ПРИЛАДИ

УДК 006.065
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/05

Прокопченко С.В.
Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

ПРАКТИЧНА ОЦІНКА МІЖКАЛІБРУВАЛЬНОГО ІНТЕРВАЛУ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Стаття присвячена розгляду міжкалібрувального інтервалу – максимального терміну, який може бути дозволений між послідовними калібруваннями випробувального обладнання, як першочергового елементу в системі ризик-менеджменту, що використовує випробувальна лабораторія в своїй діяльності відповідно до вимог ДСТУ 17025. З цією метою для оптимізації балансу ризиків та витрат під час проведення калібрування випробувального обладнання на постійній основі переглядають (коригують) тривалість міжкалібрувального інтервалу. Особливим аспектом є те, що калібрування випробувального обладнання необхідне для встановлення метрологічної простежуваності отриманих результатів, а засоби вимірювальної техніки необхідно калібрувати з метою оцінки цього впливу на результат.

На теперішній час наявна велика кількість настанов, які допомагають випробувальній лабораторії визначити міжкалібрувальний інтервал для кожного засобу вимірювальної техніки. Значно менше уваги приділено саме випробувальному обладнанню.

Автором в статті запропоновано методичні рекомендації з практичного досвіду щодо встановлення та коригування міжкалібрувальних інтервалів випробувальних кліматичних камер тепла та холоду, що використовують під час проведення випробувань продукції приладобудування на відповідність вимогам державних (національних) та міжнародних стандартів. Розглянуто застосування методу «сходинок» як найбільш практичного в діяльності випробувальної лабораторії, оскільки випробувальна лабораторія використовує зазвичай один екземпляр кожного типу або виду випробувального обладнання, іноді – два-три екземпляри, при відсутності загальної інформації щодо результатів використання цього типу устаткування.

Ключові слова: *загальні вимоги, калібрування, настанови щодо визначення, міжкалібрувальний інтервал, випробувальне обладнання.*

Постановка проблеми. Акредитовані випробувальні лабораторії (ВЛ) в Україні вже значний час використовують в своїй практичній діяльності термін та функцію «калібрування».

У Міжнародному словнику основних і загальних термінів у метрології (VIM 3) [1] надано таке визначення калібрування:

«2.39 калібрування – сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значеннями величини, що забезпечуються еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з повязаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювань з показу».

Ступінь обов'язковості калібрування регламентовано п. 6.4.6 ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 [2] (далі – ДСТУ 17025) та відповідно до політики ILAC з простежуваності результатів вимірювань [3] залежить від внеску невизначеності калібрування у загальну невизначеність випробування. Якщо калібрування випробувального обладнання (далі – ВО) необхідне для встановлення метрологічної простежуваності отриманих результатів, то засоби вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) необхідно калібрувати з метою оцінки цього впливу.

Зазвичай ВЛ повинна мати програму калібрування, яка переглядається та при необхідності коригується для підтримання довіри (впевненості) до статусу калібрування. Програма калібрування являється засобом встановлення та підтримки метрологічної простежуваності результатів вимірювань за допомогою задокументованого нерозривного ланцюга калібрувань, кожне з яких дає свій внесок у невизначеність вимірювання, пов'язуючи їх з відповідним еталоном [2].

Аналогічні вимоги наведено у п. 7.1.5.2 ISO 9001 [4], де зазначено, що якщо організація вважає простежуваність вимірювань суттєвим елементом гарантування впевненості у достовірності результатів вимірювань, то вимірювальне устаткування потрібно калібрувати та/чи перевіряти з установленою періодичністю або перед використанням, із застосуванням еталонів з наявними доказами простежуваності останніх.

Відповідно до п. 7.1.2 ДСТУ ISO 10012 [5], методи, що використовують для визначення чи зміни періодичності метрологічного підтверджування, потрібно описати з аналізом в задокументованих методиках. Одночасно з тим в ДСТУ ILAC-G 24/OIML D 10 [6] наведено лише загальний опис вимог до визначення можливих методів встановлення міжкалібрувальних інтервалів (далі – МКІ) та їх коригування.

