

Б.І. Стадник^{1,2}, Ю.В. Яцук¹, Ф. Бернгард³

1) ¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій,

2) ²Ряшівська політехніка, Ряшів, вул. В.Поля, 2, Польща

3) ³Технічний університет Ільменау, Німеччина

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОЗМІРІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ СЕНСОРІВ ТЕМПЕРАТУРИ

© Стадник Б.І., Яцук Ю.В., Бернгард Ф., 2006

Подано результати експериментальних досліджень геометричних розмірів чутливих елементів сенсорів температури. Обґрунтовано вибір термометричного методу дослідження із саморозігріванням чутливих елементів. Зроблено висновок, що похибка визначення розмірів не перевищує $\pm 1\%$.

The experimental investigation results of geometrical dimensions of temperature sensors sensing element are given in this paper. The thermometric investigation method choice is background also. Error of geometrical dimension measurement is not greater as $\pm 1\%$.

1. Вступ. У багатьох галузях сучасної науки і техніки допустимі похибки вимірювання температури повинні становити десятки частки Кельвіна [1]. Відомо, що терморезистивні перетворювачі температури (ТО) в області середніх температур забезпечують значно вищу точність від термоелектричних, але і їхня похибка через забруднення чутливих елементів в процесі експлуатації може істотно збільшуватись. Щоб підвищити точність термометрів, необхідна частина метрологічна перевірка, трудомістка та дорога. З цієї причини зусилля вчених спрямовані на використання калібраторів температури (КТ), заповнених реперним матеріалом [2, 3].

2. Постановка проблеми та аналіз публікацій. Коли температура вимірювального середовища наближається до температури топлення (тверднення) реперного матеріалу відбувається фазовий перехід із одного агрегатного стану в інший. Під час цього переходу, температура реперного матеріалу залишається незмінною доти, доки весь матеріал не змінить свій фазовий стан. Цю фазову зміну вдається розпізнати і використати як відому температуру при калібруванні. Саме через це калібрування за допомогою комірок з реперним матеріалом широко застосовують і завдяки малим габаритам термоелектричних перетворювачів виготовляють сенсори з КТ [4–7].

Зазвичай комірки заповнені реперним матеріалом приблизно на 750 мл. Саме через це вони громіздкі і їхнє використання є доволі дорогим. Для того, щоб застосовувати незначну кількість реперного матеріалу, були винайдені ТО і мініатюрні калібратори, які заповнені у десятки разів меншим об'ємом (50–100 мм³) [6, 7]. Ці калібратори можуть бути інтегрованими безпосередньо у термометри опору або у термопари. Ще один чинник, який свідчить про доцільність використання мініатюрних калібраторів, це те, що вони мають меншу теплову ємність (порівняно із звичайними калібраторами), вищу можливість зміни температури.

Цілий ряд чинників впливають на точність калібрування на основі реперних матеріалів, серед яких довжина та нахил плато, різниця між вимірюною термоперетворювачем температурою і температурою реперного матеріалу. Передовсім це геометрія мініатюрного калібратора, теплофізичні властивості застосованого реперного матеріалу, розташування температурного сенсора у калібраторі, спосіб інтегрування калібратора в термоперетворювач, так само, як і конструктивні властивості

самого термоперетворювача (геометрія різних частин термометра, їхні теплофізичні властивості і розташування), часова зміна температури вимірюваного середовища, просторовий і часовий розподіл температури всередині вимірюваного середовища, так само, як і розподіл температури всередині мініатюрного калібратора, умови передавання тепла між середовищем, калібратором і термоперетворювачем [4, 5].

Основною проблемою побудови КТ є забезпечення термічної рівноваги між температурним сенсором і реперним матеріалом, важливі також теплофізичні властивості матеріалу, з якого виготовлено тигель, геометричні розміри тигля і розташування у ньому температурного сенсора. Отже, основною вимогою, яка ставиться перед мініатюрним калібратором, є термічна рівновага між реперним матеріалом і температурним сенсором без їхнього безпосереднього контакту.

Відомо, що чутливий елемент ТО має певні геометричні розміри і його інформативним параметром є зміна опору при зміні середньої температури всього чутливого елемента. Тому під час вимірювання температури ТО повинен бути занурений в середовище на глибину більшу, ніж довжина його чутливого елемента. Саме з цієї проблеми і постала основна мета цієї статті – експериментальне визначення розмірів чутливих елементів ТО та підтвердження впливу їхніх розмірів на плато під час плавлення реперного матеріалу.

