

УДК 681.5:536.51

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПОВІРКИ ЛАБОРАТОРНИХ ТЕРМОМЕТРІВ

Козлов Ю.В., Зубко Є.С.

e-mail: yurii.kozlov@nure.ua, e-mail: yehor.zubko@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІВТ
м. Харків, Україна

This paper discusses the automation of laboratory thermometer calibration, focusing on the reliability and accuracy of mercury thermometers, which remain essential in various scientific and industrial applications. Despite environmental restrictions, these thermometers are still used where high precision is required. The study proposes automating the calibration process by replacing manual reading with an optical system and a digital thermostat, ensuring stable measurement conditions.

Ртутні термометри протягом багатьох років залишаються важливим інструментом точного вимірювання температури. Незважаючи на розвиток електронних технологій, вони й досі використовуються в сферах, де альтернативні методи не можуть забезпечити таку ж стабільність і надійність. Їхня головна перевага – незмінність характеристик протягом десятиліть. На відміну від електронних приладів, які потребують регулярного калібрування та з часом можуть змінювати свої параметри, ртутні термометри зберігають точність без необхідності складного обслуговування.

Сьогодні їх застосовують у метрології, кріогенній техніці, нафтохімічній промисловості та наукових дослідженнях, де важливо гарантувати достовірність вимірювань у найскладніших умовах. У метрологічних інститутах вони залишаються еталонними приладами в певних діапазонах температур, забезпечуючи стабільність показань під час градування інших термометрів. У кріогенних умовах ртуть витримує екстремально низькі температури, тоді як електронні датчики можуть давати збої. В агресивних хімічних середовищах ртутні термометри надійніші за багато цифрових аналогів, оскільки не бояться впливу речовин, які можуть пошкодити чутливі елементи електроніки.

Хоча в багатьох країнах заборонено виробництво ртутних термометрів з екологічних причин, їхнє використання зберігається в галузях, де поки що не знайдено рівноцінної заміни. Повна відмова від ртуті можлива лише після створення альтернатив, що забезпечать таку ж точність, стабільність і довговічність. Поки цього не сталося, ртутні термометри залишаються незамінними у спеціалізованих сферах, де помилки у вимірюваннях можуть призвести до серйозних наслідків. Однак для забезпечення їх точності важлива правильна повірка. Ці термометри повіряються за методикою МПУ 411/06-2015 [1,2]

При проведенні повірки повинні бути виконання такі дії:

1. Зовнішній огляд.
2. Контроль абсолютної похибки.

При проведенні зовнішнього огляду перевіряють відповідність зовнішнього вигляду, комплектності, маркування, та пакування термометрів вимогам нормативно-технічної документації, а саме:

– рідина у капілярі не повинна розриватися на частини, які не можна з'єднати і не повинна залишати слідів на стінках капіляру;

– на резервуарі і оболоні термометра не повинно бути подряпин, забруднень та інших дефектів, що впливають на міцність або затрудняють зняти покази;

– шкальна пластина повинна бути зафіксованою.

Абсолютну похибку термометрів визначають методом безпосереднього порівняння показів термометрів з показами робочого еталону в термостаті. Її визначають за трьома значеннями температури, що відповідають нижній межі, середині, та верхній межі діапазону вимірювань термометра.

Термометри, що повіряють та робочий еталон встановлюють в термостат у вертикальному положенні. Глибина занурення робочого еталону – до мітки, що відповідає температурі в термостаті, термометрів, що повіряють – до плечиків. Встановлюють в термостаті температуру, що відповідає нижній межі діапазону вимірювань термометра. Після стабілізації температури в термостаті витримати термометри не менше трьох хвилин, після чого термометри вийняти з термостата і за горизонтального або нахиленого положення провести зняття показів.

Повторюють ці операції за значень температури, що відповідають середині та верхній межі діапазону вимірювань термометра.

Абсолютну похибку визначають в градусах Цельсія за формулою:

$$\Delta t = t_{\text{пт}} - t_{\text{ре}},$$

де $t_{\text{пт}}$ – покази термометра, °С;

$t_{\text{ре}}$ – покази робочого еталона, °С.

Результат операції повірки вважають позитивним, якщо значення абсолютної похибки знаходиться в границях допустимої похибки, регламентованої в нормативному документі.

Засоби вимірювальної техніки, які застосовуються при проведенні повірки, повинні бути каліброваними в установленому порядку

У якості основних і допоміжних засобів повірки та додаткового обладнання використовуються:

- еталон – термометр у якого співвідношення між розширеною невизначеністю вимірювань та максимально допустимої похибкою термометра, що повіряється, не менше ніж один до трьох;

- водяний термостат Julabo FK-31, градієнт температури по об'єму та амплітуда коливань температури в робочому об'ємі не повинні перевищувати 0,02 °C протягом часу повірки;

- гігрометр психометричний ВИТ-2 за ТУ У 14307481.001-92, діапазон вимірювань температури від 15 °C до 40 °C, границі абсолютної похибки термометрів $\pm 0,2$ °C, діапазон вимірювань відносної вологості від 54 % до 90 %, границі допустимої абсолютної похибки ± 7 %;

- витяжна шафа ШВ-1, швидкість руху повітря робочому прорізі повинна бути не менше 0,7 м/с;

- секундомір СОПр-2а-2-010 за ТУ 25-1894.003-90, границі допустимої абсолютної похибки ± 07 с за 30 хв.

Ідея роботи полягає в автоматизації людських дій і усуненні суб'єктивних похибок під час повірки лабораторних термометрів. Зовнішній огляд буде здійснювати так само людина, але контроль абсолютної похибки буде автоматизовано. Замість ручного зчитування буде використовуватися оптична система, яка автоматично визначає показання, а цифровий термостат буде забезпечувати стабільні умови вимірювання. Програмне забезпечення буде аналізувати отримані дані, порівнювати їх з еталонними значеннями та формувати звіт.

Пропонується використовувати термостат Julabo FK-31 із цифровим керуванням, що підтримує стабільну температуру з коливаннями не більше $\pm 0,01$ °C, що виключає зовнішні впливи. Для зчитування показань використовується камера Basler acA1920-155um з роздільною здатністю 1920×1200 пікселів та алгоритмом обробки OpenCV, який визначає рівень рідини в капілярі термометра з точністю до 0,05 °C.

Програмне забезпечення на базі Python аналізує отримані дані, порівнює їх із показниками робочого еталона та формує звіт. Всі результати будуть зберігатися в цифровому архіві у форматі CSV, що дозволить їх перевіряти та відстежувати зміни метрологічних характеристик.

Система повністю відповідає вимогам МПУ 411/06-2015, а використані компоненти – сертифіковані згідно з чинними метрологічними стандартами. Це дозволяє суттєво зменшити час повірки, виключити людський фактор і забезпечити стабільно високу точність процесу.

Список використаних джерел:

1. Про затвердження Норм часу, необхідного для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації: наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 21.12.2015 р. №1719. №з/п 462. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0051-16> (дата звернення: 28.02.2025).

2. Методика повірки МПУ 411/06-2015.