На підставі зазначених нормативних документів та практичного досвіду діяльності ВЛ здійснено обґрунтування оцінки встановлення МКІ ВО, а саме – кліматичних камер тепла та холоду типу Tabai MC-71.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Шляхи і методи перегляду та коригування МКІ вивчали українські дослідники І. Потоцький [7]; В.Єременко, В. Мокійчук, О. Редько, О. Рамазанова-Стьопкіна [8], О. Волков, Р. Волков, К. Колобов, О. Лесик, С. Ричок [9]; І. Захаров, О. Новосьолов [10].

Зазвичай всі вони, в основному, розглядають питання пов'язані з МКІ ЗВТ, але завдання визначення та встановлення МКІ ВО заслуговує окремої уваги.

Постановка завдання. Метою статті є обґрунтування коригування МКІ камер випробувальних тепла та холоду типу Tabai MC-71, що використовуються ВЛ під час проведення випробувань продукції приладобудування, оскільки саме вплив підвищеної та зниженої температури є одним з основних чинників, що визначають нестабільність і деградацію параметрів будь-якого виробу.

Виклад основного матеріалу. ВЛ в своїй діяльності відповідно до вимог ДСТУ 17025 повинна сформувати систему ризик-менеджменту та застосовувати процес керування ризиками, що впершу чергу стосується ризиків по`язаних з ВО.

При експлуатуванні ВО необхідно виконувати *технічне обслуговування, зорієнтоване на забезпечення безвідмовності – метод функційного аналізування,* який дає змогу ідентифікувати політики, які треба запровадити для керування відмовами, щоб ефективно та результативно досягати необхідного рівня безпеки, готовності та економічності функціонування всіх типів устаткування [11].

Визначення МКІ – максимального терміну, який може бути дозволений між послідовними калібруваннями ВО, є важливим питанням в діяльності ВЛ. Для оптимізації балансу ризиків та витрат під час проведення калібрування ВО на постійній основі може бути здійснений перегляд МКІ, що впливає на його тривалість.

В процесі коригування МКІ необхідно обов'язково враховувати чинники зазначені в [6, 10], а саме:

1) заявлена ВЛ невизначеність вимірювання;

2) ризик перевищити межі максимально допустимої похибки ВО під час його експлуатування;

3) вартості коригування результатів вимірювання при виявленні невідповідності (впродовж певного часу) обладнання встановленим вимогам;

4) тип ВО та рік його виготовлення;

5) тенденції до зносу та дрейфу;

6) настанови з експлуатації (рекомендації) виробника ВО;

7) умови експлуатації та параметри довкілля (наявні кліматичні умови, механічні чинники, тощо);

8) дані щодо тенденцій (як негативних, так і позитивних) визначених з попередніх звітів про калібрування;

9) зареєстрована історія зберігання та технічного обслуговування ВО;

10) частота порівняння з іншими еталонами або аналогічним ВО;

11) частота та якість проміжного перевіряння між калібруваннями;

12) вимоги транспортування та ризики при транспортуванні;

13) кваліфікація персоналу, що обслуговує ВО.

Перегляд МКІ рекомендовано виконувати, якщо спочатку встановлені МКІ не дають бажаних оптимальних результатів у зв'язку з такими причинами, як наприклад:

1) ВО в процесі експлуатації може виявитись менш надійним, ніж очікувалось;

2) застосування ВО може бути іншим, ніж передбачалось;

3) проведення обмеженого калібрування деяких складових частин обладнання виявилось достатнім та доцільним, порівняно із проведенням повного калібрування;

4) дрейф, визначений при повторному калібруванні ВО може показати, що МКІ можуть бути змінені без збільшення ризиків, тощо.

Початкове рішення щодо оцінювання та визначення МКІ може спиратись на такі аргументи:

1) МКІ, що встановлені та рекомендовані метрологічними центрами під час надання послуг з проведення повірки ВО;

2) рекомендації виробників ВО.

