

2. ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ СТАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Общие сведения

Технические измерения широко применяются как в промышленности, так и в лабораторных условиях. Они выполняются однократно с помощью рабочих средств измерений, градуированных в соответствующих единицах. Однократный отсчет показаний по шкале измерительного прибора принимается за окончательный результат измерения физической величины.

При технических измерениях, как правило, применяют измерительные системы, в состав которых входит несколько измерительных устройств. Поэтому при оценке погрешности измерения необходимо определить погрешность всей измерительной системы. Измерительная система может быть представлена как последовательно соединенные измерительные преобразователи и измерительные приборы. Каждое измерительное устройство, входящее в измерительную систему, преобразует входной сигнал $X_{ВХ}$ в выходной $X_{ВЫХ}$ с погрешностью Δ .

Чаще всего оценка предела погрешности измерительной системы ($\gamma_{ИС}$) производится с использованием значений пределов допускаемых основных и дополнительных погрешностей измерительных устройств, входящих в систему, т.е. фактически определяется максимальное значение предела погрешности измерительной системы по формуле

$$\gamma_{ИС} = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2 + \dots + \gamma_n^2}. \quad (2.1)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ – предел допускаемой основной приведенной погрешности i -го измерительного устройства.

Для решения задачи определения предела погрешности измерительной системы применим изложенную выше методику, с помощью которой можно также выполнять метрологическое обоснование выбора измерительной системы.

2.2. Формулировка задачи

Произвести оценку предельной статической погрешности измерения температуры показывающим милливольтметром класса точности K , с пределами измерений $t_H \div t_B$, в цепи с термоэлектрическим преобразователем (ТЭП), имеющим определенную номинальную статическую характеристику (НСХ), и включенным в цепь милливольтметра термокомпенсатором типа КТ-4 для автоматического введения поправки на

температуру свободных концов ТЭП. Милливольтметр показывает температуру t , заданная средняя температура свободных концов ТЭП, на которую производится компенсация, равна t'_0 . Схема системы измерения температуры приведена на рисунке 2.1.

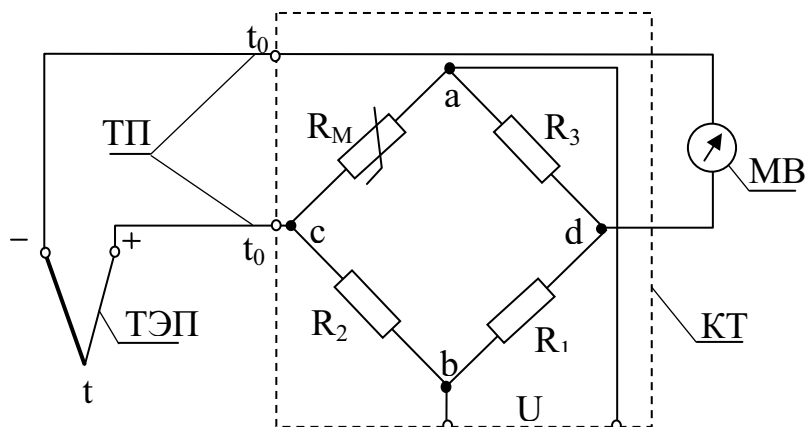


Рис. 2.1. Схема системы измерения температуры:

R_M – медный резистор, R_1, R_2, R_3 – сопротивления мостовой измерительной схемы, КТ – термокомпенсатор, ТЭП – термоэлектрический преобразователь, ТП – термоэлектродные провода, МВ – милливольтметр пирометрический

2.3. Методика расчета

Диапазон измерений милливольтметра определяют с помощью таблицы номинальной статической характеристики ТЭП

$$E_D = E(t_B, 0) - E(t_H, 0). \quad (2.2)$$

Предел допускаемой основной погрешности показаний милливольтметра:

- в милливольтцах
$$\pm \Delta E_{MB} = \pm \frac{\gamma_{MB} \cdot E_D}{100}, \quad (2.3)$$

- в градусах Цельсия
$$\pm \Delta t_{MB} = \pm \Delta E_{MB} \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right), \quad (2.4)$$

- в процентах
$$\pm \delta_{MB} = \pm \frac{\Delta t_{MB}}{t} \cdot 100. \quad (2.5)$$

где $\left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right)$ – обратный коэффициент преобразования ТЭП, определяемый с помощью таблицы НСХ ТЭП.