3. Описання експериментальної устави. Дуже рідко виробник подає дані про геометричні розміри сенсора. Глибина занурення ТО повинна бути збільшена для високих або малих температур, але потрібно ще враховувати і те, що вона залежить ще й від властивостей середовища.

Один із методів визначення необхідної глибини занурення термометра в середовище полягає в тому, що термоперетворювач повільно або маленькими кроками занурюється в середовище і спостерігають, як буде змінюватись вимірювана величина (рис.1). Коли вимірювана величина перестане змінюватись, за умови, що температура вимірюваного середовища є сталою, то це означатиме досягнення мінімальної необхідної глибини занурення. Метрологічні дослідження повинні здійснюватись при малих значеннях постійного струму (≤ 1 мА), температура вимірюваного середовища повинна відрізнятись від температури повітря (бути вищою або нижчою), ТО треба занурювати дуже повільно, найкраще міліметр за міліметром і відстань (глибина), на якій показ ТО більше не буде змінюватись, інакше кажучи, різниця між температурами на сусідніх кроках, буде дорівнювати нулеві, буде необхідною глибиною занурення для цього середовища. Для дослідження необхідної глибини занурення в лабораторії були вибрані такі умови: вимірювальне середовище – вода, температура вимірювального середовища дорівнює 50°C (T_2), температура повітря – кімнатна температура (T_1). Експериментальні дослідження показали, що постійне перемішування води у термостаті призводить до негладкості поверхні води і неможливості точно виставити '0' – рівень (перехід повітря – вода).

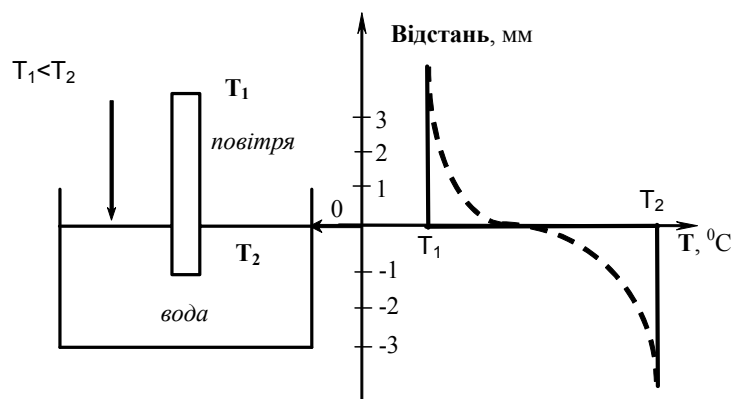


Рис. 1. Перебіг температури залежно від глибини занурення:

За другим методом використане явище саморозігрівання ТО. Методика досліджень така сама, як і в попередньому методі, але на кожному з кроків занурення струм змінювався в межах (0, 05..10) мА і потужності розсіювання (0, 1..9) мВт з кроком 2, 25 мВт. Опрацювання даних здійснювалось на комп'ютері за допомогою програмного пакета Matlab. Для цього побудована вимірювальна схема (рис. 2), у якій всі прилади підключені до комп'ютера. Комп'ютер встановлює необхідний струм, цифровий мультиметр вимірює спад напруг на термометрі і передає дані через інтерфейс GRIB на комп'ютер, після чого підраховується значення температури. При дослідженнях використовувалась така апаратура: цифровий мультиметр *Prema DMM 6047*, джерело напруги *TSX3510P*, термостат типу "JULABO FP-40-MH" з водою та технічною оливою за допомогою яких встановлюють необхідне значення температури вимірювального середовища. Були використані ТО двох різних фірм: три термометри опору фірми Conatex Mess- und Regelungstechnik GmbH, St. Wendel (надалі позначені як *Conatex 36, 37 і 38*), чотири термометри опору фірми Н. Heinz Messwiderstände GmbH, Elgersburg (надалі позначені як *Heinz 1, 3, 4 і 5*). Зовнішній діаметр всіх термометрів становить 1 мм і довжина термометрів *Conatex 520* мм, *Heinz 535* мм. Всі термометри мають чотирипровідну схему підключення аж до самого сенсора, окрім термометра *Heinz 1* (він має двопровідну схему).

