

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОДБОРА В СОГЛАСОВАННЫЕ ПАРЫ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ.

В.М. Кузовков, В.А. Милютин, Е.С. Иванчура
ЗАО «ВЗЛЕТ»

Многие авторитетные специалисты в области термометрии убеждены, что подбор термопреобразователей сопротивления (ТПС) в пары следует осуществлять методом индивидуальной градуировки по результатам измерений при трех значениях температуры. Этот метод математически абсолютно корректен, так как предполагает решение системы из трех уравнений с тремя неизвестными. Однако, подобные измерения предполагают наличие дорогостоящей аппаратуры и высококвалифицированного персонала, что, безусловно, существенно повышает цену на сами комплекты термометров сопротивления, а также и на стоимость их периодической поверки.

Учитывая, что теплосчетчики, в которых используют подобранные в пары термопреобразователи, сейчас ставят почти в каждый дом, подобные затраты могут коснуться практически каждой семьи.

В связи с изложенным выше представляется интересным оценить погрешность, вносимую при подборе ТПС в пары по двум градуировочным точкам. Для этого в ЗАО «Взлет» поставили следующий эксперимент: измерили сопротивление 96 термометров сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС» одной из наиболее востребованных НСХ Pt 500 с чувствительными элементами, изготовленными по пленочной технологии при трёх значениях температуры: 0, 100 и 180 °С.

При проведении эксперимента использовалась аппаратура с метрологическими характеристиками, приведенными в таблице 1.

Таблица 1.

Значение температуры, °С	Значение погрешности измерений, °С
0	0,033
100	0,045
180	0,045

После эксперимента для всех исследуемых термометров были построены индивидуальные статические характеристики (ИСХ) двумя способами: по трем (0 °С, 100 °С и 180 °С) и по двум градуировочным точкам (0 °С и 100 °С). Поскольку допустимой для термометров, используемых в теплосчетчиках, является квадратичная интерполяция стандартной функции МТШ-90 [1], использовали функцию Каллендара Ван Дюзена, как и предписывает ГОСТ 6651.

Для построения индивидуальной статической характеристики термометров по трём градуировочным точкам решали следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} R_{0i}(1 + A_i \cdot t_2 + B_i \cdot t_2^2) = R_{100i} \\ R_{0i}(1 + A_i \cdot t_3 + B_i \cdot t_3^2) = R_{180i} \end{cases}, \text{ где}$$

R_{0i} - сопротивление i – го термометра при 0 °С,

A_i и B_i - коэффициенты ИСХ i – го термометра при градуировке по трём точкам,

t_2 - температура при градуировке в паровом термостате, измеренная эталонным термометром,

t_3 - температура, близкая к 180 °С, при градуировке в регулируемом термостате, измеренная эталонным термометром,

R_{100i} - сопротивление i – го термометра при градуировке в паровом термостате,

R_{180i} - сопротивление i – го термометра при градуировке в регулируемом термостате.

При построении ИСХ термометров по двум градуировочным точкам решали следующее уравнение:

$$R_{0i}(1 + A'_i \cdot t_2 + B \cdot t_2^2) = R_{100i}, \text{ где}$$

A'_i - коэффициент ИСХ i -го термометра при градуировке по двум точкам,

B - коэффициент НСХ согласно ГОСТ 6651.

Далее определялась разность $\Delta(t)$ рассчитанных двумя способами значений сопротивления (в температурном эквиваленте):

$$\Delta(t)_i = \frac{(R_{0i}(1 + A_i \cdot t + B_i \cdot t^2)) - (R_{0i}(1 + A'_i \cdot t + B \cdot t^2))}{\frac{dR(t)}{dt}}, \text{ где}$$

$R(t)$ - сопротивление термометра согласно НСХ.

