

УДК 621.317.732:536.5

ОСОБЛИВОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВИМІРЮВАНЬ ВІС ТЕРМОПАРНИМИ ТА РЕЗИСТИВНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ У РОБОЧИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

© Колпак Богдан, Паракуда Василь, Лисий Богдан, Сулима Олег, 2008

Державне підприємство “Науково-дослідний інститут метрології вимірювальних та управляючих систем”,
Львів, Україна

Описано особливості способів контролю метрологічних характеристик температурних вимірювань інформаційно-вимірювальними системами за допомогою термопарних та резистивних перетворювачів у робочих умовах їхньої експлуатації.

Описаны особенности способов контроля метрологических характеристик температурных измерений информационно-измерительными системами с помощью преобразователей сопротивлений и термопар в рабочих условиях их эксплуатации.

The features of methods of control of metrology descriptions of the temperature measurings are described by the informatively-measurings systems by the transformers of resistances and thermo-electric sensors in workings their external environments .

Стосовно метрологічного забезпечення вимірювальних інформаційних систем (ВІС) підвищення точності контролю метрологічних характеристик (МХ) вимірювальних каналів (ВК) температури (ВІС) та автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП), а також вимірювальних термоперетворювачів, які є складовими частинами ВК температури, є актуальною задачею сьогодення. Завдяки швидкому розвитку автоматизованих систем контролю різних технологічних процесів, машин і механізмів, впровадженню гнучких автоматизованих виробництв, виникла потреба забезпечення таких систем давачами різних фізичних величин, особливо термоелектричними та терморезистивними перетворювачами температури. Сучасний технічний розвиток вимірювальної техніки та автоматизація технічних процесів приводять до необхідності вимірювання температури у робочих умовах, тобто без демонтажу первинних перетворювачів і зупинки технологічного процесу у дуже широкому діапазоні і з високою точністю. Крім цього, існує проблема і взагалі відсутні методи і засоби контролю та вимірювання температури із необхідною точністю і вірогідністю будь-якого температурного технологічного процесу в умовах експлуатації. Зазначені особливості спонукають до розроблення методів і пристроїв для вимірювань температури. Вибір методу і засобів

вимірювання залежить від низки чинників – значення вимірюваної температури, необхідної точності вимірювання, умов вимірювань та експлуатації досліджуваного об'єкта.

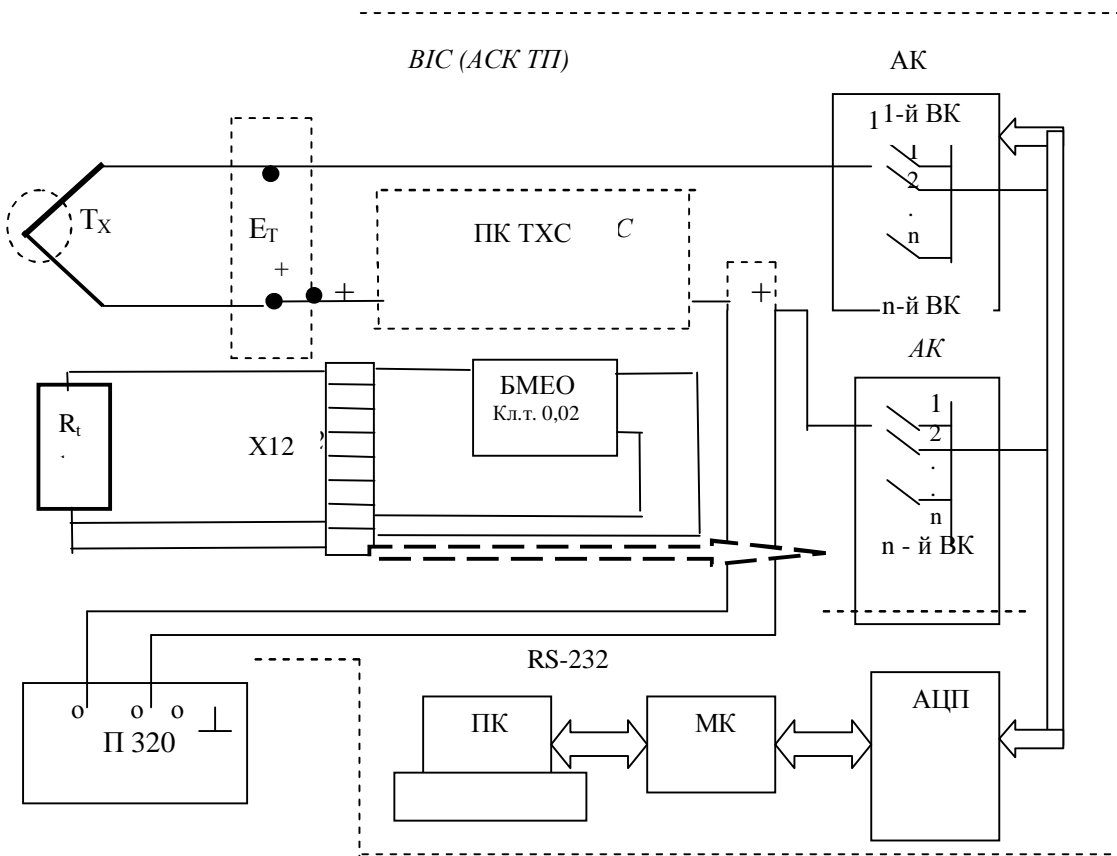
Температурні вимірювання за допомогою ВК ВІС та АСК ТП є одними з найвагоміших в Україні і становлять близько 25% усього обсягу вимірювань. Функціонування таких галузей виробництва, як металургія, енергетика, авіаційна та космічна техніка, видобування та транспортування нафти й газу, експлуатація атомних та теплових електростанцій, технологічні процеси яких значною мірою залежать від достовірного вимірювання температури. Крім того, актуальним є питання масового впровадження засобів обліку теплоенергоресурсів, складовою частиною яких є засоби вимірювання температури за допомогою термоелектричних та терморезистивних перетворювачів.

