

Мониторинг технологических процессов на нефтехимических предприятиях

М.В. Мирошкин

заместитель тех. директора
mmv@vakuummash.ru

НПО Вакууммаш, Ижевск, Россия

Точное измерение температуры — важная задача, стоящая перед специалистами на предприятиях по всему миру. Обычно датчики температуры используются для измерения и контроля температуры в одной локальной точке процесса. Однако на современных предприятиях, особенно в нефтехимической отрасли для точного мониторинга технологических процессов существует необходимость контроля температуры и считывания показаний с нескольких контрольных точек одновременно.

Ключевые слова

температура, измерения температуры, многозонные датчики температуры, термопара, измерительный преобразователь, нефтеперерабатывающие предприятия, контроль температуры

Разрешить сложившуюся проблему позволяют многозонные датчики температуры, которые объединяют несколько чувствительных элементов в единую конструкцию с присоединением к процессу с помощью фланца, для определения температурного градиента в резервуаре или реакторе.

В нефтехимической промышленности для достижения максимального выхода конечного продукта высокого качества компаниями в области термометрии во всем мире разрабатываются различные технические решения для многоточечного измерения профиля температуры в реакторе. В основном все конструкции можно разделить на следующие группы:

- сборки с фланцевым соединением и несколькими термокарманами;
- многоточечные датчики для реактора с зондами жесткой конструкции с прижимным или приварным креплением термопар в защитной гильзе (рис. 1);
- многоточечные датчики температуры с гибкими зондами из кабельных термопар в металлической оболочке, заполненной минеральной изоляцией (рис. 2).

Многозонные датчики температуры включают несколько основных элементов, таких как первичный температурный датчик, узел крепления, камера безопасности, коммутационная коробка, с расположенными внутри преобразователями измерительными или клеммниками. Рассмотрим эти элементы подробнее.

Температурный датчик состоит из первичного чувствительного элемента

— термоэлектрического преобразователя, выполненного из гибкого термопарного кабеля в одинарной или двойной оболочке типа ТХА (К), ТХК (L), ТНН (N), ТЖК (J) или резистивного термопреобразователя, представляющего собой гибкий кабель с резистивными чувствительными элементами в металлической оболочке, которые крепятся в реакторе в нужных точках. Максимальное количество используемых термопар зависит от количества измеряемых точек [1, 2].

Коммутационная коробка предназначена для размещения вторичных приборов или клеммных колодок, а также для подключения удлинительных или компенсационных кабелей. Коммутационные коробки чаще всего бывают взрывозащищенного исполнения с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь Exi», либо «взрывонепроницаемая оболочка Exd». В ней могут быть размещены преобразователи измерительные с аналоговыми или цифровыми сигналами 4–20 мА, с протоколами HART, Modbus RTU, Profibus PA, Foundation Fieldbus H1.

Особый интерес представляют нормирующие преобразователи 4–20 мА с возможностью перепрограммирования, предназначенные для преобразования термоэлектродвижущей силы термоэлектрических преобразователей и сопротивления, резистивных термопреобразователей в унифицированный токовый сигнал 4–20 мА постоянного тока, пропорциональный измеряемой температуре [3].

К примеру, существуют модели нормирующего преобразователя, предназначенные для преобразования параметров термопар и термосопротивлений в унифицированный токовый сигнал 4–20 мА, преимуществом которых является возможность работы в температурном диапазоне эксплуатации от -60...+85°C, с классом точности 0,1.

Рассмотрим общие принципы построения современных нормирующих преобразователей. Измерительная часть нормирующего преобразователя (далее НП) — многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с дифференциальным входом и предварительным усилением входного напряжения. Управление измерительной части НП осуществляется микроконтроллером в соответствии с алгоритмом программного обеспечения.

Метрологические характеристики измерительной части НП определяются разрядностью АЦП, точностью опорных источников напряжения/тока и их стабильностью, при воздействии неблагоприятных факторов.

Рабочий входной параметр АЦП — напряжение постоянного тока, в диапазоне опорного напряжения АЦП. Для работы с различными типами первичных преобразователей (далее ПП) используются схемотехнические методы. Коммутация входных цепей АЦП, напряжения смещения и опорных источников напряжения/тока — электронная, управление — микроконтроллер. Иллюстрация

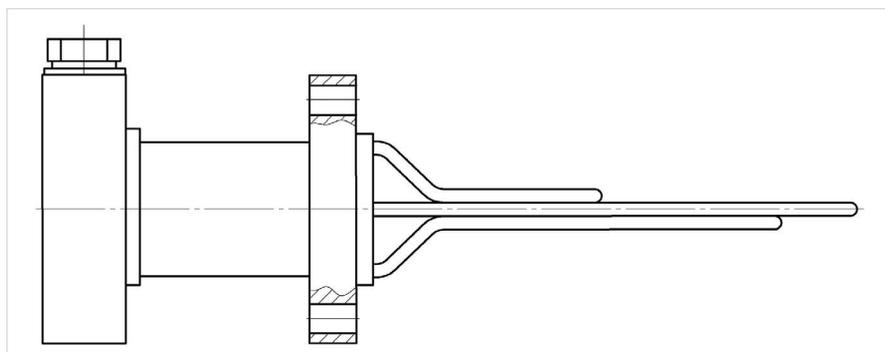


Рис. 1 — Многозонный датчик температуры с рабочей частью, выполненной из термопарного кабеля жесткой конструкции

