

## МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ПАРИ РЕЗИСТИВНИХ СЕНСОРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РІЗНИЦІ ТЕМПЕРАТУР

*Розглядається проблема вимірювання різниці температур з використанням резистивних сенсорів за умов метеорологічних спостережень. Запропоновано нову методику застосування пари платинових сенсорів, яка передбачає розрахунок різниці температур, виходячи безпосередньо з різниці електричних опорів сенсорів. Досліджуються метрологічні переваги запропонованої методики.*

**Ключові слова:** платиновий резистивний сенсор температури, метеорологічні спостереження, похибка, різниця температур, опір, точність, вимірювання, розрахунок.

V.I. LATENKO

Ukrainian Hydrometeorological Institute of NAS of Ukraine

### METHOD OF APPLYING A PAIR OF RESISTIVE SENSORS TO MEASURE THE TEMPERATURE DIFFERENCE

*The problem of measuring the temperature difference using resistive sensors is considered under conditions of meteorological observations. A new method of applying a pair of platinum sensors, which involves the calculation of the temperature difference, based directly on the difference of electrical resistance sensors. We study the metrological advantages of the proposed method.*

**Keywords:** platinum resistive temperature sensor, meteorological observations, error, temperature difference, resistance, accuracy, measurement, calculation.

#### Вступ

Ця стаття є продовженням досліджень метрологічних властивостей платинових термометрів опору сенсорів температури, виконаних у роботах [1, 2, 3] з метою використання їх у метеорологічних спостереженнях. Чутливим елементом термометра опору служить резистивний сенсор температури.

Окремим відгалуженням загальної проблеми вимірювання температури є задача вимірювання різниці температур. Причому, в багатьох випадках різниця температур виступає у ролі окремого параметра, який визначає загальну точність вимірювання.

Наприклад, у метеорології використовується методика просторово-часового контролю (ПЧК) метеопараметрів, яка дозволяє на підставі результатів багаторічних спостережень виявити помилки вимірювання температур на сусідніх станціях саме через аналіз різниці температур. Інший приклад - це вимірювання розподілу температури по глибині ґрунту, яке потребує вимірювання різниці температур з точністю не гіршою за точність вимірювання самих цих температур.

З цих двох прикладів можна бачити, що у випадку ПЧК розглядається одночасне вимірювання температур окремими вимірювачами, які до того ж знаходяться на кілометрових відстанях один від одного. У другому прикладі для вимірювання напевне може бути застосований комбінований прилад, який вимірює саме різницю температур. Надалі ми зосередимося на другому типі вимірювання.

Точність вимірювання різниці температур у метеорології набуває першочергового значення у багатьох типах вимірювачів вологості повітря, зокрема, психрометричного типу. Причому, в останні роки намітилася тенденція витіснення класичних психрометрів на базі змочуваних рідинних термометрів їхніми автоматичними аналогами на базі змочуваних резистивних сенсорів.

Дотичною до задачі вимірювання різниці температур у психрометричних вимірювачах вологості повітря постає задача цілком аналогічного вимірювання різниці температур у ємнісних сенсорах вологості повітря, де параметром є різниця температур підігрітого повітря всередині датчика та холодного повітря оточуючого середовища [3].

Масштаб дефіциту вимірювачів різниці температур можна оцінити, виходячи з близька 180-ти метеостанцій метеорологічної мережі України, які потребують оснащення сучасними автоматичними вимірювачами, в тому числі - вимірювачами вологості повітря.

Вирішенню проблеми оснащення метеостанцій сприяє великі досягнення у виробництві точних і, що дуже важливо, - порівняно недорогих і доступних резистивних сенсорів. Можна очікувати, що метрологічне вирішення проблеми вимірювання різниці температур відкриє шлях до ширшого використання цих сенсорів у метеорології.

#### Аналіз стану досліджень

Відомо багато публікацій на тему виробництва та пов'язаних з виробництвом датчиків опору метрологічних питань. Ще більше публікацій, здебільшого рекламного характеру, присвячених використанню сенсорів температури у вимірювальних пристроях.

Проте, якщо не брати до уваги тривіальний підбір сенсорів за параметрами, то публікації на метрологічну тему вимірювання різниці температур відсутні.

У статті [1] досліджено метрологічні питання застосування платинових резистивних сенсорів для вимірювання температури у галузі метеорологічних спостережень. Зокрема, запропонована спрощена формула для розрахунку температури, показана необхідність попереднього калібрування сенсора.

