

## МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ С ПОВЫШЕННЫМ РИСКОМ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ

Т.Н. Курская<sup>1</sup>, Е.П. Иванова<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>факультет военной подготовки Харьковского государственного  
технического университета строительства и архитектуры;

<sup>2</sup>ННЦ „Институт метрологии)

*В статье показано, что использование калибратора температуры при проведении метрологических работ снижает число звеньев, участвующих в поверке, что приводит к уменьшению погрешности поверки. Применение самокалибрующихся датчиков, размещенных на объектах в труднодоступных зонах на объектах с повышенным риском пожаробезопасности, облегчит проблему контроля их метрологических характеристик.*

***калибратор температуры, проведение метрологических работ, калибровка, самокалибрующийся датчик, контроль метрологических характеристик***

**Постановка проблемы.** Одной из важных задач контактной термометрии является контроль (поверка, калибровка) метрологических характеристик (МХ) первичных измерительных преобразователей (ПИП) измерительных каналов (ИК) автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), установленных в труднодоступных зонах на объектах стратегического назначения. Такими объектами являются предприятия энергетической, коксохимической, нефтеперерабатывающей и металлургической промышленности.

Измерительный канал состоит из ПИП и периферийной процессорной станции (ППС) или электрического тракта (ЭТ), предназначенных для приема и предварительной обработки аналоговых либо цифровых сигналов, поступающих от ПИП, применяемых в составе АСУ ТП любого объекта контроля.

Решение этой задачи предлагается осуществить путем комплексной поверки (калибровки) ИК с помощью рабочего эталона – калибратора температуры и применением самокалибрующихся датчиков температуры.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Номенклатура используемых ПИП и диапазон измерения температуры определяются рабочими режимами эксплуатации в зоне контроля. Так, для непрерывного измерения температуры теплоносителя, воды, бетонной защиты реактора,

металлоконструкций реакторов АЭС применяют как термопреобразователи сопротивления типов ТСП-1390, ТСП-1790, так и преобразователи термоэлектрические типов ТХА-1590, ТХК-1590, ТХА-1690, ТХК-1690, которые устанавливают в герметичной зоне и технически необслуживаемых помещениях строгого режима. Диапазон измеряемых температур от 50 до 320 °С.

На предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности контроль температуры в реакторах установок каталитического реформинга и гидроочистки нефтепродуктов осуществляют с помощью преобразователей термоэлектрических типа ТХК-2988 класса допуска 2, устанавливаемых в зонах контроля в специальной арматуре в бетонной кладке. Число зон контроля от 3 до 10, диапазон измеряемых температур от минус 40 до 550 °С [1].

В коксохимической промышленности для контроля температуры колосникового и периферийного газов доменного производства применяют преобразователи термоэлектрические типа ТХА-706-02, класса допуска 2, имеющие защитную арматуру из стали ХН45Ю, устанавливаемые в кладке шахты доменной печи. Диапазон измеряемых температур от 50 до 1050 °С.

Поскольку металлургия является основной отраслью промышленности, которая определяет уровень развития машиностроения, строительства и оборонного потенциала страны, то для получения высокого качества готовой продукции необходимо соблюдение температурного режима на всех стадиях технологического процесса: при выплавке и обработке чугуна и стали. Металлургические печи (доменные, мартеновские, кислородные конвертеры и т.п.) оснащены контрольно-измерительной аппаратурой, управляемой в некоторых случаях ЭВМ.

В качестве ПИП для измерения расплавов стали, чугуна применяют преобразователи термоэлектрические типа ТПР-0475. Контроль температуры печи (зоны), температуры газа, температуры кладки, осуществляют преобразователями термоэлектрическими типа ТПР-0573 либо используют гибкие термоэлектроды, спай которых замазывают между швами кирпичей, образующих стенку или свод печи. Класс допуска применяемых ПИП 2 либо 3, диапазон измеряемых температур от 660 до 1600 °С.