У цій статті пропонуються три способи вимірювання з метою підвищення точності вимірювальних каналів температури ВІС і температурних параметрів технологічних процесів за допомогою термопарних та резистивних перетворювачів в умовах експлуатації з необхідною точністю.

Перший спосіб стосується методології під'єднання у розріз з'єднань ВК еталонного калібруатора напруги при відповідній маніпуляції схемних підімкнень еталонних напруг та їхньої взаємодії у

вимірювальному каналі для визначення та контролю температури за допомогою вимірювальних каналів (ВК) ВІС з термоелектричними давачами. Оскільки створити еталонний канал об'єкта ВІС або АСК ТП неможливо, то під час метрологічних експериментів створюються і застосовуються "еталонні" математично-фізичні тестові сигнали [1], за допомогою яких

трансформуються певні контрольовані точки із діапазону вимірювань параметра. Перевірку ВК температури, а також первинного давача (термоелектричного перетворювача) без демонтажу із об'єкта контролю можна здійснювати, враховуючи [2], за допомогою структурної схеми вимірювання, зображеної на рисунку.



Структурно-функціональна схема метрологічного забезпечення температурних вимірювань ВІС терморезистивними та термоелектричними давачами у робочих умовах їхньої експлуатації:

АК – аналоговий комутатор; МК – мікропроцесорний контролер; X12 – колодка плати багатоточкового термометра опору; ПК ТХС – пристрій компенсації температури холодного спаю; П320 – еталонний калібратор напруги програмований; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ПК – персональний комп'ютер; БМЕО – багатозначна міра електричного опору.

На першому етапі вимірювання виконується так зване калібрування нуля. На другому етапі вимірювання здійснюється визначення фактичної температури, що встановлена на об'єкті.

Для ВК температури з термоелектричним давачем згідно із схемою експериментальних досліджень напруга U , що надходить на вхід аналогового комутатора, а тим самим і на вхід АЦП, буде визначатися згідно із [3]:

$$U = e_T + e_{3T} + U_{СК} + U_K, \quad (1)$$

де e_T – термо-ЕРС термопари, яка буде залежати від дійсної температури T контрольованого об'єкта, тобто температури T_X ; e_{3T} – паразитна термо-ЕРС від неповної термоідентичності матеріалів здовжувальних термоелектричних дротів (ЗТЕ) та основних термоелектродів; $U_{СК}$ – вихідна напруга розбалансу мостової схеми компенсації СКТХС; U_K – вихідна напруга