Рис. 2.2 иллюстрирует определение обратного коэффициента преобразования ТЭП.

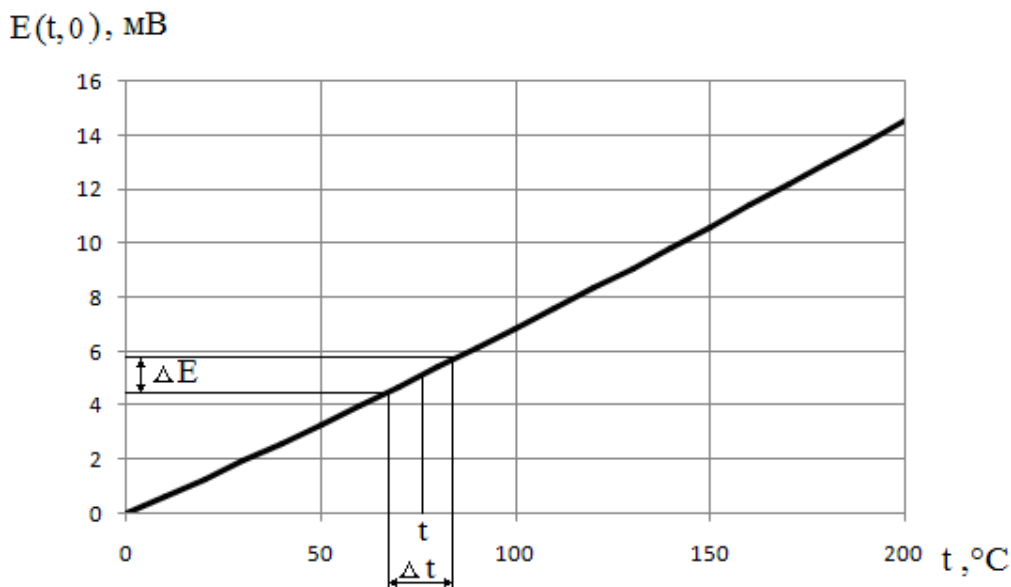


Рис. 2.2. Определение обратного коэффициента преобразования ТЭП по НСХ

Обратный коэффициент преобразования ТЭП определяется следующим образом:

- в окрестности измеряемой температуры t выбирают небольшой интервал температур $\Delta t = t_2 - t_1$, причем $t_2 > t > t_1$;
- по известной НСХ ТЭП находят изменение ТЭДС, соответствующее выбранному интервалу температур $\Delta E = E(t_2, t_0) - E(t_1, t_0)$;
- находят отношение $\left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right)$.

Предел допускаемого отклонения ТЭДС ТЭП:

- в милливольтгах
$$\pm \Delta E_T = \Delta t_{\text{доп}} \cdot \left(\frac{\Delta E}{\Delta t} \right), \quad (2.6)$$

где $\pm \Delta t_{\text{доп}}$ – предел допускаемой абсолютной погрешности, °С.

$\frac{\Delta E}{\Delta t}$ – чувствительность ТЭП, рассчитанная для измеряемого

значения температуры по НСХ аналогично обратному коэффициенту преобразования ТЭП.

