

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБОК РЕЗИСТИВНИХ СЕНСОРІВ У ІНДУСТРІАЛЬНОМУ ДІАПАЗОНІ ТЕМПЕРАТУР

*Актуальність дослідження платинових резистивних сенсорів у промисловому діапазоні температур обумовлена тим, що цей діапазон охоплює практично усі сфери, де ними можна замінити рідинні термометри. На базі досліджень представницької партії сенсорів з індивідуально атестованими характеристиками підтверджена висока довгострокова стабільність параметрів платинових сенсорів. Показана доцільність індивідуального калібрування сенсорів на міжповірочний інтервал часу. Виводяться формули оцінки необхідної точності визначення індивідуальних значень параметрів сенсорів. Наводяться приклади числових розрахунків із застосуванням виведених формул.*

**Ключові слова:** термометр опору, метеорологічні спостереження, похибка, платиновий резистивний сенсор, промисловий діапазон температур, точність, вимірювання.

V.I. LATENKO

Ukrainian Hydrometeorological Institute of NAS of Ukraine

### STUDY OF RESISTIVE SENSORS ERRORS IN THE INDUSTRIAL TEMPERATURE RANGE

*The actuality of the study of platinum resistive sensors in the industrial temperature range due to the fact that this range covers almost all the areas where they can replace liquid thermometers. On the basis of investigations of representative party sensors with individually certified characteristics one confirmed the long-term stability of platinum sensors parameters. Expediency of individual calibration sensor in interval between the inspections is shown. The formulas estimated the required accuracy of the individual values of the sensors parameters are derived. The examples of numerical calculations are given using the derived formulas.*

**Keywords:** resistive thermometer, meteorological observation, error, platinum resistive sensor, industrial temperature range, accuracy, measurement.

#### Вступ

Зростання інтересу до резистивних сенсорів температури впродовж останніх кількох років великою мірою викликано тим, що цей тип сенсорів має перспективи стати оптимальною заміною рідинних термометрів у багатьох сферах застосування. Резистивні сенсори температури здатні працювати у діапазоні температур від криогенних до 1000°C [1], що багатократно перевищує діапазон усіх різновидів рідинних термометрів. Надалі ми обмежимося промисловим діапазоном температур від мінус 40°C до 85°C, який охоплює практично весь температурний діапазон застосування рідинних термометрів, зокрема - у галузі метеорології.

Саме у галузі метеорології проблема заміни рідинних термометрів постала особливо гостро через великі обсяги їх використання. Так, кількість метеорологічних станцій України сягає більше 180, на кожній є до кількох десятків точок вимірювання температури, потрібні ще резервні вимірювачі та підмінні комплекти на час повірки. Необхідність заміни термометрів на метеостанціях викликана не тільки критичним станом вітчизняного парку рідинних термометрів та їхнього виробництва, але й прагненням до автоматизації метеорологічних спостережень, яка у принципі не може бути реалізована у разі використання рідинних термометрів. На відміну від рідинних термометрів, вимірювання температури за допомогою резистивного сенсора передбачає наявність вимірювального перетворювача, зазвичай, - мікропроцесорного типу., що є суттєвою передумовою для автоматизації вимірювання.

Наведені факти визначають актуальність досліджень метрологічних властивостей резистивних сенсорів температури, які ще називають терморезистивними перетворювачами, термометрами опору або термодатчиками опору.

Найбільш придатними в якості заміни для рідинних термометрів можна вважати розповсюджені плівкові платинові сенсори температури [1] через їхню порівняно невелику вартість у поєднанні з високою стабільністю метрологічних характеристик. Попри це, максимальна допустима похибка вимірювачів температури для метеорологічних спостережень не перевищує  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  [2], тоді як тільки основна похибка платинового сенсора класу DIN B сягає  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ . Використання прецизійних дровових платинових сенсорів не вирішує цієї проблеми і через їх велику вартість, і через доволі велику похибку – більше  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