калібратора напруги, яка і буде визначальною для контролю усього вимірювального каналу з термоелектричним перетворювачем. Відповідно абсолютна похибка Δt_{BK} усього ВК з термоелектричним термометром буде визначатися:

$$\Delta t_{BK} = \Delta_{ТП} + \Delta_{ЗТ} + \Delta_{СКХС} + \Delta_{АЦП} + \Delta_{ОКМК} + \Delta_K, \quad (2)$$

де $\Delta_{ТП}$ – похибка термопари; $\Delta_{ЗТ} = e_{ЗТ}$ – похибка від неповної термоідентичності; $\Delta_{СКХС}$ – похибка схеми компенсації холодних спаїв; $\Delta_{АЦП}$ – похибка аналогового цифрового перетворювача; $\Delta_{ОКМК}$ – похибка обчислювального компонента мікропроцесорного контролера.

Необхідно зауважити, що похибки $\Delta_{ЗТ}$ і $\Delta_{СКХС}$ є співрозмірними з похибкою $\Delta_{ТП}$, а в сумі з $\Delta_{ТП}$ сягають значень, значно більших за похибку суми $\Delta_{ОКМК}$ і $\Delta_{АЦП}$, яка називається похибкою електричного тракту $\Delta_{ЕТ}$ вимірювального каналу ВІС. Похибка $\Delta_{ТП}$ термоперетворювача могла б бути зменшена лише конструктивно-технологічними методами, що на нині є поки що неможливим, тому основним завданням буде її визначення, що описується вище.

Щодо зменшення похибки від неповної термоідентичності, то здовжувальні термоелектродні дроти (ЗТЕ) вибирають термоелектрично ідентичними з відповідними електродами основної термопари, щоб запобігти виникненню паразитних ЕРС. А для зменшення похибки холодного спаю застосовують пристрій компенсації температури холодного спаю. Як видно із попередніх міркувань, похибки $\Delta_{ЗТ}$ і $\Delta_{СКХС}$ зводяться до мінімуму, а похибка Δ_K у такому разі не враховується, бо вона повинна як мінімум у три рази бути меншою за $\Delta_{ТП}$, або $\Delta_{ЕТ}$, бо калібратор напруги П 320 є еталонним калібратором напруги.

Перед експериментальним визначенням похибок Δ_{BK} і $\Delta_{ТП}$ необхідно під'єднати до входу АК калібратор напруг П320, і згідно, наприклад, з табл. 10 [4], де подані номінальні статичні характеристики перетворення (залежність термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС) від температури), виставити на калібраторі напруги значення 0,000 мВ, що відповідає температурі 0°C і зняти показ на засобі подання інформації, тобто на ПК.

Такі вимірювання необхідно виконати при підході до цієї точки низу і зверху по 10 разів. Розрахунок відхилень одержаного значення від 0°C і буде абсолютною похибкою $\Delta_{ЕТ}$. Потім необхідно

під'єднати калібратор напруги П320 згідно з рисунком і за нульових значень напруги зняти показ температури, яка встановлена на цей час на об'єкті. Згідно з табл. 10 [4] знайти номінальну статичну характеристику перетворення для цієї температури. І за допомогою калібратора напруги виставити це значення термо-ЕРС, тільки змінивши перед цим полярність П320. На засобі подання інформації повинно бути зафіксоване значення 0°C. Але практично це значення буде відмінне від 0°C. Від різниці відмінностей від 0 °С необхідно відняти $\Delta_{ЕТ}$, що і буде абсолютною похибкою досліджуваного термоелектричного перетворювача температури $\Delta_{ТП}$.

Ці вимірювання здійснюються при підході до виставленого значення температури низу і зверху. Оброблення результатів вимірювання виконують згідно з наявною НД.

Примітка: Необхідні вимірювання будуть актуальні тільки при постійно встановленій температурі об'єкта технологічного процесу на період вказаних вимірювань.

Другий спосіб стосується вимірювання опору чутливих елементів багатоточкового резистивного термометра температури методом заміщенням їхніх опорів багатозначною еталонною мірою опору, під'єднуючи її за трипровідною схемою до клем колодки шафи комутацій плати багатоточкового термометра опору [5].