- в градусах Цельсия
$$\pm \Delta t_T = \pm \Delta E_T \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right), \quad (2.7)$$

- в процентах
$$\pm\delta_T = \pm \frac{\Delta t}{t} \cdot 100. \quad (2.8)$$

Пределы допускаемых температурных погрешностей ТЭП приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Допускаемые погрешности ТЭП

Тип ТЭП	НСХ	Класс допуска	Диапазон измерений, °С	Пределы допускаемых погрешностей, $\pm\Delta t_{доп}$, °С
ТХК	L (ХК)	2	от –40 до 300 от 300 до 800	$\pm 2,5$ $\pm(0,7 + 0,005 \cdot t)$
ТХА	К (ХА)	2	от –40 до 333 от 333 до 1300	$\pm 2,5$ $\pm 0,0075 \cdot t$
		1	от –40 до 375 от 375 до 1300	$\pm 1,5$ $\pm 0,004 \cdot t$
ТПП	S (ПП)	2	от 0 до 600 от 600 до 1600	$\pm 1,5$ $\pm 0,0025 \cdot t$
		1	от 0 до 1100 от 1100 до 1600	$\pm 1,0$ $\pm(1,0 + 0,003 \cdot (t - 1100))$

Допускаемые отклонения ТЭДС в паре между жилами термоэлектродных (компенсационных) проводов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 Допускаемые отклонения ТЭДС в паре между жилами термоэлектродных проводов

НСХ ТЭП	L (ХК)	K (ХА)	S (ПП)
Допускаемое отклонение ТЭДС $\pm\Delta E_{ТП}$, мВ	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	$\pm 0,003$

- в градусах Цельсия
$$\pm\Delta t_{ТП} = \pm\Delta E_{ТП} \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right), \quad (2.9)$$

- в процентах
$$\pm\delta_{ТП} = \pm \frac{\Delta t_{ТП}}{t} \cdot 100. \quad (2.10)$$

Рассчитывают сопротивление R_M мостовой схемы для автоматического введения поправки на изменение температуры свободных концов ТЭП и погрешность измерений, вызванную отклонением температуры свободных концов ТЭП от заданного значения.

С помощью таблицы НСХ ТЭП определяют поправку для заданной средней температуры t'_0 свободных концов ТЭП

$$E(t'_0, 0) = \Delta e_{dc}, \text{ мВ.} \quad (2.11)$$

Определяют напряжение питания мостовой схемы

$$U_{ab} = \frac{\Delta e_{dc}(2 + \alpha \cdot t'_0)}{\alpha \cdot t'_0}, \quad (2.12)$$

где $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$ – температурный коэффициент сопротивления меди, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

t'_0 – заданная средняя температура свободных концов ТЭП, $^{\circ}\text{C}$.

При напряжении источника питания $U = 4$ В для обеспечения требуемого значения U_{ab} величина сопротивления R_M должна быть равна

$$R_M = \frac{U}{U_{ab}}, \text{ Ом.} \quad (2.13)$$

Если сопротивления мостовой схемы и свободные концы ТЭП находятся при нормальной температуре $t_0 = 20$ $^{\circ}\text{C}$, а с помощью резистора R_M вводится поправка на заданное среднее значение температуры свободных концов ТЭП $t'_0 = 50$ $^{\circ}\text{C}$, то на диагонали моста развивается разность потенциалов, которая определяется по формуле

$$\Delta e'_{dc} = U_{ab} \cdot \frac{\alpha \cdot t_0}{2 + \alpha \cdot t_0}, \text{ мВ.} \quad (2.14)$$

При этом $\Delta e'_{dc} > E(t_0, 0) = E(20^{\circ}\text{C}, 0^{\circ}\text{C})$, т.е. происходит перекомпенсация, вызывающая погрешность измерения температуры:

- в милливольтгах $\pm \Delta E_{KT} = \pm \left[\Delta e'_{dc} - E(t_0, 0) \right], \text{ мВ,} \quad (2.15)$

- в градусах Цельсия $\pm \Delta t_{KT} = \pm \Delta E_{KT} \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta E} \right), \quad (2.16)$

- в процентах $\pm \delta_{KT} = \pm \frac{\Delta t_{KT}}{t} \cdot 100. \quad (2.17)$

Задавая различные температуры свободных концов ТЭП t_0 , строят график зависимости Δt_{KT} от t_0 .