У деяких джерелах зустрічаються дотичні відомості про можливість підбору за параметрами плівкових платинових сенсорів температури [3], тоді як довгострокова стабільність забезпечується у межах поміжповірочного інтервалу часу властивостями самого сенсора, причому мова йде про похибки лише порядку  $\pm 0,01^\circ\text{C}$  і не більше того. У роботі [4] була запропонована інтерполяційна формула для розрахунку температури за опором платинового сенсора з похибкою меншою за  $\pm 0,01^\circ\text{C}$  в промисловому діапазоні температур. Якщо продовжити дослідження, поєднуючи ці практичний та аналітичний напрямки, тоді можна очікувати отримати метрологічні засади для побудови вимірювача температури у промисловому діапазоні з результуючою похибкою нижче за  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

#### Мета дослідження

Метою даного дослідження була розробка метрологічних засобів вимірювання температури в

індустріальному діапазоні за допомогою резистивних сенсорів з похибкою нижчою за похибку рідинного термометра ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ).

### Результати дослідження

З урахуванням числових значень величин кінцевим результатом дослідження повинні бути метрологічні засоби вимірювання температури в індустріальному діапазоні з похибкою не більше  $\pm 0,1^\circ\text{C}$  за допомогою резистивного сенсора, який виробляється за класом DIN B, тобто з основною допустимою похибкою  $\pm 0,3^\circ\text{C}$ . На перший погляд, – це абсурдна мета з позицій метрології.

Відповідно до міжнародних норм ІЕС-751 (DIN EN 60751) номінальна залежність електричного опору резистивного сенсора від температури визначається рівнянням Календара –Ван Дусена [1]:

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

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  $t < 0$ .

Похибки відхилення саме від цього номінального рівняння регламентують вказані норми для виробництва сенсорів. Було висунуто припущення, що величина похибки за класом DIN B визначається в основному можливостями виробництва сенсорів з наперед заданими значеннями параметрів, тоді як похибки відхилення від отриманого у процесі виробництва значення може бути суттєво меншою. Це припущення було підтверджено експериментально наступним чином.

Кілька років тому, починаючи з 2010 року, були атестовані комплекти сенсорів температури для встановлення на вітчизняних метеостанціях, загальна кількість сенсорів сягала представницької множини у 72 штуки. Сенсори були атестовані з допустимою похибкою по температурі не більше  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , для чого для кожного сенсора були визначені індивідуальні значення коефіцієнтів рівняння (1). Ці значення були занесені до атестатів на сенсори. Значення коефіцієнтів для кількох сенсорів для прикладу наведені у табл. 1, у рядку 7 для порівняння наведені номінальні значення. Після атестації сенсори були введені до складу вимірювачів температури повітря, температури поверхні ґрунту та температури на глибині ґрунту і знаходилися у експлуатації на метеостанціях:

- Карпатська ГМО (м. Стрий);
- м/с «Турка»;
- м/с «Волноваха»;
- ОГМС «Київ»;
- АМСЦ «Івано-Франківськ».

З загальної кількості сенсорів 9 сенсорів були одночасно виведені з ладу у результаті удару блискавки. Решта 63 пройшли вже 2 або 3 щорічні повірки. Результати повірок показали, що параметри жодного з 63 сенсорів не вийшли за допустимі границі впродовж двох, а частина з них – трьох років.

Таким чином, результати експериментального дослідження сенсорів підтверджують зроблене раніше припущення та підтверджують можливість і доцільність індивідуальної атестації резистивних сенсорів температури.

Таблиця 1

#### Атестовані значення коефіцієнтів рівнянням Календара –Ван Дусена для партії сенсорів

i	Зав. №	$R_{0is}$ $^\circ\text{C}$	$A_{is}$ $*10^{-3}/^\circ\text{C}$	$B_{is}$ $*10^{-7}/^\circ\text{C}^2$	$C_{is}$ $*10^{-12}/^\circ\text{C}^3$
1	№01-1	100.049	3.8996	-5.297	-4.320
2	№01-2	100.021	3.9061	-5.659	-4.330
3	№01-3	100.067	3.9119	-6.696	-4.320
4	№01-4	100.026	3.9053	-5.619	-4.310
5	№01-5	99.979	3.9179	-6.341	-4.330
6	№01-6	99.994	3.9152	-6.200	-4.300
7	nom	100.000	3.9083	-5.775	-4.183

Коли ми впевнилися у принциповій можливості застосування резистивних сенсорів у індустріальному діапазоні температур для вимірювань з похибкою не більшою за  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ , тепер матиме сенс детальніше дослідження похибок сенсора.

