

Методика периодической поверки термоэлектрических преобразователей непосредственно на термометрируемом объекте.

В.А. Каржавин, А.В. Каржавин
ООО «ПК «Тесей», г. Обнинск

Актуальность проблемы.

В современной промышленности все более строгие требования предъявляются к точности измерения параметров технологических процессов вообще и температуры в частности. Так как значительная часть всех температурных измерений в промышленности и научных исследованиях приходится на долю термоэлектрических преобразователей (далее ТП), чувствительными элементами которых являются термопары, вопрос достоверности их показаний приобретает все большую актуальность.

В соответствии с Законом РФ "Об обеспечении единства измерений" устанавливающим правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации, средства измерений подлежат поверке – совокупности операций, выполняемых органами государственной метрологической службы определяющих и подтверждающих соответствие средств измерений установленным техническим требованиям.

Сегодня первичная и периодическая поверки ТП осуществляются по единственной в РФ методике, изложенной в ГОСТ 8.338-2002 [1]. В ее основе лежит предположение, что величина термоэлектродвижущей силы (ТЭДС), развиваемой ТП, зависит только от разницы температур между горячим и холодным спаями и не зависит от изменений температуры по длине термоэлектродов, и это верно, но только в том случае, если термоэлектроды поверяемого и эталонного ТП однородны.

В процессе эксплуатации в термоэлектродах ТП неизбежно возникает неоднородность. Скорость развития неоднородности и её величина зависят от ряда причин, связанных с воздействием внешней среды, особенно при высокой температуре, и вызывающих изменения состава и структуры материала.

Проведение периодической поверки ТП, эксплуатировавшихся некоторое время, а значит неизбежно приобретших неоднородность, способом непосредственного сличения, изложенным в ГОСТ 8.338-2002, может привести к ложным выводам. Причиной послужит то, что величина ТЭДС будет зависеть не только от разницы температур между горячим и холодным спаями, но и от профиля температурного поля, в котором проводилось сличение, т.е. на каком именно участке ТП будет реализован перепад температуры, и какова величина неоднородности на этом участке.

На нецелесообразность периодической поверки в лабораторных условиях (что предусматривает методика ГОСТ 8.338-2002) указывается в международных нормативных документах. Так в стандарте ASTM International E220-02 [2], регламентирующем калибровку ТП методом сравнения, вообще не рассматривается возможность калибровки (поверки) ранее эксплуатировавшихся ТП, в частности п. 6.3 гласит: «В основе метода лежит предположение о том, что калибруемые термоэлектроды однородны. Отклонения от этой идеализированной ситуации вносят вклад в погрешность при использовании результатов испытания. Это влияние обычно пренебрежительно мало для нового, не бывшего в употреблении материала термопары, в отличие от уже использовавшихся термопар, особенно изготовленных из неблагородного металла». Аналогичная точка зрения изложена в рекомендациях (EAL-G31) [3] Европейской ассоциации по аккредитации лабораторий для гармонизации процесса калибровки (поверки) ТП в различных лабораториях.

В других международных нормативных документах, также касающихся термометрии, таких как стандарт международного общества SAE AMS (требования к аэрокосмическим материалам) 2750D «Пирометрия» [4] и руководство по использованию термопар MNL-12 [5] американского общества по испытанию материалов, есть рекомендации пред-

писывающие проводить калибровку ТП непосредственно на объекте при тех же условиях, в которых он используется. Сегодня это самый надежный способ повышения достоверности измерений температуры с помощью ТП.

Однако и предлагаемые способы обладают рядом недостатков, таких как точность метода, затраты и безопасность его реализации.

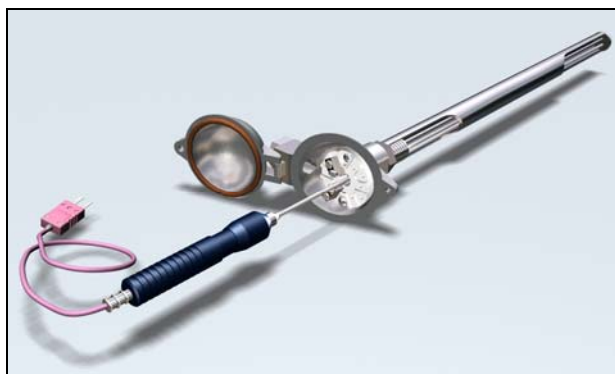
В 2007 г. комитетом E20 ASTM International инициирована разработка стандарта «Новые методы испытаний для поверки термопар на объекте и в лабораторных условиях» (New Test Methods for Thermocouple Verification for Insitu and Laboratory Calibration). В этом стандарте будет установлен ряд испытаний, которые могут применяться для новых и бывших в употреблении термопар. Стандарт будет распространяться на тестирование термопар в рабочих условиях на объекте и в лабораторных условиях.