Після визначення первинних МКІ можливе виконання їх коригування для оптимізації співвідношення ризиків і витрат ВЛ. Окремі рекомендації щодо оцінювання МКІ ВО розглянуті в наступних нормативних документах [13] – [18].

Відомий український вчений І.П. Захаров запропонував основні методи коригування МКІ [19], які наведено в таблиці 1.

В практичній діяльності для обґрунтування встановлення оптимального інтервалу часу між послідовними калібруваннями певних засобів ВО, що використовується ВЛ для кліматичних випробувань продукції приладобудування, частіше використовують метод «сходинки».

Зазначений метод найбільш враховує реалії діяльності ВЛ, оскільки ВЛ використовує зазвичай один екземпляр кожного типу і виду ВО, іноді – два-три екземпляри при відсутності загальної інформації щодо результатів використання цього типу ВО. Тому оцінка МКІ базувалась на використаних в практичній діяльності міркуваннях здорового глузду автора, з огляду на власний досвід, використання статистичного обліку в часі змін точності результатів вимірювань, низької інтенсивності використання ВО протягом року (близько 1000 годин за рік) та відсутності відмов ВО.

Наведемо наявну інформацію по ВЛ для проведення оцінювання МКІ:

а) метрологічна простежуваність ВЛ гарантовано тим, що:

– визначено величину, що підлягає вимірюванню – температура;

– задокументовано неперервний ланцюг калібрувань протягом 3-х років;

– під час калібрування кожен рік оцінювалась невизначеність встановлення (вимірювання) температури випробувальних камер тепла та холоду відповідно до стандартизованих верифікованих методів калібрування, що задовольняють ВЛ;

– компетентність калібрувальної лабораторії ДП «Укрметртестстандарт» згідно з вимогами

Таблиця 1

Основні методи коригування МКІ

№ з/п	Назва методу коригування МКІ	Переваги методу коригування МКІ	Недоліки методу коригування МКІ	Примітки
1	Автоматичне регулювання або «сходинка» (календарний строк служби) Метод 1.	Дозволяє виконувати оперативне регулювання МКІ	Важко підтримувати об'єм робіт по МКІ збалансованим та однорідним	
2	Контрольна карта (календарний строк служби). Метод 2.	Може бути отриманий оптимальний ефективний калібровочний інтервал	Важко застосовувати при наявності комплексу ЗВТ або ВО. Практично може бути використаний лише при автоматизованому обробітку даних	
3	«Використання» часу. Метод 3.	Кількість калібрувань та вартість калібрування залежить від терміну часу використання ЗВТ або ВО	Відсутня можливість виконати з пасивними ЗВТ (наприклад, атенюаторами) або еталонами (опір, ємність). Неможливо виконати, якщо ЗВТ (або ВО) дрейфують або вони знаходяться на зберіганні	Це варіація методів 1 та 2
4	Сервісна перевірка, або тестування методом «чорного ящику». Метод 4.	Максимальна доступність для користувача. Особливо рекомендований для складних ЗВТ або випробувальних консолей	Важко прийняти рішення щодо визначення критичних параметрів та проектування «чорного ящику»	Це варіація методів 1 та 2. Рекомендований для ЗВТ та ВО географічно віддалених від калібрувальної лабораторії
5	Інші статистичні підходи . Метод 5.	З успіхом застосовуються для калібрування великої кількості одинакових ЗВТ або ВО (тобто групи)	Необхідна наявність адекватного програмного забезпечення	

Примітка. Пояснення кожного методу надано в [13, 18].

ДСТУ 17025 підтверджено атестатом акредитації Національного агентсва з акредитації України;

б) згідно з рекомендаціями [14] здійснено первинне калібрування ВО до введення його в експлуатацію в складі всього обладнання ВЛ та проведена його верифікація з встановленням інтервалу калібрування 12 місяців як для ВО;

в) у ВЛ застосовано правило прийняття рішення за «методом точності» [19]. Тобто використовують метод оцінки з відомими показниками точності, а джерела невизначеностей зведено до мінімуму шляхом:

– використанням ЗВТ з максимально допустимими похибками, які містяться в певних межах;