Контроль МХ ИК может производиться комплексным методом либо – методом по частям. При контроле МХ ИК по частям производят демонтаж ПИП и осуществляют поверку (калибровку) его в лабораторных условиях, а электрический тракт поверяют (калибруют) на месте эксплуатации автоматизированным способом. Погрешность ИК при поверке (калибровке) по частям определяют по формуле

$$\gamma_{ик} = [\gamma_{пип}^2 + \gamma_{эт}^2]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $\gamma_{ик}$ ,  $\gamma_{пип}$ ,  $\gamma_{эт}$  – приведенные погрешности ИК, ПИП, ЭТ при равенстве диапазонов измерения ПИП и ЭТ.

При этом:

$$\gamma_{пип} = \Delta_{пип} \cdot 100/X_d, \quad (2)$$

где  $\Delta_{пип}$  – значение максимальной абсолютной погрешности ПИП с учетом дополнительной погрешности в диапазоне измерения ИК;  $X_d$  – диапазон измерения ИК;

$$\gamma_{эт} = \Delta_{эт} \cdot 100/X_d, \quad (3)$$

где  $\Delta_{эт}$  – значение максимальной абсолютной погрешности ЭТ в диапазоне измерения ИК.

ИК считают пригодным к эксплуатации, если погрешность  $\gamma_{ик}$  не превышает допустимой погрешности  $\gamma_{икд}$ , которая определена при метрологической аттестации ИК.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью исследования является проведение метрологических работ по снижению погрешности поверки (калибровки) ИК путем использования рабочего эталона температуры на входе ИК и применения самокалибрующихся первичных измерительных преобразователей, устанавливаемых в труднодоступных зонах. При проведении контроля МХ комплексным методом уменьшается число рабочих эталонов (РЭ) и вторичных приборов, участвующих в операциях по поверке: на вход ИК подключают рабочий эталон – калибратор температуры соответствующего диапазона и размещают ПИП в термометрический канал калибратора и выполняют экспериментальные исследования ИК аналогично проведению этапов работ по метрологической аттестации ИК согласно [2]. В методе контроля МХ ИК по частям необходимо иметь при поверке ПИП: калибратор температуры – рабочий эталон; вторичный прибор – измеритель сопротивления; при поверке ППС – магазин сопротивления, например Р-3026, имитирующий сопротивление ПИП, т.е. в этом случае мы имеем два дополнительных звена, вносящих вклад в суммарную погрешность контроля МХ ИК.

Для проведения работ по поверке (калибровке) ИК в рабочих условиях в ННЦ „Институт метрологии” разработан сухоблочный портативный калибратор температуры – рабочий эталон 2-го разряда ТС-660. Калибратор состоит из малогабаритной вертикальной электропечи сопротивления, нагреватель которой выполнен на выравнивающем блоке из нержавеющей стали, и имеет три самостоятельных обмотки из электронагревателя кабельного типа ЭНК (ТУ 3443-010-10854341-02). Производство и поддержание заданной температуры осуществляется платой управления по сигналам от трех платиновых термопреобразова-

телей сопротивления типа ТСРТ 206 Pt100, имеющих индивидуальную градуировку по реперным точкам МТШ-90 и размещенных в отдельных термометрических каналах по центру каждой нагревательной обмотки. На дисплее калибратора графически отображается: процесс выхода на заданную температурную точку по всем каналам отдельно; полно-экранное меню; информация разными шрифтами и графическими анимационными элементами. Диапазон воспроизводимых температур калибратора от 50 до 660 °С с основной абсолютной погрешностью от ± 0,05 до ± 0,5 °С в диапазоне температур. При использовании реперных точек температуры точность воспроизведения заданной температуры повышается на порядок.

Для обеспечения возможности контроля работы ПИП, которые должны устанавливаться в труднодоступных зонах, разработаны самокалибрующиеся ПИП, выполненные на основе малогабаритных реперных точек:

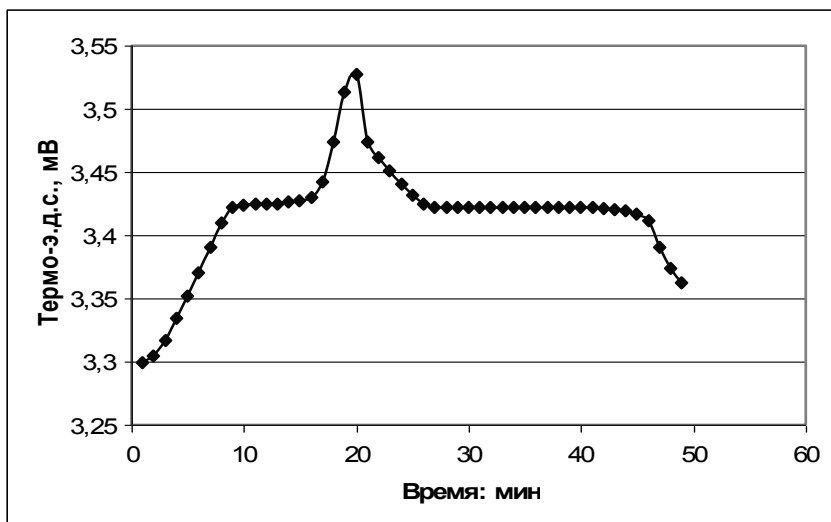
- галлия (29,7646 °С);
- индия (156,5985 °С);
- олова (231,928 °С), цинка (419,527 °С);
- алюминия (660,323 °С), меди (1084,62 °С).

Тигли реперных точек галлия и индия выполнены из фторопласта; олова, цинка, алюминия и меди – из пиролитического графита или графита типа МПГ-7. Масса реперного металла составляет от 35 до 78 г в зависимости от типа вещества. Диаметр термометрического канала – 4,9 мм, глубина канала – 120 мм. Наружный диаметр ампулы для галлия и индия составляет 15 мм для остальных реперных точек – 32 мм.

Результаты исследований основных характеристик малогабаритных реперных точек показали, что длительность температурного плато плавления (затвердевания) реперного вещества определяется как чистотой реперного металла, стабильностью поддержания заданной температуры, так и тепловыми характеристиками электропечи сопротивления и составляет от одного до полутора часов в зависимости от материала вещества. Воспроизводимость температуры малогабаритной реперной точки не хуже 0,1 °С. Погрешность градуировки ТС и ТП в основном обусловлена утечкой тепла по электродам стандартных преобразователей и не превышает 0,2 °С.

На рис. 1 показана типичная зависимость термо-э.д.с. ТПП (S), погруженного в термометрический канал тигля с цинком, от времени нагрева. Перегрев тигля с цинком был около 7 °С. Длительность плато плавления составила 12 мин., а плато затвердевания – 25 мин.

На рис. 2 показано плато затвердевания реперного металла – алюминия. Перегрев тигля составил 6,8 °С. Длительность плато затвердевания –



более 40 мин.

Рис. 1. Плато плавления и затвердевания цинка, регистрируемое термоэлектрическим преобразователем ТПП (S)

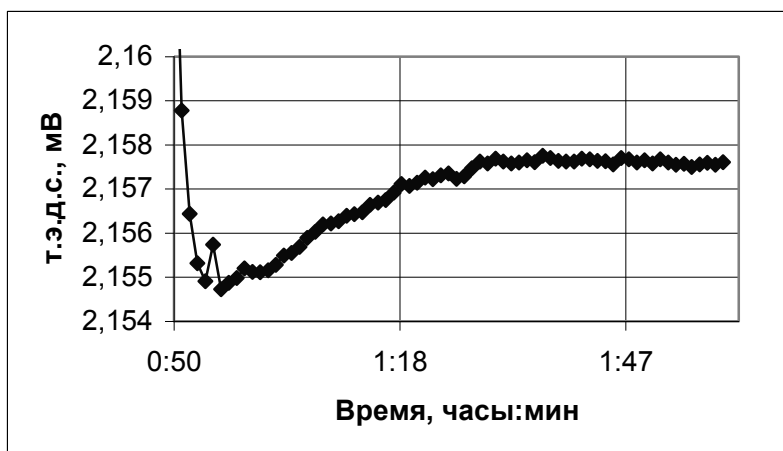


Рис. 2. Запись плато затвердевания алюминия с помощью термоэлектрического преобразователя ПРО рабочего эталона 2-го разряда

На рис. 3 представлено плато затвердевания тигля с медью. Пере-

грев тигля составил 3 °С. Длительность плато затвердевания – 23 мин.