Результати дослідження вказують напрямок розробки методики вимірювання різниці температур. В даній роботі будуть використані результати цих досліджень.

Як і у [1] питання точності вимірювання електричного опору не розглядатимуться. Увагу буде зосереджено на метрологічних аспектах визначення різниці температур за результатами вимірювання опору. Причому за замовчуванням вважатиметься, що похибка вимірювання електричного опору знехтувально мала.

#### Мета дослідження

Метою дослідження є розробка методики вимірювання різниці температур за допомогою платинових резистивних сенсорів в умовах метеорологічних спостережень з меншою похибкою, ніж сумарна похибка окремого вимірювання двох температур.

#### Виклад основного матеріалу статті

З самого початку окреслимо умови вимірювання різниці температур та впливаючі фактори. Візьмемо за основу вимірювання різниці температур у підігрівному вимірювачі вологості повітря, у якому один сенсор призначений для вимірювання температури нагрітого повітря, а інший сенсор для вимірювання температури не нагрітого (холодного) повітря [3]. Робочий діапазон температури повітря можна встановити у вигляді:

$$-40^{\circ}\text{C} \leq t_1 \leq 50^{\circ}\text{C}. \quad (1)$$

Для нормального функціонування датчика вологості достатньо додаткового нагріву на  $15^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ , тому з невеликим перебільшенням можна задати робочий діапазон вимірювання температур у вигляді індустріального діапазону:

$$-40^{\circ}\text{C} \leq t_2 \leq 85^{\circ}\text{C}. \quad (2)$$

Введемо позначення різниці температур:

$$t_s = t_2 - t_1. \quad (3)$$

де  $t_2, t_1$  - дійсна температура теплішого та холоднішого сенсора відповідно.

Незважаючи на те, що робочий діапазон температур сенсорів сягає індустріального діапазону (2), діапазон можливих значень різниці температур становить лише:

$$0^{\circ}\text{C} \leq t_s \leq 20^{\circ}\text{C}. \quad (4)$$

За нормами ІЕС-751 (DIN EN 60751) електричний опір платинових сенсорів температури визначається рівнянням Календара -Ван Дусена у вигляді [4]:

$$R = R_0 \cdot \left( 1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C \cdot (t - 100^{\circ}) \cdot t^3 \right), \quad (5)$$

де  $t$  - температура,  $^{\circ}\text{C}$   $R_0 = 100 \text{ Ом}$ ;  $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$ ;  $B = -5,775 \cdot 10^{-7} / ^{\circ}\text{C}^2$ ;  $C = 0$  для  $t \geq 0$  та  $C = -4,183 \cdot 10^{-12} / ^{\circ}\text{C}^3$  для  $t < 0$ .

Наведені значення коефіцієнтів  $R_0, A, B$  і  $C$  є номінальними, причому для широкого діапазону температур: для сенсорів класу А – від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $650^{\circ}\text{C}$ , класу В – від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $850^{\circ}\text{C}$ . Можна показати, що для індустріального діапазону температур (2) похибка від знехтування вищими за 2-й степенями виразу (5) призводить до похибки вимірювання температури менше  $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$  [1]. Це є підставою для використання спрощеного виразу:

$$R = R_0 \cdot \left( 1 + A \cdot t + B \cdot t^2 \right). \quad (6)$$

Дійсні значення коефіцієнтів рівняння (6) для кожного сенсора дещо відрізняються від номінальних, що спричиняє відхилення реальної характеристики від номінальної. Максимальне значення похибки визначається згаданими нормами ІЕС-751, для сенсорів класу В:

$$\Delta t_{max} = \pm (0,3 + 0,005 \cdot |t|). \quad (7)$$

Перепишемо цей вираз в більш узагальненому вигляді:

