

Висновки. Застосування удосконаленої авторами методики розрахунку товщини шару теплоізоляції дає можливість виконати проектування вузлів обліку відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.586.1–2007 [3] та усунути додаткові систематичні похибки вимірювання витрати газу, зумовлені впливом температурного режиму потоку газу.

Методика пропонується для застосування в організаціях, які займаються проектуванням, монтажем та експлуатацією вузлів обліку природного газу.

1. Матіко Ф. Д., Федоришин Р. М. Вплив температурного режиму газопроводу на точність вимірювання витрати природного газу методом змінного перепаду тиску // Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – 2008. – № 617. – С. 100–108. 2. Федоришин Р. М. Підвищення точності вимірювання об'єму природного газу за допомогою пристроїв звуження потоку в системах з підігрівом газу: автореф. дис. к.т.н.: 05.11.01 / Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – Львів, 2007. – 20 с. 3. ДСТУ ГОСТ 8.586.1–2007 Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования. 4. СНиП 41-03-2003 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. 5. СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов. 6. Хоменко В.П., Фаренюк Г.Г. Справочник по теплозащите зданий. – К.: Будівельник, 1986. – 216 с. 7. ГОСТ 30319.3-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств по уравнению состояния. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 27 с.

УДК 621.32; 536.2

Р.П. Дяк², В.О. Яцук¹, П.Г. Столярчук¹

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації;

²Лабораторія вимірювальної техніки ЛКП “Залізничнетеплоенерго”

МОЖЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИПРОБУВАНЬ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОПОРУ ПІД ЧАС МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ТЕПЛОЛІЧІЛЬНИКІВ

© Дяк Р.П., Яцук В.О., Столярчук П.Г., 2009

Перевірка абсолютної похибки термоперетворювачів опору зазвичай здійснюється з використанням потенціометричної устави і характеризується високою трудомісткістю процесу та складністю його автоматизації. Проаналізовано напрями і розроблено структурну схему автоматизації перевірки термоперетворювачів опору під час метрологічних випробувань теплолічильників. Запропоновано використовувати у метрологічних вимірюваннях багатоканальні цифрові омметри з автоматичним коригуванням похибок та систем збирання–передавання даних через стандартні інтерфейси.

The absolute error of resistance thermometers checking is usually done by means of a potentiometric installation. High labour-consumption of the procedure and complication of automatization are the disadvantages of this method. The analysis of ways and developing of the method and structural scheme for computer-aided test of resistance of thermal transformers during metrological probation of thermal counters is researched in the paper. It is recommended to use digital ohmmeters using transferring – receiving of information through the standard interfaces during metrological probation.

Вступ. Вимірювання температури та різниці температур є однією з найважливіших процедур під час метрологічної перевірки загальнобудинкових теплолічильників. Контроль абсолютної похибки термоперетворювачів опору (ТО) здійснюється за ГОСТ 8.461 зазвичай за допомогою

потенціометричної устави. Недоліком цього методу є велика трудомісткість процедури та складність автоматизації через необхідність використання нуль-термостата та парового термостата, стабілізації та вимірювання значень робочого струму ТО та підрахунку вимірюваного значення опору ТО. За умов наявності, окрім нуль-термостата та парового термостата, ще й термостата, у якому може бути відтворене стабільне на час вимірювань, але не зовсім точне значення температури посередині між потрібною точкою води та температурою її кипіння, вимірюють значення опору ТО при цих трьох температурах та значення середньої температури. З отриманої системи трьох рівнянь визначають опір R_0 при 0°C та коефіцієнти A і B температурної залежності опору ТО, з якої можуть бути розраховані значення будь-якої з температур у діапазоні вимірювання. Цей метод використовується для визначення встановлюваних значень різниць температур під час метрологічної перевірки.

Достатньо зручним в практиці є метод з використанням еталонного ТО, термостата із стабільними, але не дуже точно відомими значеннями температури та цифрового омметра або термометра, вихід якого під'єднується до пристрою керування (ПК), наприклад, персонального комп'ютера або мікропроцесорного контролера.

З освоєнням серійного виготовлення цифрових прецизійних рідинних термостатів типу ТСР-0105 НО з діапазоном термостатування $(0\dots100)^\circ\text{C}$, дискретністю задання значень температури $0,01^\circ\text{C}$, межею допустимих значень основної похибки вимірювання та відтворення температури $\pm 0,02^\circ\text{C}$ і можливістю дистанційного управління з'явилися передумови істотного спрощення процедури автоматизації випробувань ТО під час метрологічної перевірки теплолічильників [1].

Результат операції метрологічної перевірки вважається позитивним, якщо абсолютна похибка ТО з номінальною статичною характеристикою (НСХ) Pt 50, Pt 100, Pt 500, Pt 1000 (або іншою НСХ, використаною у теплолічильнику) за ДСТУ 2858-94 відповідає класу точності («А» або «Б»), поданому в паспорті на ТО.