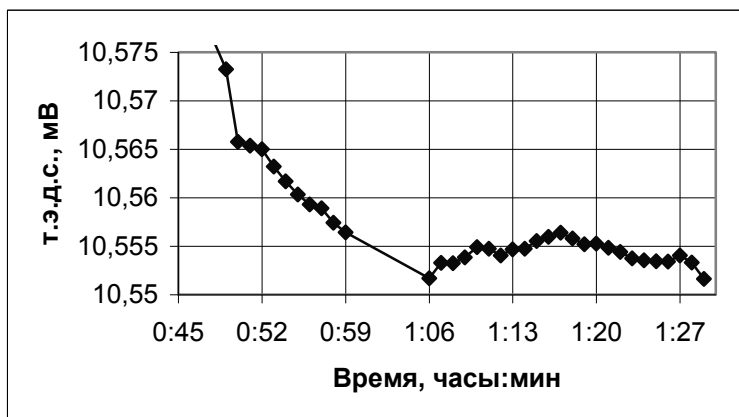


Рис. 3. Плато затвердевания меди, регистрируемое термоэлектрическим преобразователем ППО – рабочим эталоном 1-го разряда

Анализ полученных результатов воспроизводимости температуры реперных точек показал следующее.

1. Возможность применения малогабаритных реперных точек для самокалибровки контактных датчиков температуры (ТСП, ТСМ, ТПП, ТПР), установленных на объектах в труднодоступных зонах.

2. Размещение датчиков в термометрическом канале ампулы реперной точки устраняет химическое взаимодействие реперного металла и чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя, что имеет место при расположении термоэлектродов датчика непосредственно в реперном металле [3].

3. Применение фторопласта и высокочистого графита для тиглей ампул реперных точек также устраняет диффузию реперного материала в материал тигля.

Алгоритм реализации процесса самокалибровки ПИП состоит в следующем. В рабочем диапазоне температур технологического процесса определяют близкую к максимальной температуре реперную точку калибровки. Например, в диапазоне температур от 50 до 180 °С такой точкой является температура плавления индия (156,5985 °С). Для выхода на плато плавления необходимо медленно со скоростью порядка 1 °С в минуту поднять температуру измеряемой среды от 150 до 160 °С, чтобы зафиксировать отклик ПИП.

Постоянство показаний первичного измерительного преобразователя будет характеризовать температуру плавления реперной точки. Контроль

правильности измерения температуры данного объекта осуществляют сравнением сопротивления ПИП (для термопреобразователей сопротивления) или термо-э.д.с. ПИП (для преобразователей термоэлектрических) с табличными данными зависимости отношения сопротивлений от температуры [4] и зависимости термо-э.д.с. от температуры [5] либо с данными свидетельства о поверке (калибровке) для температуры реперной точки.



Рис. 4. Портативный калибратор температуры TC-600

Применение самокалибрующихся датчиков, установленных в труднодоступных зонах различных объектов, позволит повысить достоверность результата измерения температуры объекта и надежность работы этого звена ИК АСУ ТП.

**Вывод.** Использование калибратора температуры (рис. 4) – рабочего эталона на входе ИК АСУ ТП при проведении метрологических работ снижает число звеньев,

участвующих в поверке, что приводит к уменьшению погрешности поверки (калибровки). Применение самокалибрующихся датчиков, размещенных на объектах в труднодоступных зонах, облегчит проблему контроля их метрологических характеристик.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.К. Бабиченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов, М.О. Подустов, О.В. Пугановський. *Промислові засоби автоматизації Ч.1. Вимірювальні пристрої*. – К.: Наук. думка, 1998. – 240 с.
2. ГСИ МИ 2002-89 *Рекомендация Системы информационно-измерительные. Организация и порядок проведения метрологической аттестации*.
3. Саченко А.А., Мильченко В.Ю., Коган В.В. *Измерение температуры датчиками со встроенными калибраторами*. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 188 с.
4. ДСТУ 2858-94 *Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробувань*.
5. ДСТУ 2837-94 *Перетворювачі термоелектричні. Номінальні статичні характеристики перетворення*.

Поступила 15.02.2005

**Рецензент:** доктор физико-математических наук, профессор Н.И. Иванов,