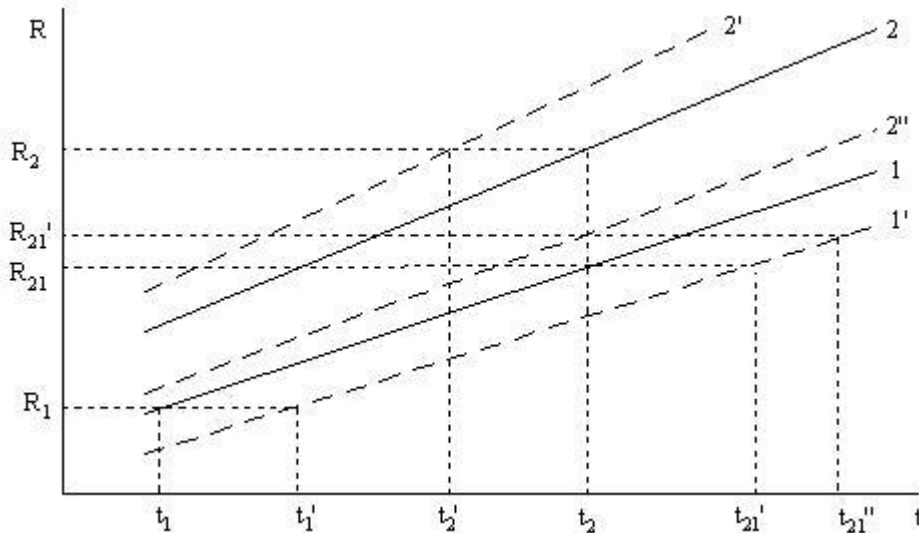
$$\Delta t = \Delta t_0 + \delta \cdot |t|, \quad (8)$$

де  $\Delta t_0$  – адитивна складова похибки;  $\delta$  – мультиплікативний коефіцієнт похибки.

Загальні принципи вимірювання різниці температур графічно зображено на рис.1. Через незначну кривизну характеристики сенсора (6) на рис.1 фрагменти характеристик сенсорів виглядають прямими лініями. Умовно пронумеруємо сенсори таким чином, щоби температура  $t_1$  вимірювалася сенсором 1, а температура  $t_2$  – сенсором 2. Дійсні характеристики сенсорів відрізняються від номінальної (6) на величини похибок. У гіршому випадку похибки можуть мати різні знаки.

З метою зменшення похибки вимірювання температури нижче величини (7) застосовується попереднє калібрування коефіцієнтів сенсора [2]. Графіки 1' та 2' відображають аналітичні характеристики відповідних сенсорів, побудованих за каліброваними значеннями. Ці характеристики не співпадають з дійсними через залишкову похибку калібрування.

Температурі  $t_1$  відповідає електричний опір  $R_1$  та точка  $(t_1; R_1)$  на характеристиці 1, для характеристики сенсора 2 це будуть, відповідно, опір  $R_2$  та точка  $(t_2; R_2)$ .



1, 2 – дійсні характеристики 1-го та 2-го датчиків температури; 1', 2' – аналітичні характеристики 1-го та 2-го датчиків температури; 2'' – аналітична характеристика 1-го датчика відносно 2-го.  
Рис.1. Порівняння методик вимірювання різниці температур

Значення температур розраховується за аналітичними характеристиками сенсорів. Не беручи до уваги похибки розрахунків, за значенням  $R_1$  та  $R_2$  за аналітичними характеристиками сенсорів розраховуються значення температур  $t_1'$  та  $t_2'$ . Якщо розрахувати різницю отриманих значень температур  $t_1'$  та  $t_2'$ , тоді різниця температур буде суттєво відрізнятися від дійсного значення (3), як це добре видно з рис.1.

Оцінемо величину похибки розрахунку різниці температур за значеннями температур. Припустимо, що залишкова похибка калібрування сенсора визначається виразом (8). У такому разі результат розрахунку різниці температур можна представити у вигляді:

$$t_s + \Delta t_s = t_2 \pm (\Delta t_{02} + \delta_2 \cdot |t_2|) - t_1 \pm (\Delta t_{01} + \delta_1 \cdot |t_1|), \quad (9)$$

де індексами  $1$  та  $2$  позначена відповідність номеру сенсора.

Для оцінки величини результуючої похибки необхідно визначитися з характером складових похибок. По відношенню до ансамблю сенсорів величини похибок є випадковими величинами, але для кожного конкретного зразка сенсора похибки стають детермінованими величинами; також їх можна вважати некорельованими між собою. В такому разі оцінювати результуючу похибку слід за максимальним значенням алгебраїчної суми складових.

Якщо вважати у першому наближенні максимальні значення коефіцієнтів похибки однаковими для двох сенсорів, тоді максимальне значення результуючої похибки матиме вигляд:

$$\Delta t_s = \pm [2 \cdot \Delta t_0 + \delta \cdot (|t_2| + |t_1|)]. \quad (10)$$

Отримано сумарну похибку вимірювання температур, чого можна було очікувати. Першопричиною сумування похибок є те, що розрахункові точки  $(t_1; R_1)$  та  $(t_2; R_2)$  лежать на характеристиках 1 та 2 різних сенсорів. Характеристики сенсорів апроксимовані, у свою чергу, аналітичними характеристиками 1' та 2' з деякими похибками, причому ці похибки некорельовані між собою.

