

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОКАЗАНИЙ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ БЕЗ ЕГО ДЕМОНТАЖА С ОБЪЕКТА.

А.В.Каржавин, В.А.Каржавин, В.В.Богатов, А.В.Белевцев 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 будет зависеть 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 термоэлектродах 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, высокой температуры 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 приобретших 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 спаев 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 платинородий-платинового термоэлектрического преобразователя имеющего центральный дополнительный канал, что позволяет проводить сличение его показаний с контрольной или эталонной термопарой, без демонтажа преобразователя с термометрируемого объекта рис.1. Такая конструкция позволяет избежать большинства недостатков присущих методам, описанным в MNL-12 и в стандарте AMS 2750. Однако такой конструкции также присущ ряд недостатков,

- во-первых: невозможность обеспечить касание рабочих спаев торца чехла, так как это может привести к их разрушению;
- во-вторых: необходимость использования в качестве контрольной платинородий - платиновую термопару для изоляции термоэлектродов которой необходимо использовать цельную двухканальную керамическую соломку, которая, особенно при больших длинах, может легко разрушиться от механического или термического напряжения, возникающего при её размещении внутри центрального канала;
- конструкция обуславливает различную величину теплопередачи по контрольной и рабочей термопаре, что наряду с отсутствием касания спаев торца чехла может привести к различию температур рабочих спаев и снижению точности сличения показаний.