Решение проблемы.

Специалисты ПК «Тесей» провели большой объем исследований, и мы предлагаем в качестве комплексного решения проблемы периодической поверки ТП во время их эксплуатации следующее:

1. Устанавливать на объектах кабельные термоэлектрические преобразователи КТХА, КТНН, КТХК и КТЖК модификаций 21.05...21.08, 21.16, 21.20, 21.21, которые являются конструктивными аналогами термопреобразователей 01.05...01.08, 01.16, 01.20, 01.21 и отличаются от них наличием дополнительного канала, что позволяет устанавливать внутрь защитного чехла контрольное или эталонное средство измерения. Внесены в Государственный реестр средств измерений под № 36765-08. Сертификат об утверждении типа СИ RU.C.32.004.A № 30385. Производятся по техническим условиям ТУ 4211-001-10854341-07.

Исключительное право ПК «Тесей» на кабельные термоэлектрические преобразователи серии 21.XX подтверждено патентом на изобретение № 2299408 [6].



2. Проводить их периодическую поверку в соответствии с рекомендацией МИ 3091-2007 «ГСИ. Преобразователи термоэлектрические с дополнительным каналом для эталонного кабельного термоэлектрического преобразователя. Методика поверки», утвержденную и зарегистрированную ФГУП «ВНИИМС» 12 декабря 2007 года.

Расширенная неопределённость периодической поверки ТП по МИ 3091-2007 не превышает расширенную неопределённость поверки по ГОСТ 8.338-2002.

Исключительное право ПК «Тесей» на методику подтверждено решением о выдаче патента на изобретение по заявке № 2007110408/28(011315).

Бюджет неопределенности поверки рассчитывается в соответствии с рекомендацией [7], а также РМГ 43.

Бюджет неопределенности определения поправки $\Delta_{ЭТ}$ к КЭТНН:

Источник неопределенности	Стандартная неопределенность. Вид распределения	Вклад с суммарную стандартную неопределенность
Неопределенность прибора	$U_{\text{прибора}}$ нормальное	$u_{\Delta_{ЭТ}}^1 = U_{\text{прибора}}/\sqrt{3}$
Единица шкалы прибора	$U_{\text{шкалы}}$ равномерное	$u_{\Delta_{ЭТ}}^2 = U_{\text{шкалы}}/\sqrt{3}$
Градуировка эталона	$U_{\text{эталона}}$ нормальное	$u_{\Delta_{ЭТ}}^3 = U_{\text{эталона}}/2$
Суммарная стандартная неопределенность определения поправки к показаниям КЭТНН		$u_{\Delta_{ЭТ}} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (u_{\Delta_{ЭТ}}^i)^2}$

Примечание: СКО измерения температуры по эталонному ТП (КЭТНН) не учитывается, так как изменение $T_{иэ}$ в пределах 1,5 °С от среднего значения не влияет на определение $\Delta_{ЭТ}$.

Бюджет неопределенности определения отклонения рабочей термопары от НСХ:

Источник неопределенности	Стандартная неопределенность. Вид распределения	Вклад с суммарную стандартную неопределенность
Определение разницы показаний ТП и КЭТНН по НСХ, °С	$u_{\text{СКО}}$ нормальное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^1 = U_{\text{СКО}}$
Неопределенность прибора, °С	$u_{\text{прибора}}$ нормальное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^2 = U_{\text{прибора}}/\sqrt{3}$
Единица шкалы прибора, °С	$u_{\text{шкалы}}$ равномерное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^3 = U_{\text{шкалы}}/\sqrt{3}$
Дрейф печи (за время переключения между каналами), °С	$u_{\text{дрейф}}$ равномерное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^4 = U_{\text{дрейф}}/\sqrt{3}$
Неопределенность расположения спаев термопар, °С	$u_{\text{спая}}$ равномерное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^5 = U_{\text{спая}}/\sqrt{3}$
Неопределенность удлинительного провода, °С.	$u_{\text{провода}}$ равномерное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^6 = U_{\text{провода}}/\sqrt{3}$
Неопределенность определения поправки $\Delta_{ЭТ}$, °С	$u_{\Delta_{ЭТ}}$ нормальное	$u_{\Delta_{ПОВ}}^7 = U_{\Delta_{ЭТ}}$
Суммарная неопределенность отклонения рабочей термопары от НСХ		$u_{\Delta_{ПОВ}} = \sqrt{\sum_{i=1}^7 (u_{\Delta_{ПОВ}}^i)^2}$
Расширенная неопределенность отклонения рабочей термопары от НСХ $\Delta_{ПОВ}$, °С		$U_{\Delta_{ПОВ}} = k \times u_{\Delta_{ПОВ}}$

