

Розрахунок похибки виміру коефіцієнта конвективної тепловіддачі по результатах виміру на лабораторному стенді

1. Загальні дані

В практиці технічних та лабораторних вимірів мають місце непрямі виміри, коли параметр, що визначається є функцією багатьох аргументів:

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n). \quad (1.1)$$

Аргументи $x_1, x_2, x_3 \dots, x_n$ визначаються в результаті *прямих* (та *непрямих*) вимірів і кожний з них має свою похибку, яка є водночас складовою загальної похибки. Випадкова похибка визначення величини y може бути оцінена з виразу [1]

$$\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2} \quad (1.2)$$

де: Δx_i – допустима похибка аргумента x_i .

Для вказаних умов аргументи мають бути *незалежними випадковими* величинами, а закон їх розподілу - “нормальним” [1].

2. Приклад розрахунку похибки виміру коефіцієнта конвективної тепловіддачі на лабораторному стенді

Були проведені дослідження тепловіддачі від нагрітої металевої трубки до оточуючого повітря. Досліджувалось значення коефіцієнта тепловіддачі за рахунок конвекції від відповідних значущих факторів. Теоретичною базою дослідження є залежність, яка пов’язує фізичні величини, що враховують умови та закономірності процесу тепловіддачі

$$\alpha_k = \frac{Q_k}{F \times (t_c - t_{oc})}, \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.1)$$

де: α_k - коефіцієнт тепловіддачі за рахунок конвекції, Вт/ (м²°C);

Q_k - конвективний тепловий потік від нагрівального елемента, Вт;

F – площа поверхні нагріву трубки, м²;

t_c та t_{oc} температура, °C, відповідно, поверхні стінки трубки та оточуючого середовища (повітря).

Результат та похибка виміру коефіцієнта тепловіддачі α_k знаходяться в залежності від значень та похибок виміру величин Q_k , F , t_c та t_{oc} , тобто похибка визначення кожної з них є складовою похибки виміру коефіцієнта тепловіддачі. Слід зазначити, що коефіцієнт тепловіддачі визначається як результат *непрямих* вимірів.

У зв’язку з тим, що всі параметри, що вимірюються, визначаються з допустимими (нормованими) відхиленнями, які можна вважати граничними значеннями похибки (межею допустимої похибки), то і сам коефіцієнт тепловіддачі може бути оцінений з певною межею допустимої похибки. Ця межа допустимої абсолютної похибки визначення коефіцієнта тепловіддачі може бути підрахована за виразом (1.2), який стосовно конкретної задачі буде мати вигляд

$$\Delta\alpha_K = \sqrt{\left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial Q_K}\Delta Q_K\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial F}\Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial t_c}\Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{\partial\alpha_K}{\partial t_{oc}}\Delta t_{oc}\right)^2} \quad (2.2)$$

Визначення похибки $\Delta\alpha_K$ для коефіцієнта тепловіддачі α_K розпочинають з визначення межі похибки для кожної з фізичних величин Q_K , F , t_c та t_{oc} , тобто: ΔQ_K , ΔF , Δt_c та Δt_{oc} ;

3. Умови проведення та результати вимірів

3.1. Вихідні дані

1. Термоперетворювач* (термопара)	XA(K)
2. Клас точності амперметра	0,1
3. Клас точності потенціометра	0,05
4. Номінальне значення термо-ЕРС потенціометра при вимірі температури стінки труби	e = 7,338 мВ
5. Температура оточуючого середовища (повітря)	t _{oc} = 19°C
6. Сила струму в ланцюгу нагрівача при здійсненні вимірювань	I = 3 А
7. Електричний опір трубки	R = 0,61 Ом

* дивись додаток

3.2. Температура стінки трубки

Температура стінки трубки вимірювалась стандартним термоелектричним термометром типу ТХА (термоперетворювач XA(K) в комплекті з потенціометром ПП-63. Показання потенціометра (номінальне значення) склали U = 7,338 мВ. За таблицею 1 (дод.1) такому значенню термо – ЕРС відповідає значення температури t_c = 180 °С.

