

Поверка и методика согласования в пары термопреобразователей сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС».

1. Поверка.

Поверка термопреобразователей сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС» проводится сотрудниками ФГУ "Тест С.-Петербург" на базе лаборатории термометрии ЗАО «ВЗЛЕТ».

В нашей лаборатории используются приборы МИТ 8.10, подключенные к персональным компьютерам, нулевые и паровые термостаты производства Омского завода «Эталон» (вода – дистиллированная), эталонные термометры 2-го и 3-го разрядов различного происхождения, высокоточный барометр БРС – 1М. Обработка и архивирование данных, полученных при поверке, выполняется с помощью специальной программы.

Согласно приведённой в ГОСТ Р 8.624-2006 методике, мы рассчитали значения расширенной неопределённости поверки термометров сопротивления на рабочих местах в лаборатории термометрии ЗАО «ВЗЛЕТ». Результаты измерений и вычислений незначительно различаются на разных рабочих местах и практически совпадают для номиналов термометров сопротивления 100 и 500 Ом. В качестве примера приводим бюджеты неопределённости измерений температуры эталонным/образцовым термометром сопротивления (таблица 1) и неопределённости измерения сопротивления градуируемого термометра сопротивления номиналом 500 Ом (таблица 2).

Таблица 1.

Бюджет неопределённости измерений температуры эталонным/образцовым термометром сопротивления.

Пункт ГОСТ Р 8.624-2006	Источник неопределённости	Коэффициент влияния		Значение станд. неопред.		Вклад в суммарную неопр., °С	
		0 °С	100 °С	0 °С	100 °С	0 °С	100 °С
11.4.1	случайные эффекты при измерении	2.506 °С/Ом	2.632 °С/Ом	1.598E-04 Ом	3.305E-04 Ом	4.004E- 04	8.698E -04
11.4.3	градуировка эталонного термометра	1	1	5.000E-03 °С	1.000E-02 °С	5.000E- 03	1.000E -02
11.4.4	поверка МИТ 8.10	2.506 °С/Ом	2.632 °С/Ом	5.000E-04 Ом	6.283E-04 Ом	1.253E- 03	1.654E -03
	неопределённость воспроизведения температуры	1	1	5.774E-03 °С	5.774E-03 °С	5.774E- 03	5.774E -03
Суммарная неопределённость измерения температуры эталонным термометром, °С						7.772E- 03	1.171E -02

Приведённый расчёт несколько отличается от таблицы 2 ГОСТ Р 8.624-2006. Это вызвано особенностями методики поверки термопреобразователей сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС». Например, температура в паровом термостате во время поверки не измеряется эталонными термометрами сопротивления, а определяется расчетным путём по показаниям барометра БРС 1-М. При этом правильность метода периодически контролируется сличением значений, рассчитанных по показаниям барометра, и эталонного термометра сопротивления. Тем не менее, мы сочли нужным учесть дополнительный источник неопределённости - «неопределённость воспроизведения температуры» ($u(\delta t_r)$). Поверка термопреобразователей сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС» проводится при условии, что различие между температурой, рассчитанной по показаниям

барометра и температурой, измеренной эталонным термометром не превышает 0,01 °С. Значение $u(\delta t_r)$ рассчитывается в предположении о равномерном распределении, так как задаются границы допустимого отклонения. Аналогично рассчитывается значение $u(\delta t_r)$ для нулевого термостата: качество смеси льда и воды контролируется эталонным термометром. Поверка проводится только в том случае, если $t_0 \in [-0.01; 0.01]$, где t_0 - температура в рабочей камере нулевого термостата.

Также при расчёте неопределённости исключили влияние разрешающей способности измерительной установки, так как результаты измерения сопротивления поступают непосредственно на компьютер, а не считываются с дисплея МИТ 8.10.

Таблица 2.

Бюджет неопределённости измерения сопротивления градуируемого термометра сопротивлением номиналом 500 Ом.

