

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЕЗ ЕГО ДЕМОНТАЖА С ОБЪЕКТА.

В.А.Каржавин, А.В.Каржавин, А.В.Белевцев, В.В.Богатов, ПК «Тесей» г.Обнинск

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, чувствительными элементами которых являются термопары, вопрос достоверности их показаний приобретает все большую актуальность.

На сегодня нет утвержденных в установленном порядке методик поверки или калибровки термоэлектрических преобразователей (ТП) без их демонтажа с термометрируемого объекта. Единственным методом периодической поверки остается метод, изложенный в ГОСТ 8.338-2002 [1]. Реализация методики производится при расположении рабочих спаев ТП и эталонного термоэлектрического преобразователя в равномерном температурном поле с нормированной протяженностью и величиной градиента, причем эталонный и поверяемый ТП помещаются в печь на одинаковую фиксированную глубину, составляющую, как правило, 250 мм. При этом глубина погружения в печь никак не связана с глубиной погружения ТП в условиях его бывшей или предстоящей эксплуатации. Профиль температурного поля вдоль эталонного и поверяемого ТП зависит от характеристик конкретной печи, и будет отличаться от профиля в условиях эксплуатации. В основе методики лежит предположение о том, что величина ТЭДС 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 ТП в термоэлектродов неизбежно возникает термоэлектрическая неоднородность (ТЭН). ТЭН определяется как отклонение дифференциальной чувствительности (коэффициента Зеебека) на данном участке термоэлектрода от некоторого нормированного значения [2]. Скорость развития ТЭН и её величина зависят от ряда причин связанных с воздействием внешней среды, особенно при высокой температуре, и вызывающих изменения состава и структуры материала. Среди основных:

-изменение химического состава термоэлектродов при взаимодействии с изолирующими материалами и окружающей средой за счет избирательного окисления, испарения или связывания в соединения элементов;

- рекристаллизация, рост зерна;

-превращения в твердом состоянии (упорядочение, распад твердого раствора);

-пластическая деформация и упругие напряжения;

-воздействие радиации и электромагнитных полей.

Применение способа определения ТЭДС, изложенного в ГОСТ 8.338-2002, при проведении периодической поверки, ранее эксплуатировавшихся, а значит приобретенных ТЭН термоэлектрических преобразователей, может привести к ложным выводам, т.к. величина термо-э.д.с., развиваемой такими ТП, будет зависеть от глубины погружения и профиля температурного поля, в котором проводилось сличение, а не только от разницы температур между горячим и холодным спаями. Тем более, указанный способ нельзя применять при калибровке ТП, заключающейся в определении поправок к показаниям уже эксплуатировавшихся ТП или при их градуировке, то есть определении индивидуальной зависимости развиваемой ТЭДС от температуры, поскольку эти результаты будут действительны только для того профиля температурного поля, в котором они были получены.

Сегодня самый надежный способ повышения достоверности измерений это непосредственное сличение показаний рабочей термопары с контрольным средством измерения температуры, при условии, что сличение проводится в рабочих условиях. Так, в стандарте AMS (требования к аэрокосмическим материалам) 2750 «Пирометрия» международного общества SAE есть требование, предписывающее производить сличение показаний рабочей термопары с контрольной, без её демонтажа из печи. Реализуется данное требование путем установки контрольного датчика вблизи рабочего на регламентируемом стандартом расстоянии. Известны также рекомендации данные руководством по использованию термопар MNL-12 американского общества по испытанию материалов [3]. В руководстве говорится, что ТП должен калиброваться при тех же условиях и на том же объекте, в которых он используется, то есть в реальном температурном поле, что позволяет избежать проявления дополнительной неопределенности обусловленной проявлением ТЭН. Калибровка осуществляется методом сравнения показаний рабочего ТП с эталонным. В этом случае важно, как и при поверке или градуировке термопар в лабораторных условиях, обеспечить равенство температуры рабочего спая эталонного и поверяемого ТП. Для чего, эталонный ТП устанавливают на термометрируемом объекте одним из трёх методов. Первый метод: он может быть установлен в дополнительном отверстии, просверленном в объекте рядом с местом установки поверяемого или