Запропонуємо іншу методику розрахунку різниці температур. Спробуємо подолати некорельованість похибок жарактеристик, прив'язавши одну до одної.

Скористаємося зробленим припущенням, що в якості вихідних даних для розрахунку використовуються дійсні значення електричного опору. У одиницях температури відхилення характеристики сенсору від номінальної має лінійний характер (8). У одиницях опору вплив вищих степенів рівняння більший [1,2], але в межах індустріального діапазону температур нелінійністю відхилення від номінальної характеристики також можна знехтувати. В такому разі можна вважати, що відхилення характеристики 2-го сенсора від 1-го можна досить точно апроксимувати кусочно-лінійною функцією з малою кількістю точок зламу. На рис.1 наведена характеристика 2'', яка з невеликою залишковою похибкою проектує всі точки характеристики 2 на характеристику 1. За відсутності залишкової похибки характеристика 2'' співпадала б з 1.

Визначити точки характеристики 2'' можна в процесі калібрування двох сенсорів, причому залишкова похибка повинна бути суттєво меншою, ніж похибка калібрування кожного сенсора окремо. Причина полягає в наступному. Для калібрування окремого сенсора необхідно для кожної точки з малою похибкою задати та витримати задану температуру під час вимірювання опору. Для калібрування точки характеристики різниці опорів сенсорів необхідно забезпечити тільки однакову температуру сенсорів, тоді як значення температури можна встановлювати досить приблизно. Звичайно, друга операція виконується значно точніше.

Припустимо, що в процесі калібрування була виконана вказана операція прив'язки точок

характеристики сенсора 2 до точок характеристики сенсора 1; нами отримано характеристику 2'', яка за відсутності залишкової похибки прив'язки співпадає з 1. В такому разі для опору 2-го сенсора R2 розраховується відповідне значення опору R21', яке приймається за значення опору сенсора 2 за температури t2. Отримано точку (t2;R21') на характеристиці 2', яка приймається за точку (t2;R21) на характеристиці 2.

Для спрощення пояснення методики поки що припустимо, що похибка прив'язки відсутня і нами розраховане значення опору R21 сенсора 1 за температури t2 – точка (t2;R21). Нагадаємо, що опір R1 сенсора 1 за температури t1, тобто точка (t1; R1) на тій самій характеристиці 1 була відома з самого початку. Для точок на одній і тій самій характеристиці сенсора 1 рівняння форми (6) може бути записано у вигляді:

$$\frac{R_{21}}{R_0} = I + A_1 \cdot t_2 + B_1 \cdot t_2^2, \quad (11)$$

$$\frac{R_1}{R_0} = I + A_1 \cdot t_1 + B_1 \cdot t_1^2, \quad (12)$$

де A1, B1, C1 – дійсні значення коефіцієнтів сенсора 1.

Віднімемо рівняння (12) від рівняння (11). Після зведення подібних членів, отримаємо:

$$\frac{R_{21} - R_1}{R_0} = A_1 \cdot (t_2 - t_1) + B_1 \cdot (t_2^2 - t_1^2). \quad (13)$$

Застосовуючи розкладання на множники, отримаємо наступний вираз для різниці температур:

$$t_s = \frac{R_{21} - R_1}{R_0} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot \frac{1}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot (t_2 + t_1)}. \quad (14)$$

Отриманий вираз є формулою для розрахунку різниці температур для запропонованого методу вимірювання (надалі - метод вимірювання за різницею опорів).

Зазначимо, що формула (14) містить суму температур. Для визначення способу розрахунку цієї суми оцінимо вплив похибки розрахунку суми на кінцевий результат. Задля цього введемо у рівняння (14) нові позначення:

$$t_s = \frac{R_x}{R_0} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot \frac{1}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot t_\Sigma}, \quad (15)$$

$$R_x = R_{21} - R_1. \quad (16)$$

$$t_\Sigma = t_2 + t_1. \quad (17)$$

Оцінемо складову похибки результату спричинену похибкою розрахунку суми температур. Нехай похибка розрахунку суми температур  $t_\Sigma$  складає величину  $\Delta t_\Sigma$ , тоді рівняння (15) набуде вигляду:

$$t_s + \Delta t_{s\Sigma} = \frac{R_x}{R_0} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot \frac{1}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot (t_\Sigma + \Delta t_\Sigma)}, \quad (18)$$

де  $\Delta t_{s\Sigma}$  – похибка результату спричинена похибкою розрахунку суми температур.