– впливом на ВО навколишнього середовища, такі як температура та відносна вологість, що підтримуються у заданих межах;

– підтвердженим контролюванням лабораторних методик вимірювання;

– підтвердженою компетентністю персоналу, який проводить вимірювання;

г) Замовник, зазвичай, в технічній документації на продукцію наводить допуск встановлення температури в камері в межах $\pm$1°С;

д) відповідно до політики ILAC [3] з метою простежуваності результатів вимірювань все обладнання, що використовується для калібрувань, включаючи допоміжне обладнання (наприклад, для оцінки умов довкілля) та має вплив на точність або валідність результатів, повинно обов'язково бути відкаліброване;

е) рішення про те, які інтервали часу необхідно встановити між послідовними калібруваннями ВО, що використовуються у ВЛ, цілком полягає в компетенції керівництва ВЛ.

Об'єкт оцінювання: канал встановлення та вимірювання температури камер випробувальних тепла та холоду Tabai MC-71 (2 одиниці). Базисом для оцінювання є статистичні дані із сертифікатів про калібрування за 2021–2023 роки наведені в таблиці 2.

Крім каналу встановлення та вимірювання температури камер випробувальних тепла та холоду Tabai MC-71 ВЛ при випробуваннях застосовує 2 додаткових шляхи контролю температури з використанням скляних кутових термометрів типу Labortherm-N та термогігрометра цифрового EZODO HT-380. Тобто, ризик щодо отримання

Таблиця 2

Інформація за результатами калібрувань

Задана температура, °С	Середнє значення показів еталону, °С	Різниця, °С	Розширена невизначеність, °С	Максимальна похибка за технічною документацією на ВО, °С	Максимальне відхилення від максимальної похибки, %
Tabai MC-71, № 1 Калібрування в 2021 році					
-20,00	-20,50	0,50	0,74	+/-1	37,0
0,00	0,30	-0,30	0,52	+/-1	26,0
40,00	40,70	-0,80	1,03	+/-1	51,5
Tabai MC-71, № 1 Калібрування в 2022 році					
-20,00	-20,40	0,40	0,53	+/-1	26,5
0,00	-0,40	0,40	0,64	+/-1	32,0
50,00	50,70	-0,70	0,91	+/-1	45,5
Tabai MC-71, № 1 Калібрування в 2023 році					
-20,00	-20,30	0,30	0,51	+/-1	25,5
0,00	-0,40	0,40	0,68	+/-1	34,0
50,00	49,60	0,40	0,69	+/-1	34,5
Tabai MC-71, № 2 Калібрування в 2021 році					
-20,00	-20,50	0,50	0,68	+/-1	34,0
0,00	0,40	-0,40	0,64	+/-1	32,0
50,00	50,60	-0,60	0,86	+/-1	43,0
Tabai MC-71, № 2 Калібрування в 2022 році					
-20,00	-20,60	0,60	0,79	+/-1	39,5
0,00	0,40	-0,40	0,67	+/-1	33,5
50,00	50,70	-0,70	0,92	+/-1	46,0
Tabai MC-71, № 2 Калібрування в 2023 році					
-20,00	-19,96	-0,04	0,78	+/-1	2,0
0,00	-0,62	0,62	0,79	+/-1	31,0
50,00	49,02	0,98	0,79	+/-1	49,0

Таблиця 3

Результат розрахунку МКІ ВО

Тип ВО та роки калібрування	Максимальна допустима похибка (по модулю)	Максимальна допустима похибка згідно з результатами калібрування (по модулю)	Відсоткове відношення максимальної похибки згідно з результатами калібрування до максимальної допустимої похибки (по модулю)	Висновок (X<80% або X=80% або X> 80%)	Початковий МКІ	Розрахований МКІ
Tabai MC-71, № 1 (2021-2023)	2°C	0,8°C	100%×0,8/2= 40%	Збільшити на 50% (< 80%)	12 місяців	18 місяців
Tabai MC-71, № 2 (2021-2023)	2°C	0,7°C	100%×0,7/2= 35%	Збільшити на 50% (< 80%)	12 місяців	18 місяців
Tabai MC-71, № 1 (2021-2023)	2°C	0,7°C	100%×0,7/2= 35%	Збільшити на 50% (< 80%)	12 місяців	18 місяців
Tabai MC-71, № 2 (2021-2023)	2°C	0,98°C	100%×0,98/2= 49%	Збільшити на 50% (< 80%)	12 місяців	18 місяців