калибруемого ТП. Второй метод: часто в случае, когда ТП помещен в дополнительную защиту – термометрический карман в виде чехла из чугуна, шамотной глины, карбида кремния или другого огнеупора, который расположен стационарно на термометрируемом объекте, - эталонный ТП можно также разместить в нем. Третий метод гораздо менее удовлетворителен. Он заключается в том, что запись показания поверяемого ТП производится в момент, когда термометрируемый объект достигнет относительно постоянной температуры, затем ТП вынимается и на его место, на ту же глубину устанавливается эталонный. Так как, в большинстве печей, используемых в промышленных процессах, происходят достаточно большие колебания температуры, то при использовании данного способа калибровки ТП нет уверенности, что эталонный ТП будет находиться при той же температуре что и поверяемый.

Недостатком существующих конструкций термоэлектрических преобразователей с термочувствительным элементом в виде кабельной термопары является то, что их поверку и калибровку можно производить на месте их эксплуатации только способами описанными выше. Но это не всегда осуществимо по условиям безопасной эксплуатации и требует дополнительных затрат на организацию дополнительного отверстия или увеличение диаметра термометрического кармана, снижает точность сличения из-за относительной удаленности рабочих спаев эталонного и поверяемого ТП из-за их разделения, как минимум, чехлом поверяемого ТП.

Известна конструкция платиnorodий-платинового термоэлектрического преобразователя имеющего центральный дополнительный канал, позволяющий устанавливать в него контрольную термопару и проводить сличение её показаний с показаниями двух рабочих размещенных в периферийных каналах, без демонтажа преобразователя с термометрируемого объекта рис.1. Применительно к данной конструкции был запатентован «Способ проверки соответствия сигналов термоэлектрических преобразователей действительным значениям температуры» [4]. Такая конструкция позволяет избежать большинства недостатков присущих методам, описанным в NML-12 и в стандарте AMS 2750. Однако предлагаемому способу и конструкции также присущ ряд недостатков.

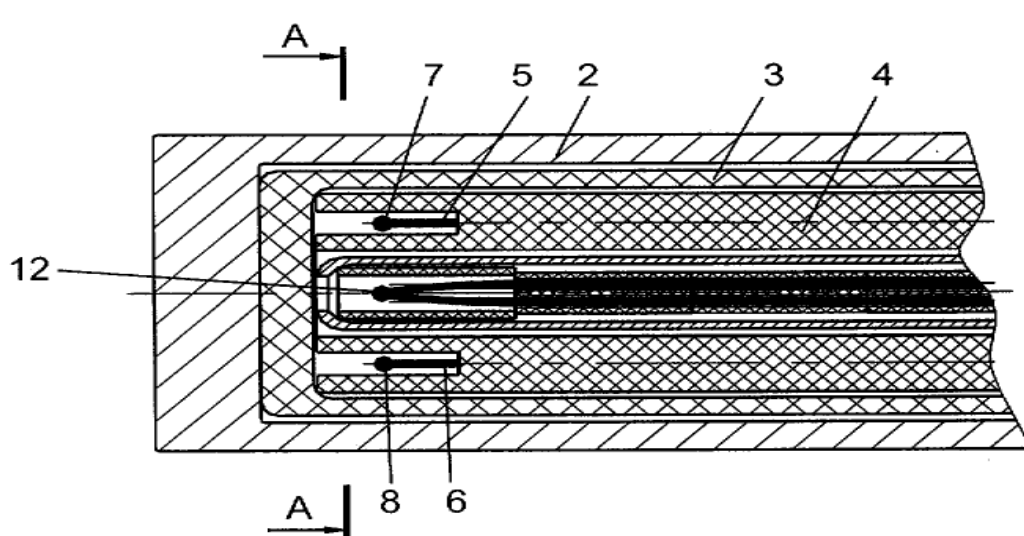
- Во-первых: область назначения способа – контроль температуры в высокотемпературных технологических процессах при длительном времени работы и бездемонтажный периодический контроль (не понятно чего? Температуры ?) на месте установки термоэлектрических преобразователей, а не контроль достоверности показаний ТП, который может лечь в основу бездемонтажного способа периодической поверки ТП.