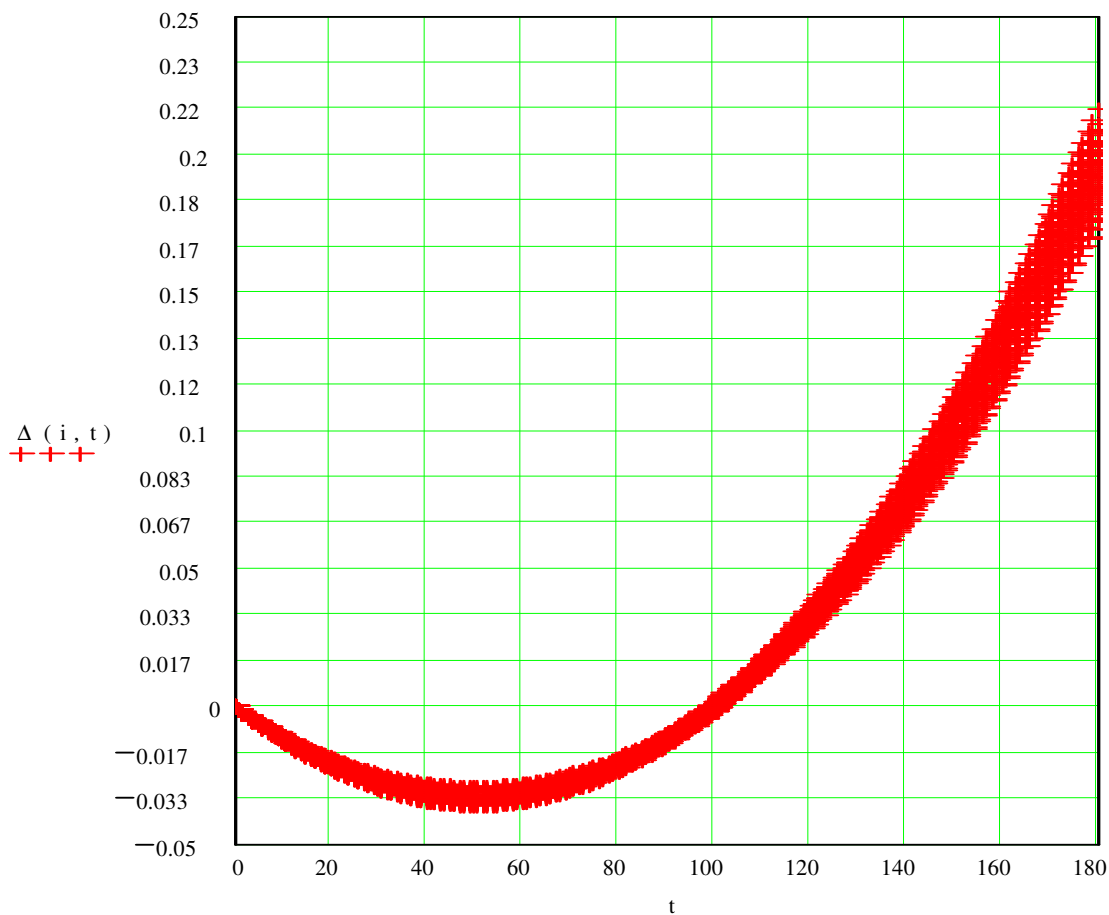


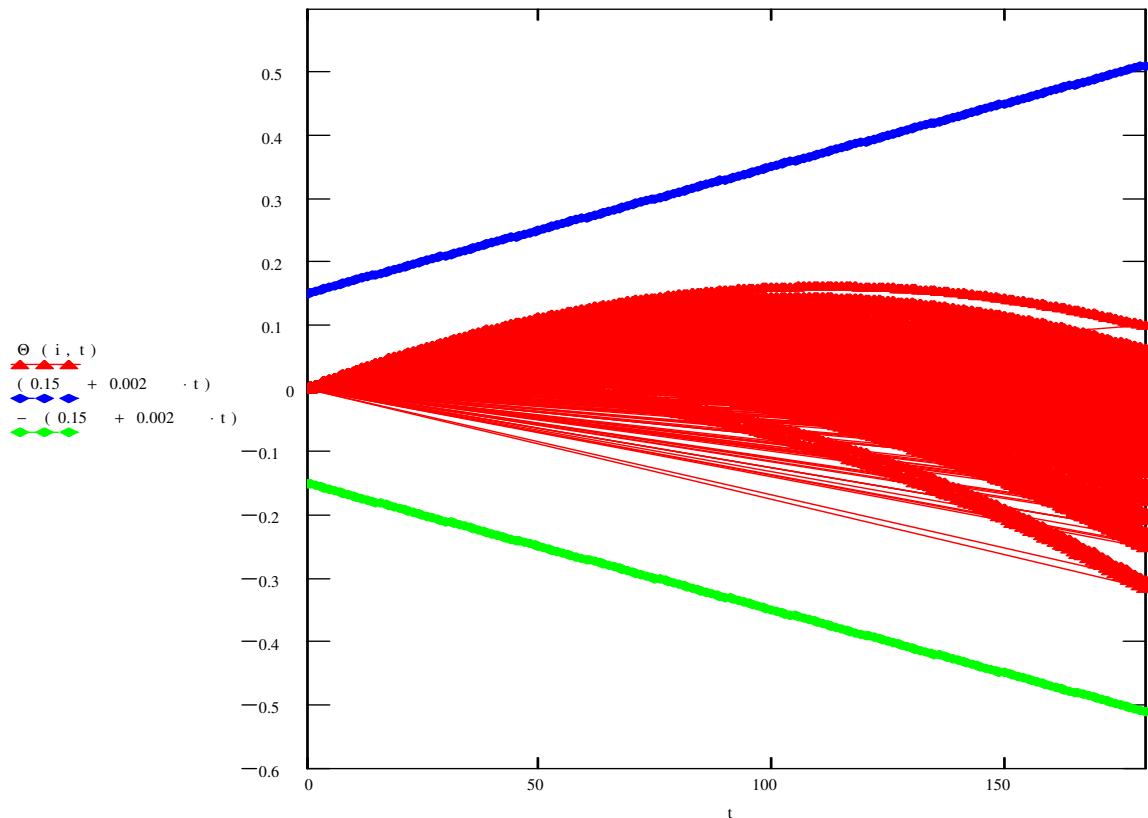
Рисунок 1.