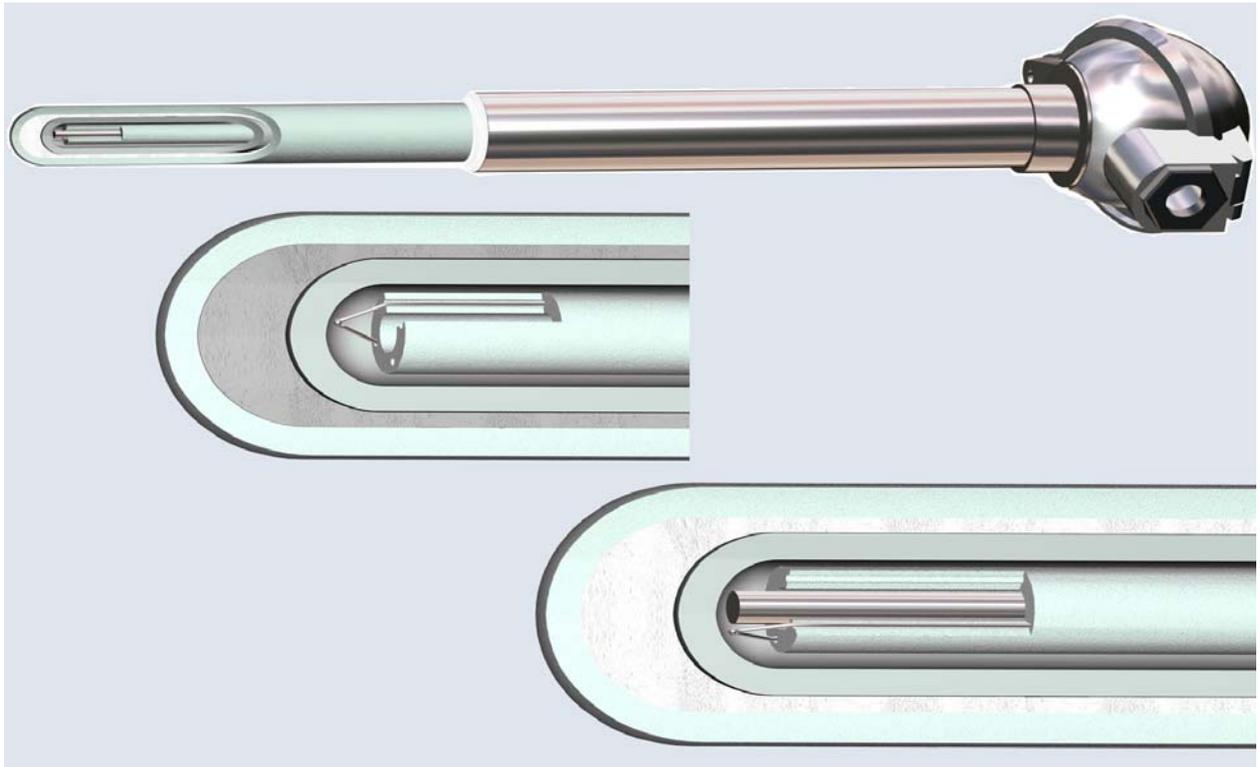


рис.1

Задача, решенная специалистами ПК «Тесей», состояла в создании конструкции кабельной термопары лишенной указанных недостатков и позволяющей производить контроль достоверности её показаний без демонтажа с термометрируемого объекта. Для чего была разработана конструкция термоэлектрического преобразователя с чувствительным элементом в виде кабельной термопары и дополнительным каналом, позволяющим размещать в нем контрольную термопару рис 2.

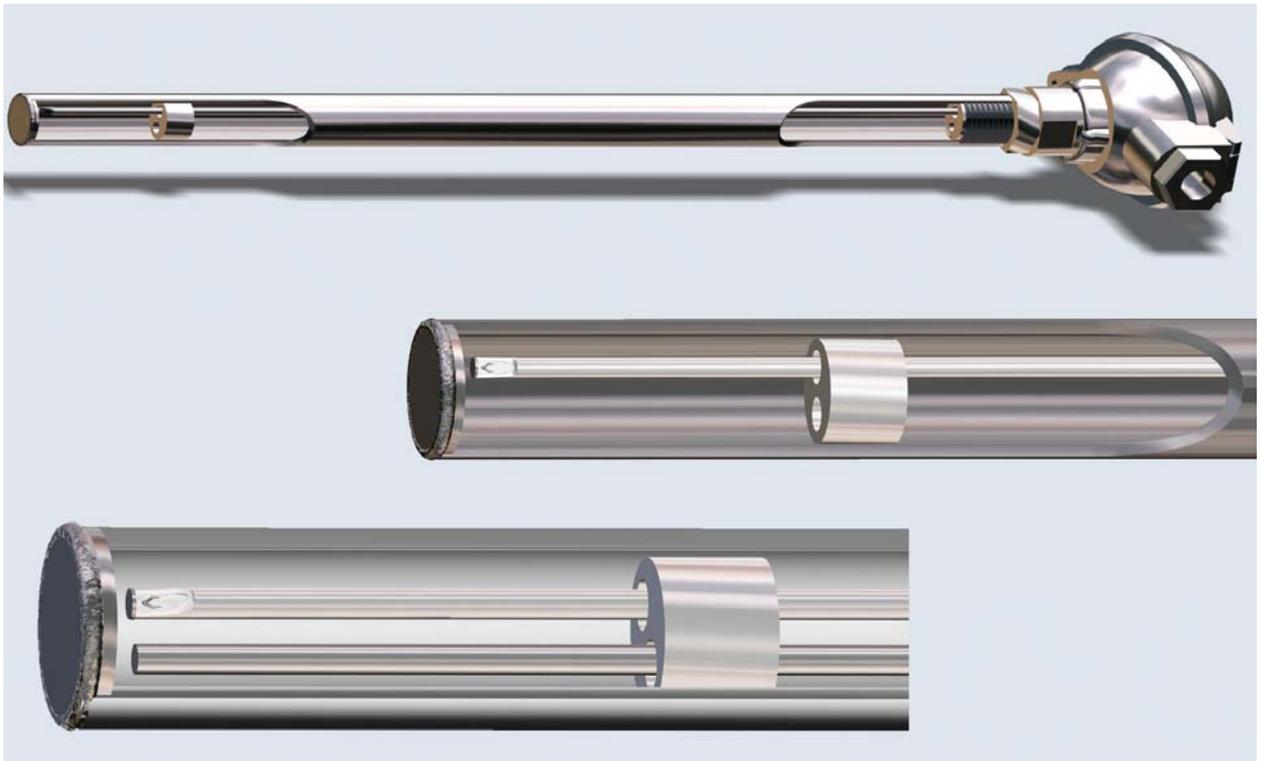


рис.2.