3.3. Площа поверхні нагріву трубки

Площа поверхні нагріву трубки F визначається як

$$F = \pi \cdot d \cdot l, \text{ мм}^2, \quad (3.3)$$

де: **d** – діаметр трубки, визначений за допомогою штангенциркуля і дорівнює **10 мм**;
l – довжина трубки, що визначена лінійкою, і дорівнює **100 мм**.

Поверхня нагріву дорівнює

$$F = 3,14 \times 0,01 \times 0,1 = 0,00314 \text{ м}^2.$$

3.4. Температура оточуючого повітря

Температура оточуючого повітря визначалась скляним лабораторним хімічним термометром розширення ТЛ-4-2 зі шкалою 0...55 °С, ціна поділу – 0,1 °С і складала t_b = 20 °С (залежно від варіанту завдання).

3.5. Тепловий потік

Загальний тепловий потік (за рахунок конвекції та випромінювання) від нагрівального елементу Q , **Вт**, визначається потужністю електронагрівача

$$Q = I^2 \times R_t . \quad (3.1.)$$

Номінальне значення сили струму у ланцюгу відповідно до показань амперметра (завдання) склало $I = 3,2 \text{ А}$.

Електричний опір трубки R_t , **Ом** визначається в залежності від значення її температури t_c за формулою

$$R_t = R_0 \times (1 + \alpha \cdot t_c), \quad (3.2.)$$

де: $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$ – температурний коефіцієнт опору (стала величина для певного матеріалу);
 $R_0 = 0,6 \text{ Ом}$ - значення опору трубки при температурі стінки $t_c = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Значення опору трубки при температурі стінки $t_c = 180 \text{ }^\circ\text{C}$ складе

$$R_t = 0,61 \times (1 + 0,004 \cdot 180) = 1,05 \text{ Ом}.$$

Значення загального (сумарний) теплового потоку у відповідності до формули (3.1) складе

$$Q = 3^2 \times 1,05 = 9,45 \text{ Вт}.$$

Тепловий потік, що надходить від трубки за рахунок випромінювання розраховується за формулою

$$Q_v = C_{\text{пр}} \left(\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{ос}}}{100} \right)^4 \right) F, \text{ Вт}, \quad (3.3)$$

$C_{\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт випромінювання, $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ К}^4$;

$$C_{\text{пр}} = C_0 \cdot \varepsilon; \quad (3.4)$$

$C_0 = 5,67 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла; $\varepsilon = 0,56$ ступінь чорноти для нержавіючої сталі; $T_{\text{ст}} = 453 \text{ }^\circ\text{К}$ та $T_{\text{ос}} = 292 \text{ }^\circ\text{К}$ – відповідно, абсолютна температура стінки трубки та повітря.

Тепловий потік за рахунок випромінювання складе

$$Q_v = 3,18 \left(\left(\frac{453}{100} \right)^4 - \left(\frac{292}{100} \right)^4 \right) 0,00314 = 3,48 \text{ Вт}.$$

Конвективний тепловий потік визначають як

$$Q_k = Q - Q_v, \text{ Вт} \quad (3.5)$$

і він складе

$$Q_k = 9,45 - 3,48 = 5,97 \text{ Вт}.$$

4. Визначення абсолютних значень похибок величин

4.1. Абсолютна похибка виміру сили струму

Сила струму I вимірювалась амперметром із шкалою $0...50$ А класу $0,1$ - тобто допустима межа похибки не повинна перевищувати $\pm 0,1\%$ від діапазону вимірювання. Основна похибка виміру сили струму не повинна перевищувати

$$\Delta I = 0,1\% \left(\frac{50 \text{ A}}{100\%} \right) = \pm 0,05 \text{ A.} \quad (4.1)$$

4.2. Абсолютна похибка виміру температури стінки трубки

Температура стінки трубки t_c вимірювалась стандартним термоелектричним термометром типу ТХА (термоперетворювач хромель-алюмелевий) в комплекті з потенціометром ПП-63 класу $0,05$.

