

Новые средства и методы повышения точности измерения температуры в ЯЭУ транспортных установок.

Авторы: Исаев А.А., Логинов В.Н., Резанов Д.С., Серов Н.С. (ОАО "ОКБМ Африкантов"),
Магдеев В.Ш. (ЗАО НПК "Эталон")

На конференции "Температура – 2007" примерно тем же авторским коллективом был представлен доклад на тему "Состояние и пути повышения достоверности измерений в ЯЭУ", в котором в концептуальной форме были изложены пути уменьшения погрешности измерения температуры в ЯЭУ. За прошедшие три года все идеи, изложенные в докладе, реализованы в конкретные средства измерений (СИ) и разработаны принципиальные методы уменьшения погрешности (повышения точности) измерения температуры в ЯЭУ.

ЗАО НПК "Эталон" по контрактам с ОАО "ОКБМ Африкантов", и при тесном сотрудничестве с последним, были разработаны, прошли МВИ, совмещенные с испытаниями в целях утверждения типа, СИ, позволяющие значительно уменьшить погрешность измерения температуры в ЯЭУ.

В настоящем докладе приведены краткие характеристики новых средств измерений и описаны методы их использования.

I. Преобразователи термоэлектрические (ПТ) типа ТХК(ТХА)-1072 ОК, термометры сопротивления (ТС) ТСП-8042 ОК, ТСП-8040 ОК по присоединительным размерам, метрологическим и техническим характеристикам аналогичны существующим ТХК(ТХА)/1-1072, ТХК(ТХА)/1-1172 ТСП/1-8042, ТСП/1-8040, но имеющие внутри дополнительный канал $\varnothing_y = 2,0$ мм для введения контрольного датчика, что позволяет контролировать их метрологические характеристики без демонтажа с объекта.

Термопреобразователи с шифром ОК могут поставляться как с зависимостью выходного сигнала от температуры по ГОСТ Р 8.585-2001 для ТХК(ТХА) и ГОСТ Р 8.625-2006 для ТСП (номинальная статическая характеристика – НСХ), так и с действительной зависимостью (действительная статическая характеристика – ДСХ), определяемой при индивидуальной градуировке.

При этом допустимое отклонение ТЭДС от НСХ преобразователя в температурном эквиваленте (по сути допускаемая погрешность) для ТХК-1072 ОК в соответствии с ГОСТ Р 8.585-2001 составит $\pm 2,5$ °С в диапазоне от 0 до 360 °С и $\pm 2,7$ °С при температуре 400 °С. Тогда как ДСХ может быть определена с погрешностью $\pm 0,4$ °С при индивидуальной градуировке в 4-х точках диапазона.

Допускаемое отклонение от НСХ ТС типа ТСП-8042 ОК класса А в температурном эквиваленте в соответствии с ГОСТ Р 8.625-2006 составит $\pm 0,95$ °С при температуре 400 °С. ДСХ ТСП-8042 ОК может быть определена с погрешностью $\pm 0,04$ °С при индивидуальной градуировке в трех точках диапазона.

Указанные погрешности ДСХ могут быть получены при проведении градуировки с использованием термостатов «Термотест-100», «Термотест-300», FB-08, эталонных термометров сопротивления 1;2 разряда и измерителей МИТ 8.10.

II. Усилители-преобразователи перепрограммируемые нормирующие моделей ПНУ-ТП и ПНУ-ТС с универсальными входами (далее - усилители), обеспечивающие одноканальный прием и преобразование сигналов соответственно от ПТ (с НСХ по ГОСТ Р 8.585-2001 ХА(К) и ХК(L) или по ДСХ) и ТС (с НСХ по ГОСТ Р 8.625-2006 50П и 100П или по ДСХ) с выдачей информации в виде сигналов:

- унифицированного токового выходного сигнала 4-20 мА на активную нагрузку от 100 до 600 Ом с линейной зависимостью от температуры в заданном диапазоне;

- цифрового сигнала для двухсторонней связи с внешней ЭВМ по интерфейсу RS-485, обеспечивающего изменение ДСХ преобразования ТП и ТС, изменение диапазона измерения усилителя, передачу на внешнюю ЭВМ информации об измеренной температуре.

Предел основной допускаемой погрешности усилителей по токовому выходу, приведенный к диапазону изменения выходного тока (16 мА), равен $\pm 0,25\%$. Предел допускаемой основной погрешности по цифровому выходу в $^{\circ}\text{C}$ определяется по формуле $\pm(0,4 + 1,0 * 10^{-3} | t |)$, где t – измеряемая температура.

. Усилители-преобразователи позволяют без демонтажа их с объекта оперативно (в течении 10 минут) изменять функцию преобразования для конкретной ДСХ первичного преобразователя. При выпуске из производства усилителей функция преобразование измеряемого значения входного сигнала в значение выходного сигнала программируется по НСХ, соответствующим ГОСТ Р 8.585-2001 и ГОСТ Р 8.625-2006.

III. Термометр сопротивления платиновый эталонный 3 разряда малогабаритный ТСП-ОМ. Кабельное исполнение и габаритные размеры термометра (диаметр 1.6 мм) позволяют вводить его в дополнительный канал ПТ типа ТХК(ТХА)-1072 ОК, и ТС типа ТСП-8042 ОК, ТСП-8040 ОК на длину до нескольких метров с целью проверки их метрологических характеристик.