Кривые отклонения градуировочных зависимостей для всех исследованных термопреобразователей оказались практически идентичными (максимальное расхождение составило 0,04 °С при температуре 180 °С), следовательно, для согласования в пары термопреобразователей сопротивления для теплосчетчиков возможна градуировка по двум точкам, причем не обязательно второй градуировочной точкой выбирать верхнюю границу диапазона, можно измерять сопротивление и при 100 °С, в стандартном паровом термостате, не повышая стоимости как первичной, так и периодической поверки комплектов термометров сопротивления.

Таким образом, на основании проведенного эксперимента можно сделать вывод о возможности согласования термопреобразователей сопротивления с чувствительными элементами, изготовленными по пленочной технологии, в пары по результатам градуировки по двум точкам (0 °С и 100 °С) [2], при рабочем диапазоне до 180 °С.

Результаты исследований показывают, что индивидуальную градуировку преобразователей температуры повышенной точности, необходимых для решения некоторых технических задач, следует осуществлять по трем точкам. [3],[1].

Рисунок 2.



Для всех исследованных термометров сопротивления построены кривые отклонения (Θ, t) индивидуальных градуировочных зависимостей от НСХ. Результаты показаны на рисунке 2.

На рисунке также показаны пределы допустимой погрешности для ТПС класса А по ГОСТ 6651 ($\pm(0,15+0,002 \times t)$). Из представленных данных видно, что исследованные пленочные термометры полностью удовлетворяют требованиям данного стандарта, что позволяет предположить, что со временем именно пленочные термопреобразователи сопротивления станут наиболее часто использоваться для комплектования теплосчетчиков, так как малые размеры их чувствительного элемента позволяют использовать такие датчики в трубах малых диаметров без дополнительных приспособлений.

Оценка погрешности измерения разности температур согласованной парой термометров сопротивления.

Разность температур, измеренная согласованной парой ТПС, определяется как $\Delta t = t_1 - t_2$, где t_1, t_2 - температура, рассчитанная по НСХ в зависимости от сопротивления 1-го и 2-го термометров из комплекта соответственно.

$$t_1 = t_{\text{н}01} - \Delta_{\text{а}0\text{а}1} - \Delta_{\text{е}0\text{е}1}, \text{ а } t_2 = t_{\text{н}02} - \Delta_{\text{а}0\text{а}2} - \Delta_{\text{е}0\text{е}2}.$$

Следовательно, основной составляющей погрешности измерения разности температур является погрешность градуировки, так как погрешность измерения можно считать одинаковой для ТПС согласованной пары. Потому результат данного эксперимента доказывает

возможность согласования ТПС в пары класса 1 с погрешностью измерения разности температур $\Delta_{\Delta t} = \pm(0,05 + 0,001 \times \Delta t)$ °С.

Из поверенных ТПС были подобраны пары двумя способами

- по методике [2].

- по методике, изложенной в ТУ на «Взлёт ТПС», т.е. когда при подборе в пару проверяется соответствие испытываемой пары ТПС следующим требованиям:

- разность значений сопротивления R_0 согласованной пары ТПС (ΔR_{0cn}) не должна выходить за пределы, указанные в таблице 2;
- разность W_{100} пары термопреобразователей не превышает величины допускаемого отклонения – 0,0001 для класса 1 и 0,0002 для класса 2.

Таблица 2.

Исполнение ТПС	Номинальное значение R_0 , Ом	Наибольшее допустимое значение ΔR_{0cn} , Ом	
		Класс 1	Класс 2
ТПС/П	100	$\pm 0,015$	$\pm 0,03$
	500	$\pm 0,075$	$\pm 0,15$
	1000	$\pm 0,15$	$\pm 0,3$

Для подобранных пар были рассчитаны погрешности измерения разности температур. Некоторые из них приведены в нижеприведенных таблицах.