Похибка визначення температури стінки Δt_c підраховується з похибок виміру термо-ЕРС потенціометра Δe_{Π} та термоелектричного термометра Δe_T .

У відповідності до паспорту потенціометра границя допустимої похибки визначається з формули

$$\Delta e_{\Pi} = \pm (5 \times 10^{-4} \times U + 0,5 \times U_p) = \pm (5 \times 10^{-4} \times 7,338 + 0,5 \times 0,05) = \pm 0,029 \text{ мВ} \quad (4.2)$$

де: U – показання потенціометра, мВ;

U_p – ціна поділу шкали, мВ, яка дорівнює $0,05$ мВ.

Допустиме відхилення від номінального значення термо-ЕРС термометра ТХА в діапазоні значень температур $0...300$ °С визначається за формулою и складає

$$\Delta e_T = 0,14 \text{ мВ} \quad (4.3)$$

Обидві складові є незалежними одна від другої, а сумарна похибка їх визначення Δe_{Σ} підраховується з формули

$$\Delta e_{\Sigma} = \pm \sqrt{\Delta e_T^2 + \Delta e_{\Pi}^2} = \pm \sqrt{0,14^2 + 0,029^2} = \pm 0,14 \text{ мВ.} \quad (4.4)$$

За додатком 1 в таблиці 1 шляхом інтерполяції визначають значення температури, що відповідає цьому значенню термо-ЕРС, яка і є похибкою в визначенні температури стінки t_c і дорівнює $\Delta t_c = \pm 3,5$ °С, або у відносних одиницях (відносно номінального значення температури стінки)

$$\frac{\Delta t_c}{t_c} = \frac{3,5}{180} = \pm 0,0194$$

4.3. Абсолютна похибка виміру температури оточуючого повітря

Межа допустимої основної похибки виміру температури оточуючого повітря t_{oc} у відповідності до паспорту скляного лабораторного термометру складає $\Delta t_B = \pm 0,2$ °С ,

$$\text{Або у відносних одиницях} \quad \frac{\Delta t_B}{t_B} = \frac{0,2}{19} = \pm 0,011.$$

4.4. Абсолютна похибка виміру площі поверхні трубки

Абсолютна похибка виміру діаметра трубки штангенциркулем складає $\Delta d = \pm 0,01$ мм (0,00001м) що відповідає ціні поділу, а довжини $\Delta l = \pm 0,5$ мм (0,0005 м).

Абсолютна похибка визначення площі поверхні трубки визначається за формулою і складе

$$\begin{aligned} \Delta F &= \pm \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial l} \Delta l\right)^2} = \pm \sqrt{(3,14 \times 0,1 \times 0,0005)^2 + (3,14 \times 0,01 \times 0,00001)^2} = \\ &= \pm 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2. \end{aligned}$$

4.5. Абсолютна похибка виміру теплового потоку

У відповідності до формули (3.1) тепловий потік Q є результатом прямих вимірів сили струму I , A в ланцюгу та непрямих вимірів електричного опору R_t , Ом трубки. Тобто складовими абсолютної похибки теплового потоку ΔQ є абсолютні похибки сили струму ΔI та електричного опору трубки ΔR .

4.5.1. Визначення похибки виміру електричного опору

Похибка в визначенні опору трубки ΔR складається з похибки приладу для виміру опору ΔR_{II} та похибки виміру температури стінки трубки ΔR_T .