- Во-вторых: как часть решаемой задачи декларируется обеспечение возможности поверки проверочного ТП без демонтажа основного ТП, но такой задачи не может

существовать, т.к. процедура поверки проверочного ТП никак не связана с тем, где находится в этот момент находится основной ТП;

- В-третьих: введение проверочного ТП в зону горячих спаев стационарных, даже при расположении спаев всех термопар в одном сечении, не гарантирует идентичность их температуры так и как теплопередача к ним осуществляется в основном излучением, при различных условиях теплообмена. Такое расположение спаев снижает достоверность сличения по сравнению с регламентируемой ГОСТ 8.338 -02 методикой, где спаи эталонной и поверяемых термопар положено соединять друг с другом для обеспечения идентичности их температуры;

- В-четвертых: необходимость использования в качестве контрольной платинородий - платиновую термопару, для изоляции термоэлектродов которой используется цельная двухканальная керамическая соломка, которая, особенно при больших длинах, может легко разрушиться от механического или термического напряжения, возникающего при её размещении внутри центрального канала. Использование кабельной термопары в качестве контрольной внесет ещё большую разницу в условия теплообмена и приведет к ещё большему различию температур спаев.



Фиг. 2

рис.1

Задача, решенная специалистами ПК «Тесей», состояла в создании конструкции термоэлектрического преобразователя с кабельной термопарой в качестве термочувствительного элемента лишенного указанных недостатков и позволяющего реализовать предлагаемый способ контроля достоверности его показаний без демонтажа с термометрируемого объекта с неопределенностью не ниже регламентируемой ГОСТ 8.558-93 [5]. Для чего была разработана конструкция термоэлектрического преобразователя с

термочувствительным элементом в виде кабельной термопары и дополнительным каналом, позволяющим размещать в нем контрольную термопару рис 2.