В таблице 3 и таблице 4 приведены значения погрешности измерения разности температур для пар ТПС подобранных по методике [2].

В таблице 5 и таблице 6 приведены значения погрешности измерения разности температур для пар ТПС подобранных по методике, изложенной в ТУ на «Взлёт ТПС».

В таблице 7 приведены значения погрешности измерения разности температур для пар ТПС подобранных по методике, изложенной в ТУ на «Взлёт ТПС» с разбросом характеристик, близким к максимальному.

Значения погрешности измерения разности температур парой «Взлёт ТПС» с заводскими номерами 15366 и 15379.

Таблица 3

		Значения разности температур, °С											
		3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Минимальное значение температуры, °С	0	0.006	0.010	0.019	0.036	0.050	0.062	0.072	0.080	0.085	0.088	0.089	0.087
	10	0.005	0.009	0.017	0.031	0.043	0.053	0.061	0.066	0.069	0.070	0.068	0.063
	20	0.005	0.007	0.014	0.027	0.037	0.044	0.049	0.052	0.053	0.051	0.047	0.040
	30	0.004	0.006	0.012	0.022	0.030	0.035	0.038	0.038	0.036	0.032	0.025	0.016
	40	0.003	0.005	0.010	0.017	0.023	0.026	0.026	0.024	0.020	0.013	0.004	0.008
	50	0.003	0.004	0.008	0.013	0.016	0.016	0.014	0.010	0.003	0.006	0.018	0.032
	60	0.002	0.003	0.005	0.008	0.009	0.007	0.002	0.004	0.014	0.025	0.040	0.056
	70	0.001	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	0.009	0.019	0.030	0.045	0.061	0.081
	80	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.012	0.022	0.033	0.047	0.064	0.084	0.106
$\Delta_{\Delta t}$, °С допустимая погрешность измерения разности температур		0.053	0.055	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150

Значения погрешности измерения разности температур парой «Взлёт ТПС» с заводскими номерами 10521 и 12100.

Таблица 4.

		Значения разности температур, °С											
		3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Минимальное значение температуры, °С	0	0.006	0.010	0.019	0.036	0.050	0.061	0.070	0.076	0.080	0.080	0.078	0.073
	10	0.005	0.008	0.016	0.030	0.042	0.051	0.057	0.060	0.061	0.059	0.054	0.046
	20	0.004	0.007	0.014	0.025	0.034	0.040	0.043	0.044	0.042	0.037	0.029	0.018
	30	0.003	0.005	0.011	0.019	0.026	0.029	0.030	0.027	0.022	0.015	0.004	0.009
	40	0.002	0.004	0.008	0.014	0.017	0.018	0.016	0.011	0.003	0.007	0.021	0.037
	50	0.001	0.003	0.005	0.009	0.009	0.007	0.002	0.005	0.016	0.030	0.046	0.065
	60	0.001	0.001	0.003	0.003	0.001	0.004	0.011	0.022	0.035	0.052	0.071	0.093
	70	0.000	0.000	0.000	0.002	0.007	0.015	0.025	0.039	0.055	0.074	0.096	0.122
80	0.000	0.001	0.002	0.007	0.015	0.026	0.039	0.055	0.075	0.097	0.122	0.150	
$\Delta_{\Delta t}$, °С допустимая погрешность измерения разности температур		0.053	0.055	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150

Значения погрешности измерения разности температур парой «Взлёт ТПС» с заводскими номерами 12042 и 12090.

Таблица 5

		Значения разности температур, °С											
		3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Минимальное значение температуры, °С	0	0.006	0.009	0.018	0.034	0.047	0.059	0.068	0.075	0.080	0.082	0.082	0.080
	10	0.006	0.009	0.016	0.030	0.041	0.051	0.058	0.062	0.065	0.065	0.063	0.059
	20	0.006	0.009	0.015	0.026	0.036	0.043	0.047	0.050	0.050	0.048	0.044	0.037
	30	0.006	0.008	0.014	0.023	0.030	0.035	0.037	0.037	0.035	0.031	0.025	0.016
	40	0.006	0.008	0.012	0.019	0.024	0.027	0.027	0.025	0.021	0.014	0.005	0.006
	50	0.006	0.008	0.011	0.016	0.018	0.019	0.017	0.012	0.006	0.003	0.015	0.028
	60	0.006	0.007	0.010	0.012	0.012	0.010	0.006	0.001	0.010	0.021	0.035	0.051
	70	0.007	0.007	0.008	0.009	0.007	0.002	0.004	0.013	0.025	0.038	0.055	0.073
80	0.007	0.007	0.007	0.005	0.001	0.006	0.015	0.026	0.040	0.056	0.075	0.096	
$\Delta_{\Delta t}$, °С допустимая погрешность измерения разности температур		0.053	0.055	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150

Значения погрешности измерения разности температур парой «Взлёт ТПС» с заводскими номерами 12052 и 12051.