Перегруповуючи члени, перепишемо останнє рівняння у вигляді:

$$t_s + \Delta t_{s\Sigma} = \frac{R_x}{R_0} \cdot \frac{1}{A_1} \cdot \frac{1}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot t_\Sigma} \cdot \frac{1}{I + \frac{B_1 \cdot t_\Sigma}{A_1 + B_1 \cdot t_\Sigma} \cdot \frac{\Delta t_\Sigma}{t_\Sigma}}. \quad (19)$$

У числовому вигляді діапазон значень суми температур складає:

$$-80^\circ\text{C} < t_\Sigma < 170^\circ\text{C}, \quad (20)$$

звідки

$$-0.025 < \frac{B_1 \cdot t_\Sigma}{A_1 + B_1 \cdot t_\Sigma} < 0.011. \quad (21)$$

Оскільки відносні похибки величин суттєво менші за одиницю, із (21) витікає підсилена нерівність:

$$\left| \frac{B_1 \cdot t_\Sigma}{A_1 + B_1 \cdot t_\Sigma} \cdot \frac{\Delta t_\Sigma}{t_\Sigma} \right| \ll 1. \quad (22)$$

Співвідношення (22) дозволяє застосувати до останнього співмножника у рівнянні (19) формулу розкладання у степеневий ряд, обмежуючись двома членами ряду, тобто:

$$\frac{I}{I + \frac{B_1 \cdot t_{\Sigma}}{A_1 + B_1 \cdot t_{\Sigma}} \cdot \frac{\Delta t_{\Sigma}}{t_{\Sigma}}} \approx I - \frac{B_1 \cdot t_{\Sigma}}{A_1 + B_1 \cdot t_{\Sigma}} \cdot \frac{\Delta t_{\Sigma}}{t_{\Sigma}}. \quad (23)$$

З урахуванням перетворення (23) та вихідної формули (15) рівняння (19) набуває вигляду:

$$t_S + \Delta t_{S\Sigma} = t_S - t_S \cdot \frac{B_1 \cdot t_{\Sigma}}{A_1 + B_1 \cdot t_{\Sigma}} \cdot \frac{\Delta t_{\Sigma}}{t_{\Sigma}}, \quad (24)$$

звідки

$$\Delta t_{S\Sigma} = -t_S \cdot \frac{B_1}{A_1} \cdot t_{\Sigma} \cdot \frac{I}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot t_{\Sigma}} \cdot \frac{\Delta t_{\Sigma}}{t_{\Sigma}}. \quad (25)$$

Ураховуючи максимальне значення температур за діапазоном ( $t_2 = t_1 = 85^{\circ}\text{C}$ ), для наближеної оцінки похибки можна вважати, що:

$$\max \left| \frac{B_1}{A_1} \cdot t_{\Sigma} \right| \approx 0,02 \ll 1. \quad (26)$$

У такому разі вираз (25) можна спростити до вигляду:

$$\Delta t_{S\Sigma} = -t_S \cdot \frac{B_1}{A_1} \cdot \Delta t_{\Sigma}. \quad (27)$$

Неважко упевнитися в тому, що величина похибки розрахунку суми температур визначається тією ж формулою (10), що й похибка прямого розрахунку різниці температур, адже формула враховує найгірше сполучення параметрів, у тому числі й знаків складових:

$$\Delta t_{\Sigma} = \pm [2 \cdot \Delta t_0 + \delta \cdot (|t_2| + |t_1|)]. \quad (28)$$

Якщо підставити у цей вираз числові значення складових для сенсорів класу В без додаткового калібрування з формули (7), максимальні значення температур ( $t_2 = t_1 = 85^{\circ}\text{C}$ ;  $t_S = 20^{\circ}\text{C}$ ), тоді отримаємо наступні числові значення.

$$\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_S \approx \pm 1,5^{\circ}\text{C}, \quad (29)$$

$$|\Delta t_{S\Sigma}| \approx 0,0041^{\circ}\text{C} < 0,01^{\circ}\text{C}. \quad (30)$$

Звідси випливає, що вплив похибки визначення суми температур настільки незначний, що навіть за величин похибок некаліброваних сенсорів (29) не досягає допустимої похибки розрахунків (30). У такому разі величини температури сенсорів для підставлення у розрахункову формулу (14) можуть розраховуватися за спрощеними формулами [1] за характеристикою каліброваного холодного сенсора.