недостовірних результатів вимірювань як наслідок виникнення раптової несправності каналу встановлення та вимірювання температури камер випробувальних тепла та холоду типу «Tabai» MC-71, а також з врахуванням правила прийняття рішення у ВЛ щодо вимірювання температури – *мінімальний.*

Для камер випробувальних тепла та холоду Tabai MC-71, (канал встановлення та вимірювання температури) максимальна похибка за технічною (експлуатаційною) документацією не перевищує ±1,00°C (допуск).

За результатом оцінювання можливості коригування МКІ камер випробувальних тепла та холоду «Tabai» MC-71 (канал встановлення та вимірювання температури) визначено доцільність застосування автоматичного коригування інтервалу калібрування (використання методу «сходинки» для календарного часу). Кожного разу коли ВО калібрують звичайним чином, наступний інтервал збільшують (розширюють), якщо виявляють, що покази каналу встановлення та вимірювання температури камер випробувальних тепла та холоду типу «Tabai» MC-71 знаходяться у межах 80% від максимально допустимої похибки, або зменшують, якщо визначено, що похибка виходить за межі максимально допустимої похибки.

Для прийняття обґрунтованого рішення застосовують критерій:

X < 80% – МКІ збільшують на 50% (6 місяців) у порівнянні з початковим значення;

X = 80% – МКІ не змінюють;

X > 80% – МКІ зменшують на 50% (6 місяців) у порівнянні з початковим значення.

В наведеному прикладі всі значення максимального відхилення від максимальної похибки знаходяться в межах (24,0–60,0)%.

Результат розрахунку МКІ камер випробувальних тепла та холоду Tabai MC-71 за 3 роки, з мінімізацією можливого ризику щодо отримання недостовірних результатів вимірювань, наведено в таблиці 3.

Висновки. Наявність звітів із результатами розрахунку та обґрунтуванням МКІ є документальним підтвердженням ведення ВЛ належного контролю за метрологічним статусом кожної одиниці ВО. Запропоновані методичні рекомендації коригування МКІ призначені для тих спеціалістів, хто займається метрологічним забезпеченням ВО в рамках сфери акредитації ВЛ, проте не має достатньої наукової бази в області математичної статистики, але вимушений у стислі строки приймати рішення стосовно ефективності користування та коригування МКІ. На думку автора, представлені в статті рекомендації дозволяють ефективно використовувати ресурси на метрологічне забезпечення та полегшити співпрацю між лабораторіями щодо обміну інформацією і досвідом.

Список літератури:

1. Міжнародний словник основних і загальних термінів в метрології. – http://www.oiml.org/publications/V/V002-200-e10.pdf.

2. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій ДСТУ ISO/IEC 17025:2019 (EN ISO/IEC 17025:2017, IDT; ISO/IEC 17025:2017, IDT). – [Чинний з 2019-12-23]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 23 с. – (Національний стандарт України).

3. ILAC Policy on the Traceability of Measurement Results: ILAC P10:01/2013. – 10 p. – http://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series

4. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT): ДСТУ ISO 9001:2015. – [Чинний з 2016-07-01]. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 31 с. – (Національний стандарт України).

5. Системи керування вимірюваннями. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання (ISO 10012:2003, IDT): ДСТУ ISO 10012:2005. – [Чинний з 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 25 с. – (Національний стандарт України).

6. Метрологія. Настанови щодо визначення міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки (ILAC-G24/OIML D10:2007, IDT): ДСТУ ILAC-G24/OIML D10:2013. – [Чинний з 2014-07-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 6 с. – (Національний стандарт України)/

7. І.О. Потоцький «Методи встановлення інтервалів калібрування еталонів та засобів вимірювальної техніки»: дис. Київ, 2020. – 147 С.