Таблица 6.

		Значения разности температур, °С											
		3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Минимальное значение температуры, °С	0	0.006	0.010	0.019	0.037	0.051	0.063	0.073	0.080	0.085	0.087	0.086	0.083
	10	0.004	0.008	0.016	0.030	0.043	0.052	0.059	0.064	0.066	0.066	0.062	0.057
	20	0.002	0.005	0.012	0.025	0.034	0.041	0.046	0.048	0.048	0.044	0.039	0.030
	30	0.001	0.003	0.009	0.019	0.026	0.031	0.033	0.032	0.029	0.023	0.015	0.004
	40	0.001	0.001	0.006	0.013	0.018	0.020	0.019	0.016	0.010	0.002	0.009	0.023
	50	0.002	0.000	0.003	0.008	0.010	0.009	0.006	0.000	0.008	0.019	0.033	0.049
	60	0.003	0.002	0.000	0.002	0.002	0.001	0.007	0.016	0.027	0.040	0.057	0.076
	70	0.004	0.003	0.003	0.003	0.006	0.012	0.020	0.031	0.045	0.062	0.081	0.103
80	0.005	0.005	0.005	0.008	0.014	0.022	0.033	0.047	0.064	0.083	0.105	0.130	
$\Delta_{\Delta t}$, °С допустимая погр. измерения разности температур		0.053	0.055	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150

Значения погрешности измерения разности температур парой «Взлёт ТПС» с заводскими номерами 17346 и 17386.

Таблица 7.

		Значения разности температур, °С											
		3	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Минимальное значение температуры, °С	0	0.006	0.010	0.020	0.037	0.052	0.064	0.073	0.080	0.084	0.086	0.085	0.081
	10	0.007	0.010	0.019	0.033	0.045	0.055	0.062	0.066	0.068	0.067	0.063	0.057
	20	0.008	0.011	0.018	0.030	0.039	0.046	0.050	0.052	0.051	0.047	0.041	0.032
	30	0.008	0.011	0.017	0.026	0.033	0.037	0.039	0.038	0.034	0.028	0.019	0.007
	40	0.009	0.011	0.016	0.023	0.027	0.029	0.028	0.024	0.018	0.008	0.004	0.018
	50	0.010	0.012	0.015	0.019	0.021	0.020	0.016	0.010	0.001	0.011	0.026	0.044
	60	0.011	0.012	0.014	0.016	0.015	0.011	0.005	0.004	0.016	0.031	0.049	0.069
	70	0.013	0.013	0.013	0.012	0.009	0.002	0.007	0.019	0.033	0.051	0.071	0.095
80	0.014	0.014	0.013	0.009	0.003	0.006	0.018	0.033	0.051	0.071	0.094	0.120	
$\Delta_{\Delta t}$, °С допустимая погрешность измерения разности температур		0.053	0.055	0.060	0.070	0.080	0.090	0.100	0.110	0.120	0.130	0.140	0.150

Данные расчета подтверждают корректность используемой ЗАО «ВЗЛЁТ» методики подбора термопреобразователей сопротивления в согласованные пары.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Согласование пар ТПС с чувствительными элементами для работы в узлах теплоучета, изготовленными по пленочной технологии, можно производить по двум точкам 0 °С и 100 °С. При этом необходимым условием является подбор в пары термометров, изготовленных на основе одинаковых чувствительных элементов по одинаковой технологии.
2. При расчете температуры ТПС с чувствительными элементами, изготовленными по пленочной технологии, использование НСХ для платиновых ТС по ГОСТ Р 6651 погрешность не превышает допустимых норм.
3. При подборе в пары погрешность измерения разности температур не превышает значение $\pm(0,05+0,001 \times \Delta t)$.

Литература.

1. Моисеева Н.П. "Исследование интерполяционных зависимостей для ТСП в узких диапазонах температур".
2. Термопреобразователи сопротивления и расходомеры электромагнитные в узлах коммерческого учета теплоты. Методика подбора пар термопреобразователей и согласование расходомеров по метрологическим характеристикам. Общие положения
3. Олевская О.Е, Медведев В.А. «О единой методике поверки комплектов термопреобразователей сопротивления, применяемых в теплосчетчиках».