Складова ΔR_{II} визначається із умов задачі як $\pm 0,2\%$ (клас точності 0,2) від отриманого значення опору, який дорівнює 0,61 Ом і становить

$$\Delta R_{II} = \pm \frac{0,2\%}{100\%} 0,61 = \pm 0,0012 \text{ Ом.}$$

Складова похибки виміру опору трубки за рахунок виміру температури складає

$$\Delta R_T = \pm R_0 \times \alpha \times \Delta t_c = 0,61 \times 4 \cdot 10^{-3} \times 3,5 = \pm 0,00854 \text{ Ом.}$$

Межа сумарної допустимої похибки визначення опору трубки по значенню її температури при умові, що обидві похибки ΔR_T та ΔR_{II} - є незалежними одна від другої, складе

$$\Delta R = \sqrt{\Delta R_{II}^2 + \Delta R_T^2} = \sqrt{0,0012^2 + 0,0085^2} = \pm 0,00858 \text{ Ом.}$$

або у відносних одиницях

$$\Delta R / R = \pm 0,00858 / 1,05 = \pm 0,0082.$$

4.5.2. Абсолютна похибка визначення теплового потоку

Оцінюють похибку визначення теплового потоку за формулою

$$\Delta Q = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial I} \Delta I\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial R} \Delta R\right)^2} = \pm \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 1,05 \cdot 0,25)^2 + (3^2 \cdot 0,00854)^2} = 1,57 \text{ Вт.}$$

Отримані значення фізичних величин та їх похибки занесено до таблиці.

Результати вимірів фізичних величин та їх абсолютних похибок

Таблиця 4.1.

№ п/п	Фізична величина	Значення фізичної величини та абсолютної похибки	Значення відносної похибки, %
1	Конвективний тепловий потік, Q_k складові: сила струму, I електричний опір трубки, R	$5,97 \pm 1,57$ Вт $3,0 \pm 0,05$ А $1,05 \pm 0,00858$ Ом	$\pm 26,3$ $\pm 1,6$ $\pm 0,82$
2	Площа поверхні трубки, F	$0,00314 \pm 1,57 \cdot 10^{-4}$ м ²	$\pm 5,0$
3	Температура стінки трубки, t_c	$180 \pm 3,5$ °С	$\pm 1,9$
4	Температура оточуючого повітря, t_b	$19 \pm 0,2$ °С	$\pm 1,05$

5. Визначення похибки виміру коефіцієнта тепловіддачі

Маючи значення допустимих похибок кожного аргументу, можна перейти до підрахунку границь похибки визначення коефіцієнта тепловіддачі за формулою (2.2). Спочатку визначаються часткові похідні кожної складової похибки:

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial Q_k} = \frac{1}{F(t_c - t_{oc})} = \frac{1}{0,00314(180-19)} = 1,97 \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}};$$

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial F} = \frac{Q_k}{F^2(t_c - t_{oc})} = \frac{5,97}{0,00314^2(180-19)} = 3760,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^4 \cdot \text{°С}};$$

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial t_c} = \frac{Q_k}{F(t_c - t_{oc})^2} = \frac{5,97}{0,00314(180-19)^2} = 0,194 \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}^2};$$

$$\frac{\partial \alpha_k}{\partial t_{oc}} = \frac{Q_k}{F(t_c - t_{oc})^2} = \frac{5,97}{0,00314(180-19)^2} = 0,194 \frac{1}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}^2}.$$

Абсолютна похибка складає

$$\Delta(\alpha_k) = \pm \sqrt{(1,97 \cdot 1,57)^2 + (3760,9 \cdot 1,57 \cdot 10^{-4})^2 + (0,194 \cdot 3,5)^2 + (0,194 \cdot 0,2)^2} = 3,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

Розрахункове значення коефіцієнта тепловіддачі за рахунок конвекції α_k складе

$$\alpha_k = \frac{Q_k}{F(t_c - t_{oc})} = \frac{5,97}{0,00314 \cdot (180-19)} = 11,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}.$$

Границя допустимої відносної похибки

$$\Delta = \frac{\Delta \alpha_k}{\alpha_k} = \pm \frac{3,22}{11,81} \times 100\% = 27,26\%.$$

Остаточний результат буде $\alpha_k = 11,81 \pm 3,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$.