Основним недоліком поданих вище методів метрологічної перевірки ТО є здійснення її в неавтоматичному режимі, що зменшує її продуктивність та об'єктивність.

Постановка задачі досліджень. Метою цієї статті є аналіз шляхів та розроблення способу і структурної схеми для автоматизованих випробувань ТО під час метрологічної перевірки загальнобудинкових теплолічильників.

Під час метрологічної перевірки теплолічильників значення похибки вимірювання температури або ж різниці температур повинно контролюватися в декілька разів точніше від межі допустимих значень їхніх похибок [2]. Якщо враховувати похибку підтримання температури в термостаті, то для ТО НСХ Pt 500 класу «А» значення похибки вимірювання температури в діапазоні $(0\dots100)^\circ\text{C}$ не повинно перевищувати $\pm[(0,01\dots0,03) \dots (0,07\dots0,12)]^\circ\text{C}$, або $\pm[(0,02\dots0,06)\dots(0,20\dots0,34)]$ Ом, або $\pm[(0,004\dots0,01) \dots (0,03\dots0,05)]\%$. Очевидно, що під час випробування ТО повинні під'єднуватися до цифрового омметра (ЦО) тільки чотиридротовою лінією зв'язку. Такі високі вимоги до точності вимірювання електричного опору R_X ТО вимагають використання спеціальних багатоканальних прецизійних омметрів.

Обґрунтування вибору методу вимірювання опору ТО. Очевидно, що для автоматизації випробувань ТО під час метрологічної перевірки доцільно використовувати цифрові омметри з передаванням–прийманням інформації через стандартні інтерфейси. Зазвичай функція перетворення цифрових засобів вимірювання апроксимується двочленною моделлю $N_X = k_A R_X(1+b) + a$, де N_X – значення коду результату вимірювання; k_A – коефіцієнт перетворення опір–код; R_X – значення вимірюваного опору ТО; a , b – відповідно адитивна складова похибки (АСП) та коефіцієнт мультиплікативної складової похибки (МСП) омметра. Вважається, що для задоволення сформульованих вище вимог до точності функцію перетворення ЦО треба апроксимувати тричленною квадратичною моделлю

$$N_X = k_A R_X(1 + b + cR_X) + a, \quad (1)$$

де c – коефіцієнт квадратичної складової похибки (КСП) ЦО.

Невідомими у співвідношенні (1) є чотири складові R_X , b , c , a , для визначення яких необхідно мати чотири рівняння. Серед усіх складових похибки цифрових приладів домінує зазвичай АСП, для автоматичного коригування якої може використовуватися нескладний у практичній реалізації метод модуляції вимірювальних струмів [3–5]. У результаті кількість невідомих у виразі (1) скоротиться до трьох. З бігом часу та під час змін умов довкілля значення коефіцієнтів b і c можуть істотно змінюватись і тому доцільно передбачити періодичне калібрування ЦО під'єднанням двох зовнішніх прецизійних мір з опорами R_{M1} та R_{M2} до входу ЦО чотириполюсним комутатором

$$\begin{cases} N_{M1} = k_A R_{M1} (1 + b + cN_{M1}) \\ N_{M2} = k_A R_{M2} (1 + b + cN_{M2}) \end{cases}, \quad (2)$$

де N_{M1} , N_{M2} – коди результатів вимірювання опорів R_{M1} , R_{M2} зовнішніх мір відповідно.

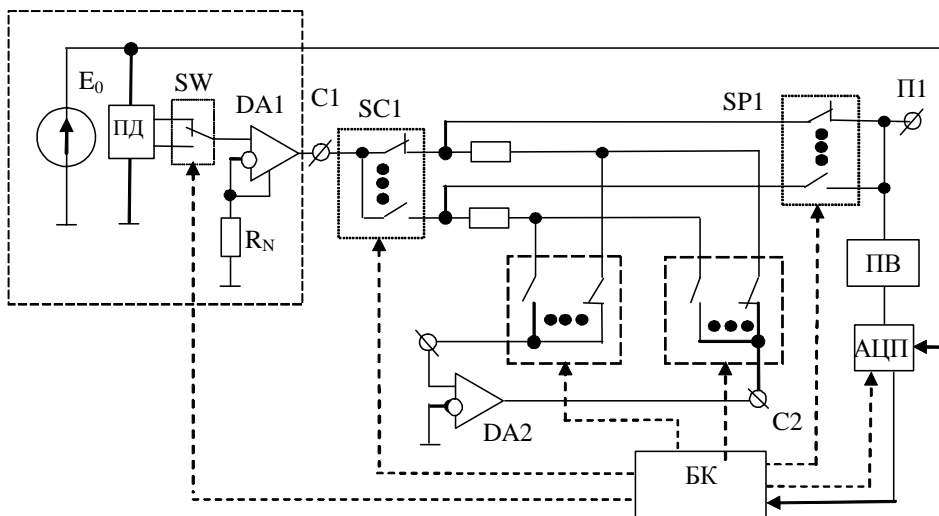
Із системи рівнянь визначаємо

$$c = \left(\frac{N_{M1}}{k_A R_{M1}} - \frac{N_{M2}}{k_A R_{M2}} \right) (N_{M1} - N_{M2})^{-1}, \quad (3)$$