Перевірку ВК температури, а також первинного давача без демонтажу із об'єкта контролю можна здійснити за допомогою підімкнення багатозначної міри опору БМЕО за трипровідною схемою згідно з рисунком до клем колодки Х12 ТМС-плати багатоточкового термометра опору Pt 100 давача МРТ6, дотримуючись такої послідовності виконання операцій перевірки:

- за допомогою телефонного зв'язку довідатись про значення температури $t_{ХС}$ у цей момент часу за певного встановленого рівня нафти, що висвітлений на дисплеї ПЕОМ системи і записати його;

- за допомогою програмного забезпечення визначити кількість занурених індивідуальних давачів багатоточкового давача температури;

- від'єднати із клемника Х12 ТМС-плати по чергово по одному чутливому елементу, та під'єднати замість них багатозначну міру електричного опору і за допомогою її декадних перемикачів встановити по чергово те саме значення $t_{ХС}$ температури, що висвітлювалось

на дисплеї ПЕОМ, і записати кожного разу значення опору, виставленого на БМЕО;

– після обчислення середнього значення опору, який був встановлений замість кожного із задіяних чутливих елементів, уточнити дійсне значення температури $t_{xд}$ згідно з табл. А2 [6]. На основі уточнених значень $t_{xд}$ і вимірних значень t_{xc} знайти абсолютну похибку ВК температури.

Аналогічно здійснити вимірювання для всього багатоточкового давача температури (при повністю заповненому резервуарі). У запропонованій схемі під'єднання перетворювачів відсутнє повторне підсумовування індивідуальних провідників з'єднання, яких не враховують розробники систем та приладів.

В описаних вище способах вимірювання опору чутливих елементів заміщенням їхніх опорів багатозначною еталонною мірою опору підвищення точності досягається за допомогою:

– застосування методу заміщення опорів чутливих елементів усіх типів термперетворювачів багатозначною еталонною мірою опору, що дає можливість точно виміряти значення опору чутливих елементів, уникнувши подвійної похибки класу точності потенціометра.

Третій спосіб дає змогу визначити реальні метрологічні характеристики вимірювальних каналів температури (об'єкта) без демонтажу перетворювачів, застосовуючи взаємодію об'єкта та еталонних мір опору при відповідній взаємодії компонентів у вимірювальній системі.

Оскільки створити еталонний канал об'єкта АСК ТП неможливо, то для виконання метрологічних експериментів створено і застосовано “еталонні” математично-фізичні моделі і тестові сигнали, розроблено нові розрахунково-експериментальні методи [1], за допомогою яких трансформуються певні контрольовані точки із діапазону вимірювань параметра. В усіх цих випадках виникають проблеми визначення МХ ВК АСК ТП під час їхньої метрологічної атестації (МА) або перевірки. Отже, в основі вимірювання цих параметрів – визначення певного значення електричного опору безпосередньо або з подальшим перетворенням його на певну фізичну величину. Для визначення МХ ВК можна застосовувати паралельне з'єднання резисторів з урахуванням взаємодії об'єкта (ВІС або АСК ТП) та еталонної багатозначної міри (у такому разі опору).

Щодо теоретичних аспектів цієї проблеми треба відзначити таке. Приймаючи невідоме значення досліджуваного опору як R_x , а також використовуючи відомі еталонні значення ступенів певного значення опору R_{ET} , за умови, що $R_x = R_{ET} + \delta x$, для випадку $R_x \approx R_{ET}$ і застосовуючи паралельне з'єднання резисторів, маємо, що

$$R_{\Sigma} = \frac{R_{ET} \cdot (R_{ET} + d_x)}{2 \cdot R_{ET} + d_x} \quad (3)$$

І у разі $R_x \approx nR_{ET}$,

$$R_{\Sigma} = \frac{n \cdot R_{ET} \cdot (R_{ET} + d_x)}{(n+1) \cdot R_{ET} + n \cdot d_x} \quad (4)$$

Звідси можна знайти значення δx досліджуваного ступеня електричного опору. В усіх прикладах застосування цього способу вимірювання співвідношення границь допустимих похибок еталонних мір ступенів $\delta_{ет}$ і допустимої похибки досліджуваних ступенів електричного опору δx_d повинні задовольняти нерівності $\delta_{ет} \leq \delta x_d \cdot 1/4$ або $\delta_{ет} \leq \delta x_d \cdot 1/5$, залежно від переважних складових похибки (систематичної або випадкової).