Результаты определения расширенной неопределенности поверки КТxx 21.xx по КЭТНН:

Температура, °С	Расширенная неопределенность поверки, °С	Температура, °С	Расширенная неопределенность поверки, °С
200	1,15	700	1,60
300	1,25	800	1,70
400	1,30	900	1,75
500	1,40	1000	1,90
600	1,50	1100	2,00

3. В качестве эталонного средства измерений в диапазоне температур от 200 до 1100 °С использовать преобразователи термоэлектрические кабельные эталонные 3-го разряда КЭТНН, изготовленные из аттестованных бухт термопарного кабеля.

КЭТНН внесены в Государственный реестр средств измерений под № 36735-08. Сертификат об утверждении типа СИ RU.C.32.004.A № 30380. Выпускаются по техническим условиям ТУ 4211-012-10854341-07.

Исключительное право ПК «Тесей» на эталонные кабельные термоэлектрические преобразователи подтверждено патентом на полезную модель № 39200.



Расширенная неопределенность КЭТНН, при доверительной вероятности 0,95, приведена в следующей таблице:

Температура, °С	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100
Расширенная неопределенность КЭТНН, °С	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,15	1,20	1,30	1,35	1,50

4. Применять в качестве средства поверки двухканальный микропроцессорный измеритель температуры НН506РА с пределами неопределенности измерений не более $\pm (0,05\%(\text{от измеряемого значения})+0,4)^\circ\text{C}$. Измеритель обладает возможностью автоматической записи результатов измерений во встроенную память и возможностью дальнейшей передачи информации на персональный компьютер.

Прибор внесен в Государственный реестр средств измерений под № 37531-08 в апреле 2008 года, сертификат об утверждении типа средств измерений US.C.32.004.A № 31188.



Выводы

Использование термоэлектрических преобразователей типа КТХА, КТНН, КТЖК, КТХК серии модификаций 21.ХХ, имеющих дополнительный канал для установки эталонного или контрольного средства измерения температуры типа КЭТНН 3-го разряда и позволяющих реализовать методику поверки МИ 3091-2007 непосредственно на термометрируемом объекте в диапазоне температур от 200 °С до 1100 °С обладает рядом преимуществ:

- Стоимость термопар серии 21.ХХ всего на 3–5 % превышает стоимость их аналогов.

- Данный способ поверки дает наиболее достоверный результат периодической поверки термопар, бывших в употреблении, так как поверка производится в рабочем температурном поле.

- На поверку одной термопары на одном температурном уровне требуется 5–7 минут времени, что существенно меньше, чем время, затрачиваемое на традиционную поверку в лаборатории. Нет необходимости снимать термопару с объекта, относить ее в лабораторию, и затем, после проведения поверки, вновь устанавливать термопару на место. Таким образом, существенно снижается нагрузка на персонал метрологической службы предприятия.

– Кабельные эталонные термопары КЭТНН предназначены для проведения 500 поверок, после чего они подлежат списанию и не могут применяться как эталонные. Стоимость КЭТНН существенно ниже стоимости традиционной образцовой платиновой термопары, что в совокупности с их ресурсом значительно снижает стоимость поверки.

Список литературы:

1. ГОСТ 8.338-2002 Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки.
2. ASTM E220-02. Стандартный Метод Испытания для Калибровки Термопар Методами Сравнения.
3. EAL-G31 – Градуировка термопар.
4. SAE AMS 2750D Пирометрия.
5. MNL 12 /Manual on the use of thermocouples in temperature measurement. Fourth Edition. (sponsored by ASTM Committee E20 on Temperature Measurement. ASTM manual series: MNL 12. “Revision of special technical publication (STP) 470B”. Includes bibliographical references and index. ISBN 0-8031-1466-4)/.
6. Патент на изобретение № 2299408 от 20 мая 2007 г. “Устройство для измерения температуры в виде термоэлектрического преобразователя”.
7. EA-4/02 (1999) Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration. Выражение неопределенности измерений при градуировке.