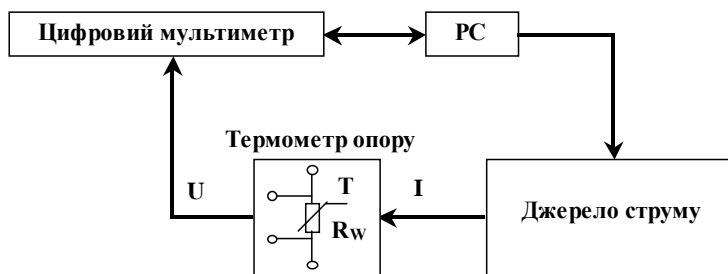


Рис. 2. Вимірювальна схема для всіх досліджень

4. Аналіз експериментальних результатів. За результатами експериментальних досліджень були побудовані графіки залежностей температури ТО від глибини занурення (рис. 3, рис. 4) та різниці між температурами на сусідніх глибинах занурення (рис. 5, рис. 6), яка розраховувалась за співвідношенням

$$T_S - T_M = ERI^2, \quad (1)$$

де E – коефіцієнт саморозігрівання; $T_S - T_M$ – відповідно показ ТО та температура вимірювального середовища; R – опір сенсора; I – значення вимірювального струму.

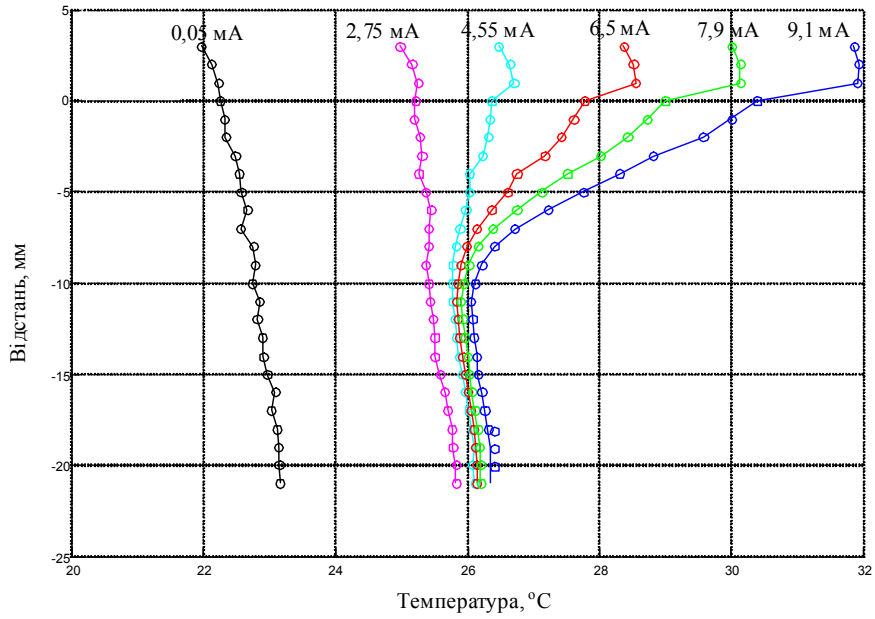


Рис. 3. Експериментально знайдені значення температур Heinz 1-термометра залежно від глибини занурення