Для визначення МХ ВК температури на будь-якому із об'єктів, після під'єднання згідно із схемою (див. рисунок), необхідно довідатись про значення температури t_{x1} у цей момент часу, що висвітлена на дисплеї АРМ і записати його. За допомогою МО Р4831 встановлюють половинне значення температури t_{x2} , яке було висвітлено. Після встановлення цього значення, яке висвічується на моніторі оператора АРМ, записують показ МО Р4831. На основі виставлених МО Р4831 уточнюють за табл. А2 [6] дійсне значення температури t_x .

На основі уточнених значень t_{yr} табл. А2[6] знаходять абсолютну похибку ВК температури у точці t_{x1} .

$$\Delta t_{BK(xi)} = t_x - t_{yr} \quad (5)$$

Аналогічно виставляють за допомогою МО Р4831 третинне, четвертинне і т.д. значення температури t_{xi} і знаходять абсолютну похибку ВК температури у трансформованих нами контрольованих точках, які висвітлюються на табло АРМ.

Результат $\Delta t_{BK(xi)}$ порівнюють із границею допустимої абсолютної похибки Δt_{BK} згідно із свідомством про ДМА або перевірку ВК температури АСК ТП.

Висновки. 1. Способи визначення та контролю температури за допомогою вимірювальних каналів (ВК) ВІС з термоелектричними та терморезистивними давачами дають змогу:

– підвищити точність вимірювання температури, оптимізувати вимірювання, виконати метрологічну атестацію та перевірку ВК та вказаних перетворювачів, на які поширюється і не поширюється метрологічний нагляд з необхідною точністю в робочих умовах їхньої експлуатації, а також здійснити перевірку, калібрування та визначити номінальну статичну характеристику перетворення усіх типів термоелектричних та терморезистивних перетворювачів;

– визначити границі абсолютної похибки градування чутливого елемента досліджуваного перетворювача, також окремо визначити границі абсолютної похибки електричного тракту ВК та ВК загалом, також окремо визначити границі абсолютної похибки вторинного перетворювача (електронної частини).

2. Описані способи вимірювання дають змогу виконати МА або перевірку ВК ВІС та АСК ТП температури в робочих умовах і без демонтажу первинних перетворювачів із об'єкта контролю.

3. Методи визначення і контролю температури за допомогою вимірювальних каналів (ВК) ВІС з термоелектричними та терморезистивними давачами, розроблені в ДП “НДІ Система”, знайшли застосування в програмах та методиках метрологічної атестації, та інструкціях з калібрування. Була здійснена державна метрологічна атестація цих систем, а особливості побудови апаратної частини використані Київським політехнічним інститутом під час конструювання багатоканальної системи вимірювання температури. Ці документи передані замовникам.

4. У результаті застосування взаємодії об'єкта та еталонних мір опору одержують трансформовані з відомою точністю контрольовані точки із діапазону вимірювання температури вимірювального каналу ВІС або АСК ТП, що необхідно для визначення метрологічних характеристик багатьох типів ВК.

1. Колпак Б.Д., Лисий Б.М., Паракуда В.В. Вплив взаємодії об'єкта і еталонних мір опору на визначення метрологічних характеристик автоматизованих систем контролю та керування // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – Хмельницький, №3, 2001. – С 190–192. 2. Лисий Б.М., Сулима О.С. Підвищення точності вимірювання температури за допомогою термоелектричних давачів ВІС в робочих умовах експлуатації // *Метрологія и измерительная техника (МКМИТ'2005)*. – Харків. – С.228–231. 3. *Електричні вимірювання електричних та неелектричних величин / За ред. Е. С. Поліщука*. – К.: Вища школа, 2002. – 570 с. 4. ГОСТ 3044-94. Міждержавний стандарт. Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення. 5. Колпак Б.Д., Паракуда В.В., Лисий Б.М., Сулима О.С., Демків І.Б. Методи підвищення точності вимірювання температури первинними перетворювачами з використанням багатозначної міри опору // *Метрологія та вимірювальна техніка. (IV міжнародна науково-технічна конференція. – 2004 р. – Наукові праці конференції. – С.19–22*. 6. ГОСТ 6651-94. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.