Завдання до виконання розрахункової роботи

Параметри	Варіанти завдання (за двома останніми цифрами залікової книжки)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Умовне позначення термоперетворювача (передостання цифра) табл.1	BP (A)-1	ПП (S)	XA (K)	XK (L)	ПП (S)	BP (A)-1	XK (L)	XA (K)	ПП (S)	BP (A)-1
2. Клас точності амперметра (остання цифра)	0,05	0,1	0,5	0,05	0,1	0,15	0,05	0,1	0,15	0,05
3. Клас точності потенціометра (передостання цифра)	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1	0,05	0,1
4. Номінальне значення термо-ЕРС потенціометра при вимірі температури стінки трубки, U, мВ (остання цифра)	2,871	1,029	7,338	11,75	1,356	2,163	14,52	7,139	1,314	2,791
5. Температура оточуючого повітря t_в, °C (передостання цифра)	22,0	21,0	23,0	24,0	25,0	20,0	18,0	19,0	22,5	18,5
6. Сила струму, I, А (остання цифра)	2,5	2,8	3,0	3,3	2,6	2,9	2,3	2,4	2,7	3,1
7. Електричний опір трубки, R, Ом (передостання цифра)	0,55	0,45	0,48	0,54	0,66	0,60	0,52	0,61	0,59	0,58

Література

1. Задоянний О.В., Метрологія і стандартизація: Конспект лекцій.- К.: КНУБіА, 2001-78 с.
2. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1984.-232 с.
3. Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Сборник задач по теплотехническим измерениям и приборам. М.: Энергоатомиздат, 1985 г., - 328 стр.
4. В.С. Чистяков. Краткий справочник по теплотехническим измерениям.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 320 с.

Номінальні значення статичних характеристик термоперетворювачів

Таблиця 1

Темпе- ратура робо- чого кінця, °С	Термо-ЕРС, мВ, для температури, °С									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Термоперетворювач ХА(К)										
0	0,000	0,039	0,079	0,119	0,158	0,198	0,238	0,277	0,317	0,357
10	0,397	0,437	0,477	0,517	0,557	0,597	0,637	0,677	0,718	0,758
20	0,798	0,838	0,879	0,919	0,960	1,000	1,041	1,081	1,122	1,162
30	1,203	1,244	1,285	1,325	1,366	1,407	1,448	1,489	1,529	1,570
40	1,611	1,652	1,693	1,734	1,776	1,817	1,858	1,899	1,940	1,981
50	2,022	2,064	2,105	2,146	2,188	2,229	2,270	2,312	2,353	2,394
60	2,436	2,477	2,519	2,560	2,601	2,643	2,684	2,726	2,767	2,809
70	2,850	2,892	2,933	2,975	3,016	3,058	3,100	3,141	3,183	3,224
80	3,266	3,307	3,349	3,390	3,432	3,473	3,515	3,556	3,598	3,639
90	3,681	3,722	3,764	3,805	3,847	3,888	3,930	3,971	4,012	4,054
100	4,095	4,137	4,178	4,219	4,261	4,302	4,343	4,384	4,426	4,467
110	4,508	4,549	4,590	4,632	4,673	4,714	4,755	4,796	4,837	4,878
120	4,919	4,960	5,001	5,042	5,083	5,124	5,164	5,205	5,246	5,287
130	5,327	5,368	5,409	5,450	5,490	5,531	5,571	5,612	5,652	5,693
140	5,733	5,774	5,814	5,855	5,895	5,936	5,976	6,016	6,057	6,097
150	6,137	6,177	6,218	6,258	6,298	6,338	6,378	6,419	6,459	6,499
160	6,539	6,579	6,619	6,659	6,699	6,739	6,779	6,819	6,859	6,899
170	6,939	6,979	7,019	7,059	7,099	7,139	7,179	7,219	7,259	7,299
180	7,338	7,378	7,418	7,458	7,498	7,538	7,578	7,618	7,658	7,697
190	7,737	7,777	7,817	7,857	7,897	7,937	7,977	8,017	8,057	8,097
200	8,137	8,177	8,217	8,257	8,297	8,337	8,377	8,417	8,457	8,497
210	8,537	8,577	8,617	8,657	8,697	8,737	8,777	8,817	8,857	8,898
Термоперетворювач ПП(С)										
0	0,000	0,005	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033	0,038	0,044	0,050
10	0,055	0,061	0,067	0,072	0,078	0,084	0,090	0,095	0,101	0,107
20	0,113	0,119	0,125	0,131	0,137	0,142	0,148	0,154	0,161	0,167
30	0,173	0,179	0,185	0,191	0,197	0,203	0,210	0,216	0,222	0,228
40	0,235	0,241	0,247	0,254	0,260	0,266	0,273	0,279	0,286	0,292
50	0,299	0,305	0,312	0,318	0,325	0,331	0,338	0,345	0,351	0,358
60	0,365	0,371	0,378	0,385	0,391	0,398	0,405	0,412	0,419	0,425
70	0,432	0,439	0,446	0,453	0,460	0,467	0,474	0,481	0,488	0,495
80	0,502	0,509	0,516	0,523	0,530	0,537	0,544	0,551	0,558	0,566