У роботі [4] було виведена наступна формула для розрахунку температури за опором сенсора в індустріальному діапазоні з похибкою не більше  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ :

$$t = -\frac{I}{A} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0} \right) - \frac{B}{A^3} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0} \right)^2 - 2 \cdot \frac{B^2}{A^5} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0} \right)^3. \quad (2)$$

Використовуючи цю формулу, оцінемо на конкретній партії сенсорів з табл. 1 розкид результатів вимірювань, до якого призводить індивідуальне атестування сенсорів. Щоби отримати результат у одиницях температури, використаємо наступну методику оцінки.

Результати розрахунків будуть занесені до табл.2. Спочатку для кількох значень температур по

діапазону розрахуємо для кожного сенсора відповідне значення опору  $R$  за формулою (1), але з індивідуальними значеннями коефіцієнтів. Далі за формулою (2) за номінальними значеннями коефіцієнтів розрахуємо значення температури  $t$ , які відповідають розрахованим раніше значенням опору. Різниця  $\Delta t$  між розрахованими та вихідними значеннями температури і буде оцінкою відхилення параметрів для кожного сенсора.

Таблиця 2

## Оцінка розкиду параметрів партії сенсорів

Зав. №	№ з/п	Параметр	Температура, °C			
			-40	0	40	85
№01-1	1	$R$ , Ом	84.362	100.049	115.570	132.829
	2	$t$ , °C	-39.778	0.125	40.076	85.066
	3	$\Delta t$ , °C	0.222	0.125	0.076	0.066
№01-2	4	$R$ , Ом	84.307	100.021	115.558	132.821
	5	$t$ , °C	-39.919	0.054	40.045	85.045
	6	$\Delta t$ , °C	0.081	0.054	0.045	0.045
№01-3	7	$R$ , Ом	84.306	100.067	115.618	132.856
	8	$t$ , °C	-39.921	0.171	40.200	85.138
	9	$\Delta t$ , °C	0.079	0.171	0.200	0.138
№01-4	10	$R$ , Ом	84.315	100.026	115.561	132.824
	11	$t$ , °C	-39.898	0.067	40.053	85.052
	12	$\Delta t$ , °C	0.102	0.067	0.053	0.052
№01-5	13	$R$ , Ом	84.213	99.979	115.546	132.816
	14	$t$ , °C	-40.155	-0.054	40.013	85.033
	15	$\Delta t$ , °C	-0.155	-0.054	0.013	0.033
№01-6	16	$R$ , Ом	84.239	99.994	115.555	132.823
	17	$t$ , °C	-40.090	-0.015	40.036	85.052
	18	$\Delta t$ , °C	-0.090	-0.015	0.036	0.052
nom	19	$R$ , Ом	84.278	100.000	115.541	132.803
	20	$t$ , °C	-39.991	0.000	40.000	84.999
	21	$\Delta t$ , °C	0.009	0.000	0.000	-0.001

Для контролю коректності розрахунків у рядках 19 – 21 містяться результати розрахунків за номінальних значень коефіцієнтів. Відповідні значення похибок у 21 рядку є значеннями методичної похибки від застосування інтерполяційної формули (2) для розрахунку температури, її максимальне значення (0,009°C для температури -40°C) не перевищує наведене вище допустиме значення похибки розрахунків  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ .

З результатів розрахунків випливає, що максимальне відхилення від номінальної характеристики має сенсор №01-1 при -40°C (3 рядок табл.2), відхилення сягає 0,22°C. Як і слід було очікувати, це відхилення вкладається у допустиме значення  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  для сенсорів класу DIN B, але перевищує прийняту нами максимальну допустиму похибку для вимірювача температури  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

Наведені у табл.2 приклади наочно демонструють необхідність визначення в процесі атестації індивідуальних значень коефіцієнтів для кожного екземпляру сенсора. Далі дослідимо вплив похибок визначення коефіцієнтів рівняння Календара – Ван Дусена на результуючу похибку розрахунку температури у аналітичному вигляді.

Найпростіше буде визначитися з коефіцієнтом рівняння (1)  $C$ , яким можна взагалі знехтувати, допускаючи виникнення похибки меншої за  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ . Це було продемонстровано вище, коли було застосовано розрахункову формулу (2), яка не містить коефіцієнта  $C$ . У такому разі рівняння (1) спрощується до вигляду:

$$R = R_0 \cdot (I + A \cdot t + B \cdot t^2). \quad (3)$$

З урахуванням похибок визначення коефіцієнтів це рівняння набуде вигляду:

$$R + \Delta R = (R_0 + \Delta R_0) \cdot [I + (A + \Delta A) \cdot t + (B + \Delta B) \cdot t^2], \quad (4)$$

де  $\Delta R$  – результуюча похибка за опором;  $\Delta R_0$ ;  $\Delta A$  та  $\Delta B$  – похибки визначення відповідних коефіцієнтів.

Співставляючи вирази (3) та (4), результуючу похибку можна записати у вигляді:

$$\Delta R = \Delta R_0 + R_0 \cdot A \cdot \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta A}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t + R_0 \cdot B \cdot \left( \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta R_0}{R_0} + \frac{\Delta B}{B} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t^2 \quad (5)$$

Складовими рівняння, які містять добуток похибок, можна знехтувати, як величинами вищих порядків малуватості. Тоді вираз для результуючої похибки набуває кінцевого вигляду:

$$\Delta R = R_0 \cdot \left[ \frac{\Delta R_0}{R_0} + A \cdot \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t + B \cdot \left( \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t^2 \right] \quad (6)$$

Отриманий вираз дозволяє оцінити внесок окремих складових похибки у результуючу похибку. Максимальне значення результуючої похибки відповідає максимальному значенню змінної  $t$ :

$$\max(\Delta R) = R_0 \cdot \left( 1,33 \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} + 0,33 \cdot \frac{\Delta A}{A} + 0,004 \cdot \frac{\Delta B}{B} \right) \quad (7)$$

З отриманого виразу (7) можна зробити висновок, що для забезпечення заданої точності сенсора відносна похибка визначення коефіцієнта  $A$  допускається приблизно у 4 рази більшою за похибку визначення  $R_0$ . **Визначати точне значення коефіцієнту  $B$  у процесі атестації взагалі недоцільно** через те, що вплив похибки його визначення знехтувально малий. У такому разі вираз (6) може бути спрощений до наступного вигляду:

$$\Delta R = \Delta R_0 + R_0 \cdot A \cdot \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t \quad (8)$$

У нормах DIN EN 60751 результуюча похибка платинових резистивних сенсорів надана у вигляді аналогічного (6) квадратного рівняння, тільки коефіцієнти рівняння задаються у числовому вигляді. Якщо ввести нові позначення для коефіцієнтів, тоді похідний від (6) вираз (8) можна представити у наближеному до нормованого вигляді:

$$\Delta R = \Delta R_0 + \Delta a \cdot t, \quad (9)$$

$$\Delta a = R_0 \cdot A \cdot \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \quad (10)$$

З (10) можна безпосередньо отримати наступний вираз:

$$\Delta A = \frac{\Delta a - \Delta R_0 \cdot A}{R_0}, \quad (11)$$

Результати розрахунків похибок у числовому вигляді для сенсорів класу DIN B наведені у табл.3. Зауважимо, що співвідношення похибок  $\Delta R_0/R_0$  до  $\Delta A/A$  становить приблизно 1/3. Якщо таким саме чином повторити розрахунки для сенсорів класу DIN A, то можна отримати співвідношення тих самих величин: 1/2,4. Тобто співвідношення похибок для сенсорів різних класів відрізняються, що потрібно враховувати в разі застосування оцінок похибок до прецизійних класів сенсорів, які не регламентовані нормами DIN EN 60751, наприклад - DIN B/3.