$$b = \frac{N_{M1}}{k_A R_{M1}} - 1 - \left(\frac{N_{M1}}{k_A R_{M1}} - \frac{N_{M2}}{k_A R_{M2}} \right) \frac{N_{M1}}{N_{M1} - N_{M2}}. \quad (4)$$

Значення коефіцієнтів b та c зберігатимуться у пам'яті пристрою керуванням омметром і використовуватимуться під час розрахунку скоригованих значень вимірюваних кодів перетворень в робочих умовах експлуатації. Періодичність калібрувань визначатиметься швидкістю зміни з плином часу значень коефіцієнтів b і c із зміною умов довкілля і її найдоцільніше встановити експериментально для кожного з виготовлених прецизійних багатоканальних омметрів.

Структура багатоканального прецизійного омметра. Комплексу сформульованих вище вимог відповідає структурна схема розробленого багатоканального прецизійного омметра (див. рисунок), в якій використано чотиридротове під'єднання вимірюваних резисторів R_{X1}, \dots, R_{Xn} , метод коригування АСП з модуляцією вимірювальних струмів I_1 та I_2 [3, 5]. Генератор модуляційних струмів ГС реалізований на базі операційного підсилювача (ОП) DA1, охопленого від'ємним зворотним зв'язком через опір навантаження та струмозадавальний резистор R_N [6, 7]. Напряга модуляції формується за допомогою поділу опорної напруги E_0 з допомогою подільника ПД почерговим під'єднанням його виходів через перемикач SW до входу ОП DA1. Кожен із n чотиридротових вимірювальних резисторів R_{X1}, \dots, R_{Xn} чотирма n -входовими комутаторами каналів SC1, SP1, SC2, SP2 почергово під'єднуються до пари струмових C_1, C_2 та пари потенціальних Π_1, Π_2 входів ЦО.



Структурна схема багатоканального прецизійного омметра для випробувань термоперетворювачів опору

Малі значення комутованих вимірювальних струмів та спадів напруг на ТО дають змогу вибрати КМДН–ключі для реалізації струмових SC1, SC2 та потенціальних комутаторів SP1, SP2. Окрім того, власне відсутність у комутованих вимірювальних колах залишкових напруг дає принципову змогу реалізації комутаторів з невеликими значеннями похибок [3]. Зворотні струми ключів можуть спричинити достатньо великі за значеннями похибки під час вимірювання опорів R_{X1}, \dots, R_{Xn} . Однак за допомогою комутації вимірювальних струмів значення цієї похибки коригується. Із урахуванням зворотних струмів ключів комутаторів значення вхідних напруг АЦП при різних значеннях I_1, I_2 вимірювальних струмів знайдемо як [8]

$$U_{Aj1} = I_1 R_{Xj} + \Delta\alpha, \quad (5)$$

$$U_{Aj2} = I_2 R_{Xj} + \Delta\alpha, \quad (6)$$

де U_{Aj1}, U_{Aj2} – вхідні напруги АЦП при вимірювальних струмах I_1, I_2 , відповідно, у j -му увімкненому каналі; R_{Xj} – значення вимірювального опору в j -му замкненому каналі;

$$\Delta\alpha = R_{Xj} \sum_{j=1}^n I_{cj1} + R_{Xj} (I_{vj1} + I_{cj2}) + (R_{kj2} + R_{n1} + R_{Xj}) \sum_{j=1}^n I_{vj2} + (R_{\Pi2} + R_{kj4}) \sum_{j=1}^n I_{vj4} + \\ + I_{BX}^+ (R_{kj2} + R_{\Pi1} + R_{Xj}) + e_{\Pi B} + I_{BX}^- (R_{kj4} + R_{\Pi2}) + e_2$$

– еквівалентна АСП ЦО;

I_{C11}, I_{C12} – зворотні струми переходів стік–підкладка j -х замкнених ключів комутаторів відповідно SC1, SP1; $I_{V11}, I_{V12}, I_{V14}$ – зворотні струми переходів витік–підкладка j -х замкнених ключів комутаторів відповідно SC1, SP1, SP2; $I_{BX}, e_{\Pi B}$ – вхідний струм неінвертувального входу та напруга зміщення повторювача напруги ПБ; I_{BX}, e_2 – вхідний струм інвертувального входу та напруга зміщення ОП DA2.