Приближенное значение предельной статической погрешности показаний измерительной системы определяют по формуле

$$\pm\delta_{ис} = \pm\sqrt{\delta_{МВ}^2 + \delta_T^2 + \delta_{ТП}^2 + \delta_{КТ}^2}, \quad (2.18)$$

где $\delta_{МВ}$, δ_T , $\delta_{ТП}$, $\delta_{КТ}$ – статическая погрешность показаний соответственно милливольтметра, ТЭП, термоэлектродных проводов и термокомпенсатора.

что соответствует $\pm\Delta t_{ис} = \pm\frac{t \cdot \delta_{ис}}{100}, \text{ } ^\circ\text{C}.$ (2.19)

Подробный пример расчета изложен в [1].

Варианты исходных данных к изложенной выше задаче приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Варианты исходных данных

№ варианта	$t_H \div t_B, \text{ } ^\circ\text{C}$	НСХ	Класс допуска ТЭП	K	$t, \text{ } ^\circ\text{C}$
1	–50–50	L (XK)	2	1	45
2	–50–100	L (XK)	2	1	90
3	–50–150	L (XK)	2	1	100
4	–50–200	L (XK)	2	1	150
5	0–100	L (XK)	2	1	80
6	0–150	L (XK)	2	1	120
7	0–200	L (XK)	2	1	170
8	0–300	L (XK)	2	1	290
9	0–400	L (XK)	2	1	350
10	0–600	L (XK)	2	1	550
11	200–800	L (XK)	2	1	700
12	200–600	L (XK)	2	1	500
13	0–400	K (XA)	1	1	300
14	0–600	K (XA)	1	1	545
15	0–800	K (XA)	1	1	770
16	0–900	K (XA)	1	1	800
17	0–1100	K (XA)	1	1	1000
18	0–1300	K (XA)	2	1	900
19	200–1200	K (XA)	2	1	950
20	400–900	K (XA)	2	1	830
21	600–1100	K (XA)	2	1	970
22	700–1300	K (XA)	2	1	1050
23	0–1300	S (III)	1	1	1200
24	0–1600	S (III)	1	1	1500

Продолжение табл. 2.1

№ варианта	$t_H \div t_B, ^\circ\text{C}$	НСХ	Класс допуска ТЭП	K	$t, ^\circ\text{C}$
25	0–1300	S (III)	2	1	1250
26	–50–50	L (XK)	2	1,5	45
27	–50–100	L (XK)	2	1,5	90
28	–50–150	L (XK)	2	1,5	100
29	–50–200	L (XK)	2	1,5	150
30	0–100	L (XK)	2	1,5	80
31	0–150	L (XK)	2	1,5	120
32	0–200	L (XK)	2	1,5	170
33	0–300	L (XK)	2	1,5	290
34	0–400	L (XK)	2	1,5	350
35	0–600	L (XK)	2	1,5	550
36	200–800	L (XK)	2	1,5	700
37	200–600	L (XK)	2	1,5	500
38	0–400	K (XA)	1	1,5	300
39	0–600	K (XA)	1	1,5	545
40	0–800	K (XA)	1	1,5	770
41	0–900	K (XA)	1	1,5	800
42	0–1100	K (XA)	1	1,5	1000
43	0–1300	K (XA)	1	1,5	900
44	200–1200	K (XA)	2	1,5	950
45	400–900	K (XA)	2	1,5	830
46	600–1100	K (XA)	2	1,5	970
47	700–1300	K (XA)	2	1,5	1050
48	0–1300	S (III)	2	1,5	1200
49	0–1600	S (III)	2	1,5	1500
50	0–1300	S (III)	1	1,5	1250