90	0,573	0,580	0,587	0,594	0,602	0,609	0,616	0,623	0,631	0,638
100	0,645	0,653	0,660	0,667	0,675	0,682	0,690	0,697	0,704	0,712

Продовження табл.1

110	0,719	0,727	0,734	0,742	0,749	0,757	0,764	0,772	0,780	0,787
120	0,795	0,802	0,810	0,818	0,825	0,833	0,841	0,848	0,856	0,864
130	0,872	0,879	0,887	0,895	0,903	0,910	0,918	0,926	0,934	0,942
140	0,950	0,957	0,965	0,973	0,981	0,989	0,997	1,005	1,013	1,021
150	1,029	1,037	1,045	1,053	1,061	1,069	1,077	1,085	1,093	1,101
160	1,109	1,117	1,125	1,133	1,141	1,149	1,158	1,166	1,174	1,182
170	1,190	1,198	1,207	1,215	1,223	1,231	1,240	1,248	1,256	1,264
180	1,273	1,281	1,289	1,297	1,306	1,314	1,322	1,331	1,339	1,347
190	1,356	1,364	1,373	1,381	1,389	1,398	1,406	1,415	1,423	1,432
200	1,440	1,448	1,457	1,465	1,474	1,482	1,491	1,499	1,508	1,516
210	1,525	1,534	1,542	1,551	1,559	1,568	1,576	1,585	1,594	1,602

Термоперетворювач ВР(А)-1

0	0,000	0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	0,072	0,085	0,097	0,109
10	0,121	0,134	0,146	0,158	0,171	0,183	0,196	0,208	0,221	0,233
20	0,246	0,258	0,271	0,284	0,296	0,309	0,322	0,335	0,348	0,360
30	0,373	0,386	0,399	0,412	0,425	0,438	0,451	0,464	0,477	0,490
40	0,504	0,517	0,530	0,543	0,556	0,570	0,583	0,596	0,610	0,623
50	0,637	0,650	0,663	0,677	0,690	0,704	0,718	0,731	0,745	0,758
60	0,772	0,786	0,799	0,813	0,827	0,841	0,855	0,868	0,882	0,896
70	0,910	0,924	0,938	0,952	0,966	0,980	0,994	1,008	1,022	1,036
80	1,050	1,064	1,079	1,093	1,107	1,121	1,135	1,150	1,164	1,178
90	1,193	1,207	1,221	1,236	1,250	1,265	1,279	1,293	1,308	1,322
100	1,337	1,352	1,366	1,381	1,395	1,410	1,425	1,439	1,454	1,469
110	1,483	1,498	1,513	1,528	1,542	1,557	1,572	1,587	1,602	1,617
120	1,632	1,646	1,661	1,676	1,691	1,706	1,721	1,736	1,751	1,766
130	1,781	1,796	1,812	1,827	1,842	1,857	1,872	1,887	1,902	1,918
140	1,933	1,948	1,963	1,979	1,994	2,009	2,025	2,040	2,055	2,071
150	2,086	2,101	2,117	2,132	2,148	2,163	2,178	2,194	2,209	2,225
160	2,240	2,256	2,272	2,287	2,303	2,318	2,334	2,349	2,365	2,381
170	2,396	2,412	2,428	2,443	2,459	2,475	2,490	2,506	2,522	2,538
180	2,553	2,569	2,585	2,601	2,617	2,632	2,648	2,664	2,680	2,696
190	2,712	2,728	2,743	2,759	2,775	2,791	2,807	2,823	2,839	2,855