Код результату вимірювання N_j опору R_{Xj} знайдено як різницю кодів N_{Xj1} та N_{Xj2} результатів аналого-цифрових перетворень [7]

$$N_{Xj1} = k_{AD} \frac{U_{Aj1}}{E_O + \Delta_{AD}}, \quad (7)$$

$$N_{Xj2} = k_{AD} \frac{U_{Aj2}}{E_O + \Delta_{AD}}, \quad (8)$$

$$N_{Xj} = N_{Xj1} - N_{Xj2} = k_A \frac{U_{Aj1} - U_{Aj2}}{E_O + \Delta_A} = k_A \frac{(I_1 - I_2) R_{Xj}}{E_O + \Delta_A}, \quad (9)$$

де k_{AD}, Δ_A – відповідно коефіцієнт перетворення та АСП АЦП.

Значення вимірюваних струмів I_1, I_2 знаходять за співвідношенням [7]

$$I_1 = \frac{m_1 E_O e_1}{R_N}, \quad (10)$$

$$I_2 = \frac{m_2 E_O + e_1}{R_N}, \quad (11)$$

де m_1, m_2 – коефіцієнт перетворення подільника напруги ПД; e_1 – еквівалент АСП ОП DA1.

З урахуванням (10) та (11) співвідношення (9) подамо виразом

$$N_{Xj} = \frac{K_{AD} (m_1 - m_2) R_{Xj}}{1 + \Delta_{AD} / E_O} \cdot \frac{R_{Xj}}{R_N}. \quad (12)$$

З аналізу виразу (12) можна зробити висновок, що результат вимірювання опору не залежатиме від АСП тракту перетворення та залишкових параметрів ключів комутаторів. За умови забезпечення високих вихідних опорів генератора струму ГС та вхідних опорів повторювача напруги та ОП DA2 результат вимірювання електричного опору ТО не залежатиме від опорів з'єднувальних ліній та замкнених ключів комутаторів SC1, SP1, SC2, SP2. Сьогодні ця умова достатньо просто виконується на практиці.

У структурі ЦО передбачена можливість під'єднання двох калібрувальних резисторів, періодичне вимірювання значення опору яких та запропонований алгоритм опрацювання результатів перетворень дадуть змогу скоригувати МСП та КСП розробленого багатоканального прецизійного омметра.

Висновки. Розроблена структура прецизійного омметра може бути реалізована з використанням сучасної мікроелектронної бази та інформаційних технологій для передавання цифрової інформації до пристрою керування ПК. За умови використання сучасних персональних комп'ютерів та відповідного програмного забезпечення розроблена структура може використовуватись для автоматизації усіх вимірювальних процедур під час випробувань термперетворювачів опору під час метрологічної перевірки загально будинкових теплотільників.

1. Дяк Р.П., Терех М.В. *Повірка термперетворювачів опору з використанням прецизійного термостата ТСП – 0105 НО Матеріали VI МНПК «Теплодооблік-2008».* – К.: Укрметртестстандарт, 2008. – С.216–220. 2. Дяк Р.П., Терех М.В. Коваленко В.І. *Обробка результатів вимірювань теплотільників за методикою повірки Р 081/24 59-99.* – Наукові праці VI МНПК «Метрологія-2008» в 2-х томах. – Т. 1. – Харків, ННЦ «Інститут метрології». – 2008. – С. 355–357. 3. *Метрологія та вимірювальна техніка : Підручник / Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук та інші; За ред. проф. Є.С. Поліщука.* – Львів: Бескид-біт, 2003. – 544 с. 4. Яцук В.О. *Диференціальний метод вимірювання електричного опору // Вимірювальна техніка та метрологія.* – 2001. – № 58. – С. 32–37. 5. Яцук В.О. *Компенсаційний метод побудови цифрових омметрів // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка», «Автоматика, вимірювання та керування».* – 2001. – № 420. – С.99–102. 6. А.С. 1303849 (СССР), МКІ G01K7/22. – *Цифровой измеритель температуры / В.Б. Здеб, Р.Н.Огирко, В.А.Яцук и др.* – № 4645575/24-10; Заявл.03.02.89; Опубл. 23.03.91. – Бюл. 12. – 4 С. 7. Стадник Б., Сопільник Л., Яцук Ю. *Особливості побудови цифрових резистивних термометрів підвищеної якості // Вимірювальна техніка та метрологія.* – 2008. – № 68. – С.111–115. 8. Яцук В.О., Малачівський П.С. *Методи підвищення точності вимірювань: Підручник.* – Львів: Бескид-біт. – 2008. – 368 с.