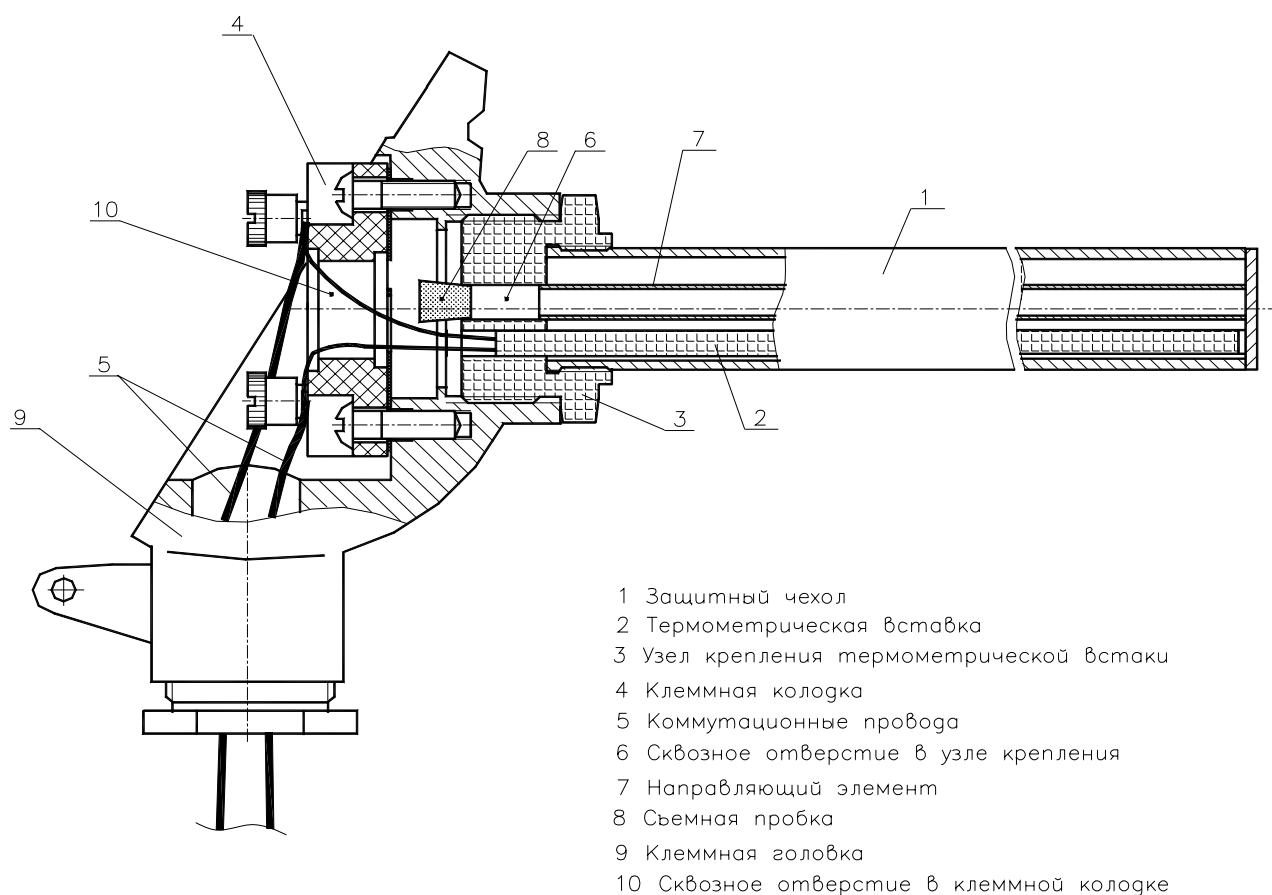


рис.2.

Предлагаемая конструкция ТП, содержит защитный чехол, термометрическую вставку, выполненную из термопарного кабеля в металлической оболочке с минеральной изоляцией, причем термометрическая вставка упирается в торец чехла и оснащена узлом для её крепления в преобразователе, а также клеммную колодку для подключения термометрической вставки к коммутационным проводам. Отличительной особенностью является то, что, термометрическая вставка расположена в защитном чехле несоосно с ним, а узел крепления выполнен со сквозным отверстием, предназначенным для размещения рабочей части контрольного или эталонного средства измерения внутри защитного чехла. При этом клеммная колодка выполнена со сквозным отверстием, форма и размеры которого выбраны так, чтобы была возможность разместить в защитном чехле, как термометрическую вставку, так и контрольный или эталонный ТП, причем с упором в торец чехла.

Осуществление контроля достоверности показаний ТП такой конструкции, будь то его поверка, калибровка или градуировка, возможно осуществлять без демонтажа с термометрируемого объекта, и тем самым, во-первых: увеличить достоверность поверки, калибровки или градуировки и, как следствие, безопасность и экономичность

технологического процесса в целом; во-вторых: избежать возможных выбросов среды в момент установки эталонного ТП, что повышает безопасность эксплуатации; в-третьих: сэкономить средства за счет отсутствия затрат времени на демонтаж и монтаж рабочего средства измерения.

Для осуществления бездемонтажного контроля достоверности показаний ТП, бывшего в эксплуатации, предлагается регистрацию ТЭДС рабочего и эталонного ТП производить при обеспечении теплопередачи к рабочим спаям в основном за счет теплопроводности и создании одинаковых условий теплообмена для контрольной термопары и термочувствительного элемента, что позволит проводить сличение показаний с точностью, укладывающейся в требования указанные в ГОСТ 8.558-93, на любом уровне температур. Это требование выполняется за счет применения в качестве контрольного или эталонного ТП, кабельного ТП наружным диаметром равным диаметру термометрической вставки и того, что и термометрическая вставка и контрольный ТП упираются в торец защитного чехла.