Таблиця3

Результати числового розрахунку похибок сенсора

$R_0$ , Ом	$A$ , °C <sup>-1</sup>	$\Delta R_0$ , Ом	$\Delta a$ , Ом/°C	$\Delta A$ , °C <sup>-1</sup>	$\Delta R_0/R_0$ , б/р	$\Delta A/A$ , б/р
100	$3.9083 \cdot 10^{-3}$	0.12	0.0019	$1.43 \cdot 10^{-5}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$

Виведена формула (8) є досить незручною для оцінки похибок визначення коефіцієнтів через те, що не надає прямого зв'язку з похибкою по температурі. У такому разі виведемо формулу для оцінки впливу похибок визначення коефіцієнтів рівняння Календара–Ван Дусена на кінцевий результат у одиницях температури. Скористаємося рішенням квадратного рівняння (3) у вигляді (2); проте для оцінки похибок можна знехтувати членами, які містять коефіцієнт  $B$ :

$$t = -\frac{I}{A} \cdot \left( 1 - \frac{R}{R_0} \right) \quad (12)$$

З урахуванням похибок визначення коефіцієнтів вираз набуває наступного вигляду:

$$t + \Delta t = -\frac{I}{A + \Delta A} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0 + \Delta R_0} \right). \quad (13)$$

Введемо наступне позначення для спільного знаменника цього виразу:

$$z = (A + \Delta A) \cdot (R_0 + \Delta R_0). \quad (14)$$

Після перетворень та нехтування величинами вищих порядків малуватості, отримаємо:

$$z = A \cdot R_0 \cdot \left[ I + \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \right], \quad (15)$$

тоді

$$t + \Delta t = -\frac{R_0 + \Delta R_0 - R}{A \cdot R_0 \cdot \left[ I + \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \right]}. \quad (16)$$

До виразу (16) застосуємо розкладання функції у ряд, обмежуючись двома першими членами ряду, у вигляді:

$$\frac{I}{I+x} \approx I - x. \quad (17)$$

Після перетворень та перегруповування членів вираз (16) набуде наступного вигляду:

$$t + \Delta t = -\frac{I}{A} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0} \right) - \frac{I}{A} \cdot \left( I - \frac{R}{R_0} \right) \cdot \left( -\frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) - \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \cdot \left( I - \frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta R_0}{R_0} \right). \quad (18)$$

Далі урахуємо визначення (12); після зведення подібних членів отримаємо:

$$\Delta t = t \cdot \left( -\frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) - \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} - \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} \cdot \left( -\frac{\Delta A}{A} - \frac{\Delta R_0}{R_0} \right). \quad (19)$$

Останніми членами виразу (19), які містять добутки відносних похибок, можна знехтувати, як величинами вищих порядків малуватості. У результаті перетворень отримаємо:

$$\Delta t = \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0} - \left( \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0} \right) \cdot t. \quad (20)$$

Введемо позначення для членів цього лінійного рівняння, тоді воно набуває вигляду:

$$\Delta t = \Delta t_0 - \Delta k \cdot t, \quad (21)$$

$$\Delta t_0 = \frac{I}{A} \cdot \frac{\Delta R_0}{R_0}, \quad (22)$$

$$\Delta k = \frac{\Delta A}{A} + \frac{\Delta R_0}{R_0}. \quad (23)$$

За нормами DIN EN 60751 похибка сенсора визначається лінійним рівнянням вигляду (21), в якому коефіцієнти наводяться у числовому вигляді. Тепер ми маємо можливість розрахувати числові значення похибок у виразі (21) за даними табл.3 та порівняти їх із значеннями за нормами.

Результати розрахунку за формулами (21) та (22) наведені у табл.4, там же наведені значення за нормами DIN EN 60751 для сенсорів класу DIN B. Незавжди упевнитися, що розраховані значення практично збігаються з нормованими, що підтверджує правомірності зроблених припущень.