Значение доверительной погрешности ТСП-ОМ в температурном эквиваленте при доверительной вероятности 0,95 в реперных точках представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Реперная точка	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Доверительная погрешность, $^{\circ}\text{C}$
Тройная точка воды	0,010	$\pm 0,02$
Точка затвердевания олова	231,928	$\pm 0,04$
Точка затвердевания цинка	419,527	$\pm 0,07$

Целями разработки являлись обеспечение возможности периодической поверки ПТ и ТС типа ТХК (ТХА)-1072 ОК, ТСП-8042 ОК, ТСП-8040 ОК и проверки их метрологических характеристик без демонтажа с объекта, уменьшение погрешности измерения температуры за счет использования ДСХ в ПТ и ТС и усилителе и поддержание значения погрешности во

время эксплуатации путем периодического определения ДСХ ПТ и ТС и введения ее в усилитель.

Рассмотрим пути и методы реализации поставленных целей. Описание дается кратко в связи с ограниченностью объема доклада. Подробное описание ниже приведенных методов будет представлено в специальных методиках, которые будут разработаны ОАО «ОКБМ Африкантов» в 2011 году.

1. Проверка метрологических характеристик ТХК(ТХА)-1072 ОК осуществляется путем сличения показаний ТХК(ТХА)-1072 ОК с показаниями термометра сопротивления эталонного 3-го разряда ТСП-ОМ, введенного в дополнительный канал ТХК-1072 ОК. Измерение сигналов ТХК-1072 ОК и ТСП-ОМ необходимо производить преобразователем сигналов типа «Теркон».

Суммарная погрешность определения разницы показаний ТХК(ТХА)-1072 ОК и ТСП-ОМ при этом составит $\pm 0,35$ °С.

Проверка метрологических характеристик ТСП-8042 ОК осуществляется аналогичным способом. Суммарная погрешность определения разницы показаний ТСП-8042 ОК и ТСП-ОМ составит $\pm 0,09$ °С. Точно также можно проверить ТХА(ТХК)-1172 ОК и ТСП-8040 ОК.

2. Поверка термопреобразователей осуществляется методом построения действительной статической характеристики преобразования (ДСХ) поверяемого СИ, сравнением ее с номинальной статической характеристикой преобразования (НСХ), нахождением отклонений ДСХ от НСХ и сравнением их с допускаемыми отклонениями.

Для построения ДСХ необходимо произвести измерение ТЭДС ПТ или сопротивления ТС при температуре «холодной» ЯЭУ [(20-30) °С] и температурах 200, 250, 300 °С, устанавливаемых с допускаемыми отклонениями ± 10 °С. Одновременно необходимо измерить температуру эталонным термометром ТСП-ОМ, введенным в дополнительный канал ПТ или ТС.

Температура в ЯЭУ должна быть застabilизирована (скорость изменения не более 0,1 °С/мин).

Измерение ТЭДС ПТ, сопротивления ТС и температуры ТСП-ОМ необходимо производить преобразователем «Теркон». Стабилизацию температуры холодного спая ПТ осуществлять путем воспроизведения 0 °С в термостате жидкостном модели 7102.

По полученным данным строится ДСХ в диапазоне температур от 0 до 400 °С.

ДСХ ПТ представляется в виде полинома третьей степени:

$$E = d + e \times t + f \times t^2 + g \times t^3 \quad (1)$$

где E – ТЭДС ПТ, мВ

d, e, f, g – коэффициенты полинома, рассчитанные по значениям ТЭДС и соответствующим ей температурам, измеренным ТСП-ОМ

ДСХ термометра сопротивления представляется в виде функции Каллендара – Ван Дюзена

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2). \quad (2)$$

где R_t – сопротивление термометра, Ом, при температуре t °С

R_0 – сопротивление термометра, Ом, при 0 °С

A, B – коэффициенты формулы.

Коэффициенты формул (1) и (2) рассчитываются на ЭВМ при помощи программы Microsoft Excel.

Затем вычисляется отклонения ДСХ от НСХ в любой точке диапазона измерения:

для ТХК-1072 ОК в точках 100, 200, 300, 400 °С;

для ТСП-8042 ОК в точках 0, 100 °С.

Критерии годности ПТ и ТС в соответствии с ГОСТ 8.338-2002 и ГОСТ Р 8.624.-2006.

Суммарная погрешность поверки составляет:

- для преобразователей термоэлектрических - $\pm 0,5$ °С;

- для термометров сопротивления - $\pm 0,1$ °С.

3. Уменьшение погрешности измерения температуры достигается за счет определения ДСХ ПТ и ТС и введения ДСХ в усилители ПНУ-ТП и ПНУ-ТС. Введение ДСХ в усилители осуществляется через цифровой вход-выход с персональной ЭВМ. Операции введения расписаны в РЭ на усилители.

Погрешности измерения в °С на выходе усилителей представлены в таблице 2.

Таблица 2. Погрешности измерения в °С на выходе усилителей

Обозначение комплекта	Характеристика преобразователя	
	Погрешность при НСХ, °С	Погрешность при ДСХ, °С
ТХК-1072 ОК + ПНУ-ТП	$\frac{3.0}{3.31}$	$\frac{1.3}{2.0}$
	$\frac{1.45}{2.0}$	$\frac{1.1}{1.8}$

Примечание: в знаменателе погрешность через 1 год эксплуатации с учетом дополнительных температурных погрешностей усилителя и изменения ДСХ во времени.

4. Поддержание погрешности на уровне представленном в таблице 2, осуществляется путем ежегодного проведения работ по определению ДСХ ПТ и ТС и введения полученной ДСХ в усилители.

Заключение.

Разработанные ЗАО НПК «Эталон» по договору и при непосредственном участии ОАО «ОКБМ Африкантов» новые средства измерения температуры позволяют значительно уменьшить погрешность измерений температуры в энергетических судовых установках, обеспечивать (при условии периодической градуировки первичных измерительных преобразователей и введении полученной ДСХ в усилители ПНУ) повышенную точность измерений и осуществлять поверку первичных измерительных преобразователей без демонтажа их с объекта контроля, не прекращая его эксплуатации.