Проведение сличения непосредственно в термометрируемой среде, воздействующей на ТП во время его эксплуатации, позволяет устранить влияние ТЭН на результат сличения и, следовательно, получить достоверный результат поверки или калибровки термоэлектрического преобразователя. Получение достоверных данных позволяет избежать ложной выбраковки ТП и повысить точность измерения температуры технологических процессов.

Сличение показаний рабочего и эталонного ТП проводят при одном или нескольких температурных режимах работы термометрируемого объекта, затем по показаниям эталонного ТП определяется истинная температура, после чего находится отклонение ТЭДС развиваемой рабочим ТП от значений ТЭДС установленных для данной температуры и данного типа термопар номинальной статической характеристикой. Таким образом осуществляют контроль достоверности показаний рабочего ТП без его демонтажа с объекта. Особо хотелось бы отметить тот факт, что при реализации методики реально соблюсти требования ГОСТ 8.338-2002 по градиенту температуры в зоне рабочих спаев (не более $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$ при 1000°C), так как это требование для предлагаемого способа фактически трансформируется в требование к величине градиента по торцу чехла ТП, и нет необходимости соблюдать требования к дрейфу температуры $0,4^{\circ}\text{C}/\text{мин}$, т.к. сличаются показания всего двух термопар и для выполнения требования ГОСТ 8.558-93 [5] к величине погрешности непосредственного сличения эталонной термопары 3-го разряда с рабочей в пределах 1°C , вполне достаточно обеспечить дрейф в пределах $0,4^{\circ}\text{C}$ за 10-15 секунд, что эквивалентно дрейфу $2,4-1,6^{\circ}\text{C}$ за минуту.

Описанной выше методике сличения показаний рабочего и контрольного термоэлектрического преобразователя непосредственно в рабочих условиях предлагается предать статус методики периодической поверки термоэлектрических преобразователей наряду с действующей по ГОСТ 8.338-2002. Внедрение предлагаемой методики в метрологическую практику позволит не только снизить затраты на проведение периодической поверки, но и повысит её достоверность. В качестве эталонного термоэлектрического преобразователя предлагается использовать кабельные термоэлектрические преобразователи с термоэлектродами нихросил – нисил (ЭКТНН) диаметром 3 или 4,5мм метрологические возможности которых представлены в докладе сотрудников нашей компании **«О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ ТЕРМОПАР НИХРОСИЛ-НИСИЛ В КАЧЕСТВЕ ЭТАЛОННЫХ»**.

Для реализации методики разработана серия кабельных термоэлектрических преобразователей различных типов КТХА (НН, ЖК, ХК) конструктивных модификации 21.ХХ (21.05, 21.06, 21.07, 21.08 и др.), включенных в государственный реестр средств измерений, подробная информация о которых будет представлена в каталоге производимой продукции в июне 2007 года. Авторские права ПК «Тесей» на конструкцию преобразователей серии 21.ХХ защищены решением о выдаче патента на изобретение по заявке № 2006109703/28(010548) с приоритетом от 28.03.2006. На способ контроля достоверности показаний ТП без его демонтажа с объекта подана заявка на изобретение.

Литература:

1. ГОСТ 8.338-2002 Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки. ИПК Издательство стандартов, 2003.
2. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термопар: Справочник. – М.: Металлургия, 1983
3. 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)/.
4. Патент RU № 2276338 С1, 2004.08.24 «Способ проверки соответствия сигналов термоэлектрических преобразователей действительным значениям температуры» Патентообладатель: ОАО «Челябинский завод «Теплоприбор».
5. ГОСТ 8.558-93 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры»