладнання.

При застосуванні методу автоматичного регулювання міжкалібрувальний інтервал розширюється, якщо виявлено, що невизначеність знаходиться в межах, наприклад, 80% від попередньо встановленої, або зменшується, якщо виявлено, що невизначеність перевищує попереднє значення. Цей метод, який відомий як «метод сходинок», дозволяє швидко регулювати інтервали. Після підготовки та оброблення звітів будуть відомі всі можливі проблеми, пов'язані з групою вимірювального обладнання, результати чого будуть свідчити про необхідність профілактичного обслуговування чи технічної зміни.

Незручність цього підходу полягає у тому що при його застосуванні кожний засіб вимірювального обладнання розглядається індивідуально. При цьому може виникнути складність рівномірного розподілу ресурсів під час проведення калібрування, що може вимагати детального планування.

При застосуванні методу контрольних діаграм вибираються ключові точки калібрування та раніше отримані результати, зібрані протягом певного періоду часу. На основі цих даних обчислюється дисперсія результатів і дрейф. Дрейф може бути обчислений як середній зсув за один інтервал між калібруваннями або, в разі дуже стабільних вимірювальних засобів, як зсув за декілька інтервалів. Інтервали обчислюються на основі даних, представлених на цих діаграмах.

Цей підхід складний у використанні та здебільшого можливий лише при автоматизованій обробці даних. Для його впровадження потрібне розуміння закону нестабільності засобів вимірювальної техніки або подібного обладнання. При застосуванні вказаного методу важко забезпечити рівномірний розподіл робочого навантаження. Однак при умові суттєвих відмінностей міжкалібрувальних інтервалів від попередньо зазначених, можна провести розрахунок надійності та теоретично визначити ефективний міжкалібрувальний інтервал.

При застосуванні методу «час експлуатації» міжкалібрувальний інтервал визначається в годинах експлуатації вимірювального обладнання. Вимірювальне обладнання піддається повторному калібруванню, якщо час експлуатації досягає певного значення. Перевага цього методу полягає в тому, що кількість калібрувань може змінюватися, що впливає на вартість процедури калібрування протягом періоду використання вимірювального обладнання. Відповідно до [3] існують певні недоліки вказаного методу визначення міжкалібрувальних інтервалів, серед яких наступні:

- метод не варто використовувати з пасивними засобами вимірювальної техніки (наприклад, з атенюаторами) або еталонами (наприклад, еталонами опору або ємності);

- метод не варто використовувати, якщо відомо, що вимірювальний засіб характеризується дрейфом або його метрологічні характеристики поступово погіршуються в разі його консервації або у випадку багаторазового умикання/вимкнення;

- якщо вартість підготовки та впровадження відповідних таймерів є високою, а враховуючи можливість впливу на них з боку користувача, необхідно встановити нагляд, що суттєво підвищить витрати;

- складність досягнення рівномірного розподілу робіт між фахівцями лабораторії, у порівнянні з вищенаведеними методами, оскільки відсутня будь-яка інформація про завершення міжкалібрувального інтервалу.

Метод перевіряння під час експлуатації чи тестування «чорним ящиком» представляє собою варіацію методів «автоматичного регулювання» та «контрольної діаграми», і він є більш придатним для комплексних засобів вимірювань або випробувальних стендів. Критичні параметри перевіряються регулярно (один раз на день або частіше) за допомогою портативного засобу калібрування або, бажано, «чорного ящика», створеного спеціально для перевірки конкретних параметрів. Якщо «чорний ящик» показує, що похибка засобу вимірювань перевищує допустимі межі, тоді цей засіб відправляється на повне калібрування.

Основною перевагою даного підходу є забезпечення найвищого рівня зручності для користувачів засобів вимірювань. Цей метод найбільш підходить для засобів вимірювань, які знаходяться віддалено від калібрувальної лабораторії, оскільки повне калібрування виконується тільки у випадку, коли точно відомо, що це дійсно необхідно. Однак складність цього підходу полягає у визначенні критичних параметрів і створенні «чорного ящика».

Хоча цей підхід теоретично досить надійний, він має свої недоліки, оскільки система вимірювання може працювати неправильно або характеризуватися великою похибкою, особливо при оцінці параметрів, які не контролюються безпосередньо «чорним ящиком». Крім того, характеристики самого «чорного ящика» можуть зазнавати змін, що також ставить під сумнів точність та надійність вимірювань.

При визначенні між калібрувальних інтервалів вимірювального обладнання

також можуть застосовуватися методи, які ґрунтуються на статистичному аналізі певного типу або конкретного вимірювального обладнання. Ці підходи набувають все більшої популярності, особливо коли їх використання поєднується з відповідним програмним забезпеченням.

Використовуючи статистичні методи, можливо переглянути міжкалібрувальні інтервали, якщо буде здійснено калібрування великої кількості ідентичних вимірювальних засобів.

Фахівцями калібрувальної лабораторії ДП «Івано-франківськостандарт-метрологія» здійснюється визначення міжкалібрувальних інтервалів для вимірювального обладнання за різними видами/підвидами вимірювання. Виходячи з практичного досвіду при визначенні міжкалібрувального інтервалу досить часто застосовується метод автоматичного регулювання або «сходинок», зокрема для мір фізичних величин.

При застосуванні даного методу щоразу, коли вимірювальне обладнання пройшло калібрування через встановлений інтервал часу, наступний інтервал може коригуватися наступним чином. Якщо встановлено, що відхилення показів вимірювального обладнання перебуває у встановлених границях, то міжкалібрувальний інтервал збільшується. Якщо визначено, що відхилення перевищує граничне значення, то міжкалібрувальний інтервал зменшується. Цей метод «сходінками» сприяє швидкому регулюванню інтервалів.

Критерієм для коригування міжкалібрувального інтервалу може бути параметр, що визначається за наступним виразом:

$$|K_i| = \frac{|X_1 - X_2|}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2}} \leq 1,$$

де X_1 , X_2 - відхилення показів або покази вимірювального обладнання за два останніх калібрування;

U_1, U_2 – розширена невизначеність вимірювання за два останніх калібрування.

Якщо $|K_i|$ знаходиться в межах від 0.90 до 1.00, то між калібрувальний інтервал залишають незмінним; якщо $|K_i|$ знаходиться в межах від 0.50 до 0.90, то міжквалібральний інтервал збільшують на 30 %; якщо $|K_i|$ знаходиться в межах від 0.30 до 0.50, то міжквалібральний інтервал збільшують на 70 %; якщо $|K_i|$ знаходиться

в межах від 0.01 до 0.30, то міжквалібральний інтервал збільшують на 100 %; якщо $|K_i| \geq 1$, то міжквалібральний інтервал необхідно зменшувати.

Наприклад, при визначенні міжквалібрального інтервалу міри довжини штрихової типу IV при застосуванні методу автоматичного регулювання або «сходинок», були отримані результати, що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Експериментальні дані та розрахунок міжквалібрального інтервалу міри довжини штрихової типу IV

№ п/п	Номинальне значення міри довжини штрихової	Відхилення середнього значення довжини міри довжини штрихової, згідно сертифікату калібрування № 1	Відхилення середнього значення довжини міри довжини штрихової, згідно сертифікату калібрування № 2	Розширена невизначеність вимірювання, згідно сертифікату калібрування № 1	Розширена невизначеність вимірювання, згідно сертифікату калібрування № 2	K_i
1	0-100	100,012	100,013	0,002	0,002	0,47
2	0-200	200,020	200,018	0,002	0,002	0,71
3	0-300	300,025	300,025	0,003	0,003	0,00
4	0-400	400,029	400,030	0,003	0,003	0,24
5	0-500	500,030	500,030	0,004	0,004	0,00
6	0-600	600,035	600,035	0,004	0,004	0,00
7	0-700	700,013	700,013	0,005	0,005	0,00
8	0-800	800,016	800,011	0,005	0,005	0,71
9	0-900	900,015	900,012	0,006	0,006	0,39
10	0-1000	1000,017	1000,018	0,006	0,006	0,12

За результатами експериментальних даних та розрахунків, наведених у таблиці 1, можна зробити висновок, щоб міжквалібральний інтервал для вказаної міри довжини штрихової можна збільшити.

Висновки

Зазначено, що з метою забезпечення метрологічної простежуваності та достовірності вимірювань важливим та актуальним питанням є визначення міжквалібральних інтервалів вимірювального обладнання.

Наведено та проаналізовано методи визначення міжквалібральних інтервалів вимірювального обладнання, що застосовується у калібрвальних та випробувальних лабораторіях.

Проведено розрахунки та наведено результати визначення міжквалібрального інтервалу для вимірювального обладнання (зокрема, міри довжини штрихової) при застосуванні методу автоматичного регулювання або «сходинок».

Список використаних джерел

1. Kepeshchuk T., Malisevych V., Pastushchyn L. Determination of calibration intervals of measuring equipment. Theses of reports XIX International Scientific and Technical Seminar "Uncertainty in Measurement: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects". December 7-8, 2022, P.13-14.
2. ILAC-P10:07/2020 ILAC Policy on Metrological Traceability of Measurement Results.
3. ILAC-G24/OIML D 10:2007 Guidelines to the determination of calibration intervals of measuring instruments.
4. Потоцький І.О. Новий підхід щодо визначення необхідності проведення калібрування вимірювального обладнання. Вимірювальна техніка та метрологія. 2018. Випуск 79 (2). С. 60-63.
5. EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2107 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
6. Порядок калібрування вторинних та робочих еталонів <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1000-20#Text>
7. ISO 10012:2003 Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment.
8. ISO 7870-2:2013 Control charts — Part 2: Shewhart control charts.
9. Methods of reviewing calibration intervals. Electrical Quality Assurance Directorate. Procurement Executive, Ministry of Defense. United Kingdom (1973).
10. Establishing and Adjustment of Calibration Intervals. NCSL Recommended Practice RP-1, 1996.
11. Pau, L.F.: Periodicite des Calibrations. Ecole Nationale Superieure des Telecommunications, Paris, 1978.

References

1. Kepeshchuk T., Malisevych V., Pastushchyn L. Determination of calibration intervals of measuring equipment. Theses of reports xix International Scientific and Technical Seminar "Uncertainty in Measurement: Scientific, Normative, Applied and Methodical Aspects". December 7-8, 2022, P.13-14.
2. ILAC-P10:07/2020 ILAC Policy on Metrological Traceability of Measurement Results..
3. ILAC-G24/OIML D 10:2007 Guidelines to the determination of calibration intervals of measuring instruments.
4. Pototskiy I. New approach to determining the need of measuring equipment calibration. Measuring Equipment and Metrology. 2018. Volume 79 (2). P. 60-63. [in Ukrainian]
5. EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2107 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
6. Procedure for calibration of secondary and working standards [https://zakon.rada.gov.ua /laws/show/z1000-20#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1000-20#Text) [in Ukrainian]
7. ISO 10012:2003 Measurement management systems – Requirements for measurement processes and measuring equipment.
8. ISO 7870-2:2013 Control charts — Part 2: Shewhart control charts.
9. Methods of reviewing calibration intervals. Electrical Quality Assurance Directorate. Procurement Executive, Ministry of Defense. United Kingdom (1973).
10. Establishing and Adjustment of Calibration Intervals. NCSL Recommended Practice RP-1, 1996.
11. Pau, L.F.: Periodicite des Calibrations. Ecole Nationale Superieure des Telecommunications, Paris, 1978.