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 термоэлектродвижущей силы рабочего и эталонного ТП производить при расположении рабочих спаев в равномерном температурном поле с нормированной протяженностью и величиной градиента, укладываемыми в требования указанные в ГОСТ 8.338-02. 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 упрутся в торец защитного чехла.

Дополнительно предлагается осуществлять способ.

Определение ТЭДС при проведении поверки, калибровки или градуировки ТП в среде с профилем температур, идентичным профилю температур в среде, воздействовавшей на ТП во время его эксплуатации, позволяет устранить влияние ТЭН на результат калибровки или поверки и, следовательно, получить достоверный результат поверки или калибровки термоэлектрического преобразователя, бывшего в эксплуатации. Получение достоверных данных позволяет избежать ложной выбраковки ТП и повысить точность измерения температуры технологических процессов.

Таким образом, достигается технический результат.

На прилагаемых чертежах представлены варианты исполнения заявляемого устройства, где 1 - защитный чехол, 2 - термометрическая вставка, 3 - узел крепления термометрической вставки в защитном чехле, 4 - клеммная колодка, 5 - коммутационные провода, 6 - сквозное отверстие в узле крепления, 7 - направляющий элемент, 8 - съёмная пробка, 9 - клеммная головка, 10 – сквозное отверстие в клеммной колодке.

Способ осуществляют, а устройство работает следующим образом. Термоэлектрический преобразователь закрепляют на термометрируемом объекте и, с его помощью, осуществляют серию измерений. При этом сквозное отверстие 6 закрыто съёмной пробкой 8, что препятствует поступлению кислорода из окружающей среды во внутреннее пространство защитного чехла 1. В процессе эксплуатации термоэлектрического преобразователя в его термоэлектродах возникает термоэлектрическая неоднородность, которая является результатом изменения состава сплава за счет избирательного окисления, испарения или связывания в соединения отдельных элементов сплава, поглощения химических элементов извне при взаимодействии с изолирующими материалами и окружающей средой, рекристаллизации, роста зерна и др. В результате появления

термоэлектрической неоднородности, показания термоэлектрического преобразователя становятся зависимыми не только от разности температур между спаями, но и от расположения неоднородности в температурном поле и его профиля. Поэтому поверка, калибровка или градуировка термоэлектрического преобразователя в «лабораторном» поле температур, отличном от поля в условиях эксплуатации, могут дать значительную погрешность.

Для того чтобы осуществить калибровку термоэлектрического преобразователя в рабочих условиях, открывают клеммную головку 9, вынимают съёмную пробку 8 из узла крепления 3 термометрической вставки 2, и вставляют в сквозное отверстие 6 рабочую часть контрольного средства измерений. Для того чтобы вставка не препятствовала вводу контрольного средства измерения во внутреннее пространство защитного чехла 1, помещен направляющий элемент 7 в виде трубки, соединенной со сквозным отверстием 6. В клеммной колодке 4 также выполнено сквозное отверстие 10, размер которого должен быть выполнен таким, чтобы можно было разместить как термометрическую вставку 2, так и контрольное средство измерения. Показания рабочего и эталонного средства измерений определяют при различных температурных режимах работы термометрируемого объекта, затем по показаниям эталонного определяется истинная температура, после чего находится отклонение ТЭДС развиваемой поверяемым, калибруемым или градуируемым ТП от значений ТЭДС установленных для данной температуры номинальной статической характеристикой. Таким образом осуществляют поверку, калибровку или градуировку рабочего ТП.

Предлагается предать методике сличения показаний рабочего и контрольного термоэлектрического преобразователя непосредственно в рабочих условиях статус методики периодической поверки термоэлектрических преобразователей наряду с действующей по ГОСТ 8.338-2002. Внедрение предлагаемой методики и термопреобразователей, позволяющих её реализовать, в метрологическую практику позволит не только снизить затраты на проведение периодической поверки, но и повысит её достоверность, т.к. развивающаяся в процессе эксплуатации термоэлектрическая неоднородность не будет влиять на достоверность сличения.

1. ГОСТ 8.338-2002 Преобразователи термоэлектрические. Методика поверки. ИПК Издательство стандартов, 2003.
2. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термодпар: 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)/.