Пункт ГОСТ Р 8.624- 2006	Источник неопределённости	Коэффициент влияния		Значение		Вклад, °С	
		0 °С	100 °С	0 °С	100 °С	0 °С	100 °С
11.8.1	случайные эффекты при измерении	0.512 °С/Ом	0.527 °С/Ом	6.325E-04 Ом	1.581E-03 Ом	3.236E- 04	8.338E -04
11.8.2	поверка МИТ 8.10	0.512 °С/Ом	0.527 °С/Ом	2.667E-03 Ом	3.308E-03 Ом	1.365E- 03	1.745E -03
11.8.5	перепад температур в рабочей зоне термостата	1	1	1.732E-02 °С	1.732E-02 °С	1.732E- 02	1.732E -02
неопределённость измерения сопротивления поверяемого термопреобразователя сопротивления, °С						1.739E- 02	1.744E -02
суммарная стандартная неопределённость поверки, °С						1.904E- 02	2.101E -02
расширенная неопределённость поверки, °С						3.807E- 02	4.2E- 02

Как правило, не менее 75 % термопреобразователей сопротивления признаётся соответствующими классу допуска А, отбраковывается, в среднем, 1 – 1,5 %. Если это соотношение вдруг нарушается, то это является поводом к общению с поставщиком ЧЭ. Интересно, что введение учёта неопределённости измерений на процентное соотношение классов допуска и брака не повлияло.

2. Методика согласования в пары.

Термопреобразователи сопротивления «ВЗЛЁТ ТПС» подбираются в согласованные пары согласно приведённой ниже методике. Настоящая методика основана на Р 50.2.026-2002 ГСИ «Термопреобразователи сопротивления и расходомеры электромагнитные в узлах коммерческого учёта теплоты» и распространяется на термопреобразователи, изготовленные на основе чувствительных элементов производства немецкой фирмы JUMO, класса допуска 1/3 В. Чувствительные элементы подвергаются предварительному стабилизирующему отжигу в течение 80 часов. Термометры сопротивления проходят поверку в двух градуировочных точках: 0 °С и температура кипения воды.

Для разработки методики согласования пар термопреобразователей были проведены следующие эксперименты:

1. Изучение стабильности термопреобразователей сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС»: термометры сопротивления выдерживались при температуре 180 °С в течение 400 часов. Эксперимент показал, что изменение значения сопротивления при 0 °С происходит только в первые 80 часов отжига. Далее изменением значения сопротивления при 0 °С можно пренебречь.
2. Сравнение методов подбора в пары термометров сопротивления по двум и по трём градуировочным точкам. Результаты этого эксперимента опубликованы, в частности, на сайте Temperatures.ru.

Для термопреобразователей сопротивления, изготовленных на основе других чувствительных элементов следует проводить исследования и определять процедуру поверки и согласования в пары заново.

Все термопреобразователи сопротивления подвергаются первичной поверке в двух градуировочных точках. Годными признаются термометры классов допуска А и В.

Результатом первичной поверки является следующая информация о термопреобразователях сопротивления:

1. Класс допуска
2. Измеренное значение сопротивления i – го термометра сопротивления при 0 °С (R_{0i} , Ом).
3. Измеренное значение сопротивления i – го термометра сопротивления при температуре кипения воды (R_{kun_i} , Ом).
4. Значение температуры кипения воды (t_{kun} , °С).

Далее для каждого (i – го) термометра сопротивления рассчитывается индивидуальный коэффициент A_i по формуле:

$$A_i = \frac{1}{t_{kun}} \left(\frac{R_{kun_i}}{R_{0i}} - t_{kun}^2 B - 1 \right), \text{ где } B = -5.7750 \cdot 10^{-7}.$$

Таким образом, для каждого (i – го) термометра сопротивления получается индивидуальная зависимость сопротивление-температура:

$$R_i(t) = R_{0i} (1 + A_i t + B t^2)$$

Далее термопреобразователи сопротивления подбираются в пары таким образом, чтобы для любого значения температуры (t), принадлежащего рабочему диапазону термопреобразователей сопротивления, выполнялось следующее условие:

$$\left| \frac{(R_{01} (1 + A_1 t + B t^2) - R_{02} (1 + A_2 t + B t^2))}{R_{01} (A_1 + 2Bt)} \right| \leq 0.05 \cdot k_{зан},$$

где индексы 1 и 2 соответствуют первому и второму термометрам в согласованной паре, 0,05 °С – погрешность измерения разности температур термометрами сопротивления «ВЗЛЕТ ТПС»,

$k_{зан}$ - коэффициент запаса, как правило, 1/2.