200	2,871	2,887	2,903	2,919	2,935	2,951	2,967	2,983	2,999	3,015
210	3,032	3,048	3,064	3,080	3,096	3,112	3,128	3,144	3,161	3,177

Продовження табл.1

Термоперетворювач ХК(L)										
0	0	0,063	0,127	0,190	0,254	0,318	0,381	0,445	0,509	0,574
10	0,638	0,702	0,767	0,832	0,896	0,961	1,026	1,091	1,157	1,222
20	1,287	1,353	1,418	1,484	1,550	1,616	1,682	1,748	1,815	1,881
30	1,947	2,014	2,081	2,148	2,214	2,282	2,349	2,416	2,483	2,551
40	2,618	2,686	2,753	2,821	2,889	2,957	3,025	3,094	3,162	3,230
50	3,299	3,367	3,436	3,505	3,574	3,643	3,712	3,781	3,850	3,920
60	3,989	4,059	4,128	4,198	4,268	4,338	4,408	4,478	4,548	4,619
70	4,689	4,760	4,830	4,901	4,972	5,042	5,113	5,184	5,255	5,327
80	5,398	5,469	5,541	5,612	5,684	5,756	5,828	5,899	5,971	6,043
90	6,116	6,188	6,260	6,333	6,405	6,478	6,550	6,623	6,696	6,769
100	6,842	6,915	6,988	7,061	7,135	7,208	7,281	7,355	7,429	7,502
110	7,576	7,650	7,724	7,798	7,872	7,946	8,021	8,095	8,169	8,244
120	8,318	8,393	8,468	8,543	8,618	8,693	8,768	8,843	8,918	8,993
130	9,069	9,144	9,220	9,295	9,371	9,446	9,522	9,598	9,674	9,750
140	9,826	9,902	9,979	10,055	10,131	10,208	10,284	10,361	10,438	10,514
150	10,591	10,688	10,745	10,822	10,899	10,976	11,054	11,131	11,208	11,286
160	11,363	11,441	11,519	11,596	11,674	11,752	11,830	11,908	11,986	12,064
170	12,142	12,221	12,299	12,377	12,456	12,534	12,613	12,692	12,770	12,849
180	12,928	13,007	13,086	13,165	13,244	13,323	13,403	13,482	13,561	13,641
190	13,720	13,800	13,879	13,959	14,039	14,119	14,199	14,278	14,359	14,439
200	14,519	14,599	14,679	14,759	14,840	14,920	15,001	15,081	15,162	15,243
210	15,323	15,404	15,485	15,566	15,647	15,728	15,809	15,890	15,971	16,053

Основні параметри термоелектричних перетворювачів

Таблиця 2

Тип термоперетворювача	Умовне позначення номінальної статистичної характеристики перетворювача	Матеріал термоелектродів	Діапазон температур, для якого встановлено межі допустимих відхилень, °С	Межі допустимих відхилень термоЕРС від номінального значення, \pm ДЕ, мВ
ТХА	ХА(К)	Хромель-алюмель	0...300	0,140
ТПП	ПП(S)	Платинородій (10% родія) – платина	0...300	0,008
ТВР	ВР(A)-1	Вольфрамений (5% ренія) – вольфрамений (10% ренія)	0...1000	0,080
ТХК	ХК(L)	Хромель-копель	0...300	0,140 + 0,0002 x t*

t* - значення температури, що вимірюється, °С.