Таблиця 4

#### Порівняння результатів розрахунків та нормованих значень похибок сенсора

Походження даних	$\Delta t_0$ , °C	$\Delta k$ , б/р
Розрахунок	0.307	0.0049
Норми	0.3	0.005

Далі за допомогою формули (20) оцінемо допустимі похибки визначення індивідуальних параметрів резистивних сенсорів для зменшення допустимої результуючої похибки до 0,1°C. Припустимо, що ми атестуємо сенсор з запасом на порядок кращим за клас DIN B, тобто хочемо обмежити результуючу похибку значенням  $\Delta t \leq 0,03^\circ\text{C}$ . Розподілимо цю похибку між складовими наступним чином:  $\Delta t_0 \leq 0,01^\circ\text{C}$ ;  $\Delta k \cdot t \leq 0,02^\circ\text{C}$ , звідки  $\Delta k \leq 0,0002$ . Результати розрахунків допустимих похибок визначення коефіцієнтів

Таблиця 5

**Результати розрахунків допустимих похибок визначення коефіцієнтів рівняння**

№	Клас сенсора або максимальна допустима похибка	Вихідні дані		Розраховані значення	
		$\Delta t_0$ , °C	$\Delta k$ , б/р	$\Delta R_0/R_0$ , б/р	$\Delta A/A$ , б/р
1	Клас DIN B	0.3	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$
2	$\pm 0.03^\circ\text{C}$	0.01	$0.2 \cdot 10^{-3}$	$0.08 \cdot 10^{-3}$	$0.12 \cdot 10^{-3}$

Для порівняння у рядку 1 наведені значення параметрів для сенсора класу DIN B, а у рядку 2 - для сенсора метеорологічного призначення з максимальною похибкою за температурою не більше  $\pm 0.03^\circ\text{C}$ . Як видно з таблиці, сенсор метеорологічного призначення потребує зменшення усіх похибок калібрування більше, ніж на порядок.

**Висновки**

Результати експериментальних досліджень показали, що довгострокова стабільність параметрів платинових резистивних сенсорів температури забезпечує значно меншу похибку відхилення параметрів сенсорів від їх первинних значень порівняно з похибками, нормованими для їх виготовлення. Це робить доцільним визначення індивідуальних параметрів сенсорів у процесі їх атестації.

У разі використання індивідуальних значень параметрів похибка розрахунку температури за опором може бути суттєво зменшена відносно її нормованого для виробництва значення.

Виведені у статті формули показують зв'язок між похибками визначення параметрів сенсора і результуючою похибкою розрахунку температури та дозволяють оцінювати у числовому вигляді допустимі похибки визначення параметрів.

**Література**

1. Новые платиновые датчики температуры / А. Маргелов // Новости электроники – 2007. - №1. - С.17 - 18.
2. World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Part I. Chapter 2. Measurement of temperature // WMO-8, 2008, P. 1.2-1 - 1.2-21.
3. Термометр цифровой ТЦ-1200. Руководство по эксплуатации ЕМКТ.120.00.00РЭ // М.-2010.- С. 20.
4. Метрологічні питання застосування термометрів опору для метеорологічних спостережень / В.І. Латенко // Вісник Інженерної академії України - 2014. - Вип.1. - С.242 - 248.

**References**

1. New platinum temperature probes / A.Margelov // Electronics news - 2007. - Vol.1. - p. 17 - 18.
2. World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation. Part I. Chapter 2. Measurement of temperature // WMO-8, 2008, P. 1.2-1 - 1.2-21.
3. Digital Thermometer TC-1200. Operating Instructions ЕМКТ.120.00.00RE // М. -2010. - P. 20.
4. Metrological issues of application resistance thermometers for meteorological observations / V.I. Latenko // Bulletin of Engineering Academy of Ukraine - 2014. - Issue 1. - P.242 - 248.

Рецензія/Peer review : 9.10.2014 р.

Надрукована/Printed :29.10.2014 р.