8. В.С. Єременко, В.М. Мокійчук, О.А. Рамазанова-Стьопкіна, О.О. Редько Національні особливості калібрування, с. 12-18, Український метрологічний журнал. 2017, № 4.

9. О.Ф. Волков, Р.О. Волков, К.С. Колобов, О.С. Лесик, С.О. Ричок Розрахунок міжкалібрувальних інтервалів засобів вимірювальної техніки, с. 11-13, Автомобільний транспорт, № 5 (247), жовтень 2015 року.

10. І.П. Захаров, О.А. Новосьолов. Визначення калібрувальних та вимірювальних можливостей калібрувальної лабораторії в процесі її акредитації, с. 3-11, Український метрологічний журнал. 2017, № 4.

11. Н.В. Топчій Аналіз ризиків у випробовувальній лабораторії органу оцінки відповідності. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки» Том 31 (70). № 6, 2020, С. 1-5.

12. ДСТУ 6044:2008 «Метрологія. Міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки. Основні положення і вимоги до установлення».

13. Метрологія. Методи визначення міжповіркового та міжкалібрувального інтервалів засобів вимірювання (РМГ 74–2004, IDT): ДСТУ-Н РМГ 74:2009. –[Чинний з 2010-04-01]. – К.: Держспоживстандарт України.

14. МЕК CTL-OP 111 Ed. 2.0, 2011, «Вимоги до простежуваності калібрувань та до інтервалів калібрування».

15. GMP 11 Рекомендації Національної Конференції Еталонних Лабораторій, (NCSL) США.

16. ДСТУ ISO 31000:2018 (ISO 31000:2018, IDT) ISO 31000:2018 IDT Менеджмент ризиків. Принципи та настанови.

17. ДСТУ ISO/TR 31004:2018 (ISO/TR 31004:2013, IDT) ISO/TR 31004:2013 IDT Менеджмент ризиків. Настанова з впровадження ISO 31000;

18. І.П. Захаров «Калібрування-17025», Довідковий посібник, видання 4, Харків, 2018, 87 с.

19. International Electrotechnical Commission. IEC Guide 115 Application of uncertainty of measurement to conformity assessment activities in the electrotechnical sector. 2007. Edition 1.0.

20. МКУ 105-24/03-2015 «Метрологія. Випробувальне та лабораторне термообладнання. Методика калібрування»

Prokopchenko S.V. PRACTICAL EVALUATION OF THE INTERCALIBRATION INTERVAL OF THE TEST EQUIPMENT

The article is devoted to the At present, there are a large number of guidance documents that help the testing laboratory to determine the inter-calibration interval for each measuring instrument. To ensure confidence in the reliability of the measurement results, they propose to calibrate and/or check the measuring equipment (test equipment) at set intervals or to use standards with available evidence of traceability of the latter before use.

The revision of the calibration intervals of the test equipment is carried out on the basis of continuous calibration in order to optimize the balance of risks and costs, which affects its duration.

The authors, on the example of test climatic chambers of heat and cold, conduct tests of instrumentation products for compliance with national and international standards, offer methodological recommendations for the establishment and adjustment of inter-calibration intervals. The list of current normative documents is considered and the conditions for changing the inter-calibration interval are determined. Since the test laboratory usually uses one copy of each type and type of test equipment, very rarely – two or three copies, without access to the results of the type test, the method of "steps" (calendar time) is used. Each time the instrument is calibrated normally, the next interval increases (expands) if it is found that the instrument is within 80% of the maximum permissible error or decreases if it is determined that the error is outside the maximum permissible error (results are shown in Table 2).

The proposed guidelines for adjusting the intercalibration intervals are intended for those who are engaged in metrological support of test equipment in the field of accreditation of testing laboratories, but do not have a sufficient scientific basis in mathematical statistics, but have to understand the effectiveness of the intercalibration interval.

Key words: *general requirements, calibration, guidelines for the determination, interval adjustment, testing equipment.*