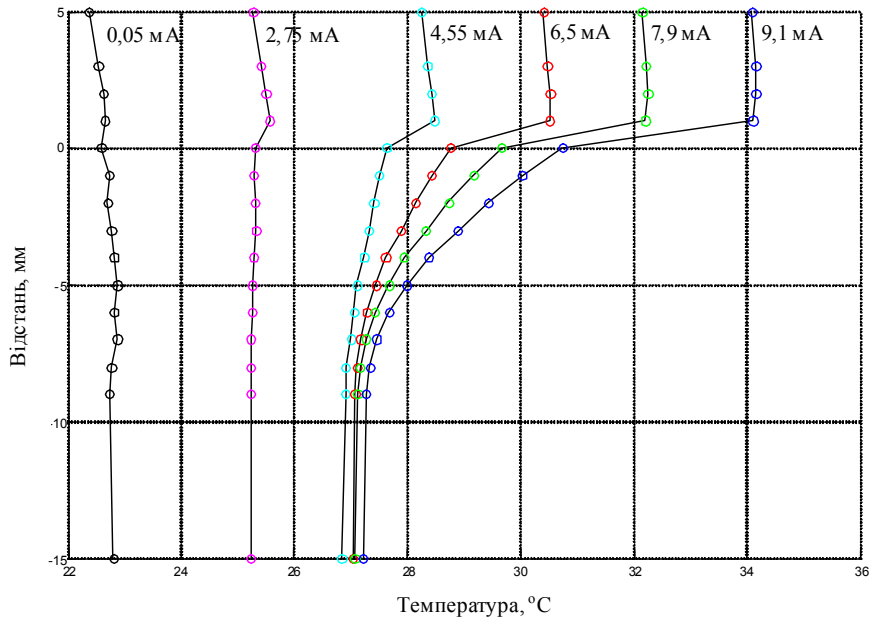


Рис. 4. Експериментально знайдені значення температур Copatex 36-термометра залежно від глибини занурення

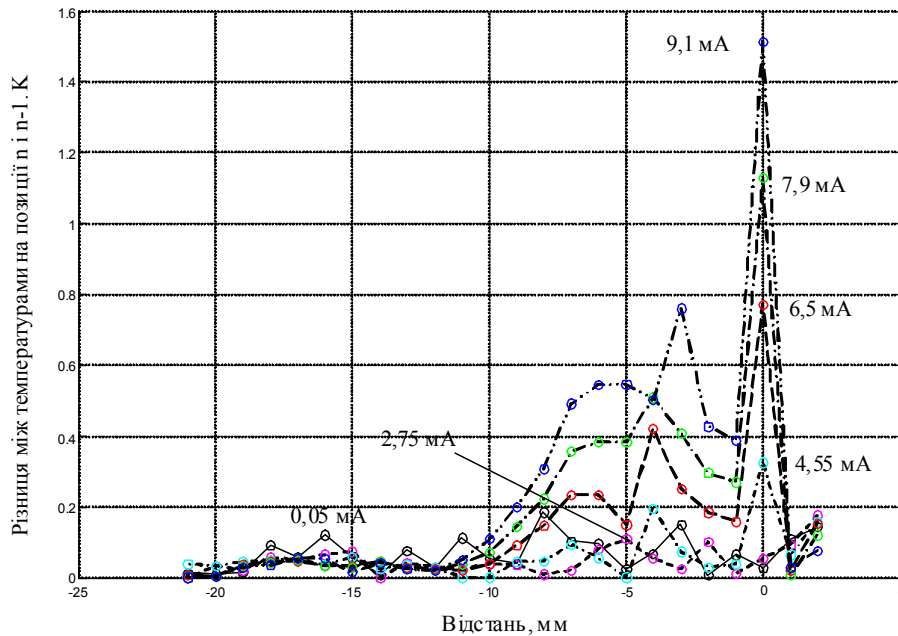


Рис. 5. Різниця між температурами на сусідніх глибинах занурення для ТО типу Heinz 1

Найважливішим є те, що різниця у перебігу температур при вимірюванні термометрами Heinz і Sonatex є очевидною. Для того, щоб ця різниця була наочнішою, визначено перехідні процеси температури різних ТО, при одному і тому самому значенні вимірювального струму, на одному графіку. Всі перебіги температури зведені до температурного перебігу при значенні вимірювального струму 0,05 мА, щоб усунути зміни температури середовища. На графіках подано температурні перебіги при струмах 6,5, 7,9 і 9,1 мА. Порівняння при інших струмах не є таким інформативним.

Аналіз графіків свідчить, що друга точка перегину при вимірюванні різними струмами майже завжди на одній і тій самій позиції.

Можливою причиною для виникнення другої точки перегину є початок чутливого елемента ТО. Також помітно, що є різниця в температурному перерізі між термометрами Sonatex 36 і 38

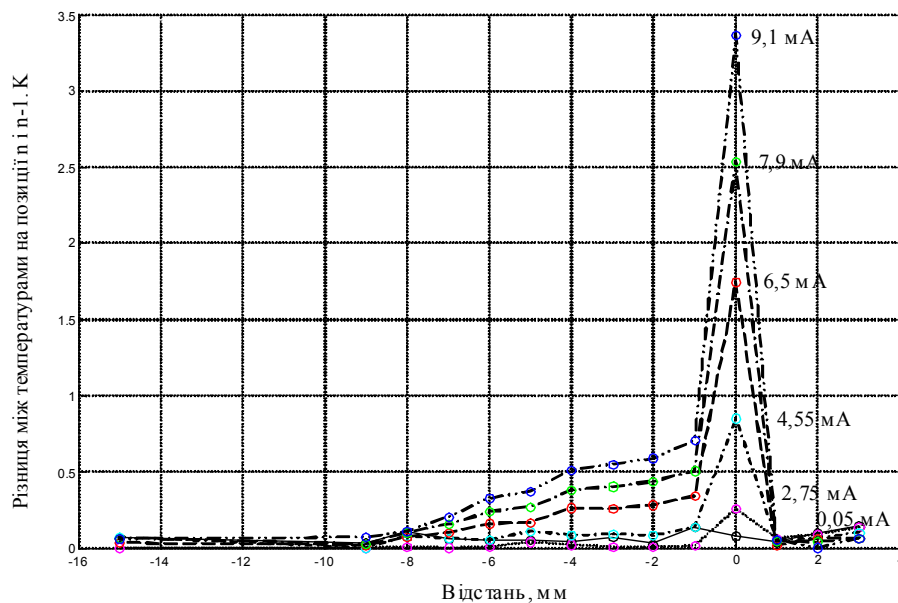


Рис. 6. Різниця між температурами на сусідніх глибинах занурення для ТО типу Conatex 36

порівняно з Conatex 37. Причина цього не може бути знайдена через вимірювання, необхідні інші дослідження внутрішньої будови термометрів.

5. Висновки

- Обґрунтовано метод, який дає змогу термічними дослідженнями визначити геометричні параметри мініатюрних термоперетворювачів опору і порівнювати між собою термометри за такими параметрами: довжина чутливого елемента, його розташування стосовно до каркасу, сталу часу ТО.

- Суть методу полягає у тому, що ТО покровоно занурюється у середовище (воду) і знімаються покази. Перегрівання чутливого елемента пояснюється вимірювальним струмом.

- На графіку вимірюваного перебігу температури може бути до двох точок перегину, за значеннями яких можна робити висновки про геометричні параметри ТО.

- Відстань, на якій знаходиться друга точка перегину, показує початок чутливого елемента. Коли на графіку температурного перебігу термоперетворювача немає другої точки перегину, можливо, що відстань від чутливого елемента до початку захисної трубки є меншою, ніж 1 мм (дискретність встановлення глибини занурення).

- Коли різниця між температурами на сусідніх позиціях є меншою від 1 К, то це означає, що термічним способом знайдено закінчення чутливого елемента.

- Аналіз показав, що термічним способом можливо встановити геометричні розміри чутливого елемента з похибкою, не більшою від $\pm 1\%$, що є достатнім для встановлення розмірів мініатюрних калібраторів температури на основі реперних матеріалів.

1. Самсонов Г.В., Киц А.И. Датчики для измерения температуры в промышленности. – К., 1972. 2. Саченко А.А., Твердый Е.Я. Совершенствование методов измерения температуры. – К., 1983. 3. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Кочан В.В. Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами. – М., 1986. 4. Бернгард Ф., Богун Д., Августин С., Маммен Х., Донин А. Применение самокалибрующихся термометров с реперными материалами при температурах 500–650⁰С в парогенераторах // Вимірювальна техніка та метрологія. – №63. – 2003. – С. 55–59. 5. Стадник Б., Дорожовець М., Бернгард Ф., Кулик О. Корекція похибок вимірювання термометра із вбудованим реперним калібратором і вторинним температурним сенсором // Вимірювальна техніка та метрологія. – №63. – 2003. – С. 70–74. 6. Ronsin H., Elgonrdon, M. Extension of the minicell thermocouple calibration technique to the palladium fixed point / Tempmeко-96.-Levrotto-Bella, Torino. –1996. – P. 189–194. 7. Lehman H., Bernhard F. Self-calibration thermocouples / Tempmeко-96/-Levrotto-Bella, Torino. – 1996. – P. 195–206.

УДК 539.1.07

В.М. Максимович, Ю.Б. Сторонський

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматичної та телемеханіки

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЗИМЕТРИЧНОГО ПРИСТРОЮ З АПАРАТНОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ МЕРТВОГО ЧАСУ ДЕТЕКТОРА

© Максимович В.М., Сторонський Ю.Б., 2006

Досліджено статистичні характеристики дозиметра з детектором, що має мертвий час непродовжуючого типу. Для компенсації мертвого часу використаний число-імпульсний функціональний перетворювач. Дослідження вели за допомогою імітаційної