Для порівняння точності запропонованої методики вимірювання за різницею опорів з методом прямого розрахунку різниці температур введемо позначення похибки вимірювання різниці опорів  $\Delta R_X$ , тоді формула (15) набуває наступного вигляду:

$$t_S + \Delta t_{SR} = \frac{R_X + \Delta R_X}{R_0} \cdot \frac{I}{A_1} \cdot \frac{I}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot t_{\Sigma}}. \quad (31)$$

Звідси безпосередньо випливає наступний вираз:

$$\Delta t_{SR} = \frac{\Delta R_X}{R_0} \cdot \frac{I}{A_1} \cdot \frac{I}{I + \frac{B_1}{A_1} \cdot t_{\Sigma}}. \quad (32)$$

Застосовуючи такі самі припущення (26), що й при виведенні виразу (27), останнє рівняння можна привести до вигляду:

$$|\Delta t_{SR}| = \left| \frac{I}{A_1} \cdot \frac{\Delta R_X}{R_0} \right|. \quad (33)$$

З іншого боку, адитивна складова похибки резистивного сенсора  $\Delta t_0$  може бути виражена через похибку калібрування  $\Delta R_0$  коефіцієнта  $R_0$  у вигляді [2]:

$$\Delta t_0 = \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0}. \quad (34)$$

Звідси похибка вимірювання за методом прямого розрахунку різниці температур (10):

$$|\Delta t_S| = \left| 2 \cdot \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \right|. \quad (35)$$

Раніше вже зазначалося, що завдяки методиці калібрування:

$$\Delta R_X < \Delta R_0. \quad (36)$$

З порівняння виразів (33) та (35) з урахуванням нерівності (36) витікає наступне співвідношення:

$$|\Delta t_{SR}| < \frac{I}{2} \cdot |\Delta t_S|. \quad (37)$$

Таким чином, похибка методики вимірювання за різницею опорів менша за похибку метода прямого розрахунку, причому ця перевага більша за подвійну.

#### Висновки

Запропонована методика вимірювання різниці температур у промисловому діапазоні базується на вимірюванні різниці електричних опорів платинових резистивних сенсорів.

До розрахункової формули методики входить сума температур сенсорів, проте ці температури можуть розраховуватися з меншою точністю через їхній незначний вплив на кінцевий результат.

Застосування методики дозволяє більше ніж удвічі знизити результуючу похибку вимірювання порівняно з прямою методикою вимірювання температур двох сенсорів з наступним розрахунком різниці температур.

У подальшому доцільно виконати детальніший аналіз похибок запропонованої методики вимірювання різниці температур та дослідити допустимі для реалізації методики похибки визначення параметрів резистивних сенсорів.

#### Література

1. Метрологічні питання застосування термометрів опору для метеорологічних спостережень / В.І. Латенко // Вісник Інженерної академії України. – 2014. – №1. – С.242 – 248.
2. Дослідження похибок резистивних сенсорів у промисловому діапазоні температур / В.І. Латенко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №3 – С. 45 - 51.
3. Температурна похибка підігрівного ємнісного сенсора вологості повітря / Латенко В.І. // Вісник Інженерної академії України – 2013, -№ 3, 4. – С. 251 – 257.
4. Новые платиновые датчики температуры / Маргелов А. // Новости электроники – 2007. №1 – С. 17 - 18.

#### References

1. Metrological issues of application resistance thermometers for meteorological observations / V.I. Latenko // Bulletin of Engineering Academy of Ukraine - 2014. - №1. - P.242 - 248.
2. Study of resistive sensors errors in the industrial temperature range / V.I. Latenko // Measuring and Computing Devices in Technological Processes - 2014. - №3. - P.45 -51.
3. Temperature Error of Warmed Capacity Humidity Sensor / V.I. Latenko // Bulletin of Engineering Academy of Ukraine - 2013. - № 3,4. - P.251 - 257.
4. New platinum temperature probes / A.Margelov // Electronics news - 2007. - Vol.1. - p. 17 - 18.

Рецензія/Peer review : 6.12.2014 р.

Надрукована/Printed :2.1.2015 р.