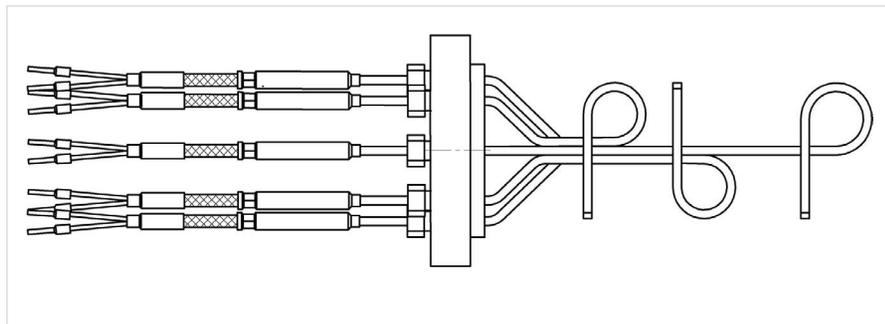


Рис. 2 — Многозонный датчик температуры с гибкой рабочей частью, выполненной из термопарного кабеля

работы измерительной части НП с различными ПП приведена на рисунках 3–5.

Базовая часть НП — единая для всех исполнений и модификаций, она включает в себя АЦП и управляющий микроконтроллер (рис. 6). Эта часть схемы обеспечивает все метрологические характеристики прибора, исключение — НП с выходным сигналом «ток 4–20 мА». Микроконтроллер обеспечивает: диагностику НП, управление работой всех узлов, цифровую фильтрацию входного сигнала, математические расчеты, вывод результатов измерений на интерфейс связи АСУ ТП и/или на дисплей.

Выходной сигнал НП предназначен для передачи результатов измерений на следующий уровень системы АСУ ТП. Типы выходных сигналов:

1. Унифицированный выходной сигнал постоянного тока. Блок-схема НП приведена на рис. 7.
2. Унифицированный выходной сигнал постоянного тока и код цифрового протокола HART. Блок-схема НП приведена на рис. 8.
3. Код цифрового протокола. Блок-схема НП

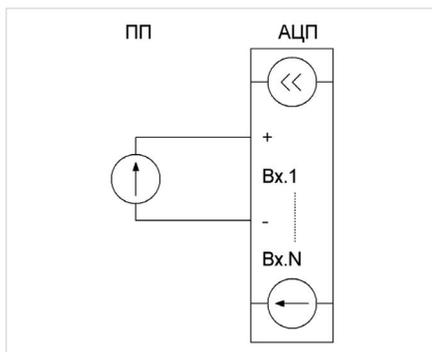


Рис. 3 — ПП — униполярный источник напряжения

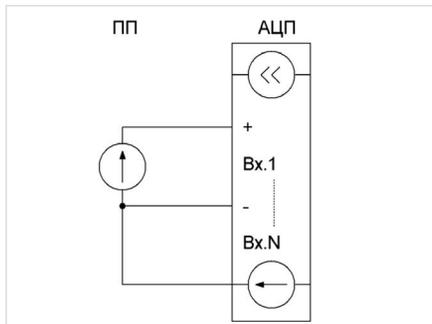


Рис. 4 — ПП — биполярный источник напряжения, смещение обеспечивает источник напряжения

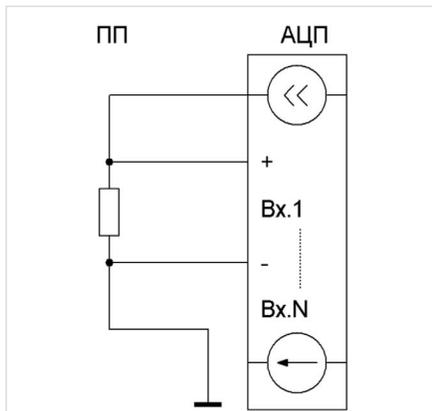


Рис. 5 — ПП — сопротивление, для питания ПП используется источник тока

приведена на рис. 9.

Характеристики ЦАП влияют на метрологические характеристики НП только при передаче данных в виде сигнала «постоянный ток». При передаче данных в виде цифрового протокола HART, интерфейс связи не оказывает влияния на метрологические характеристики ПИ.

Первичные расчеты по приведению входных параметров к расчетным величинам.

1. Вычисление усредненного значения множества выборок АЦП с применением программной фильтрации входного сигнала. Здесь могут применяться как штатные аппаратные средства АЦП, предназначенные для подавления промышленных помех с частотой 50 и 60 Гц, так и программные решения комплексной фильтрации входного сигнала.
2. Преобразование двоичного кода отфильтрованного входного сигнала в формат числа с плавающей запятой IEEE754, как оптимального для математических операций с дробными числами.
3. Вычисление значений входного сигнала:

Первичный преобразователь — униполярный источник напряжения.

$$U_{\text{вх}} = K_0 + \frac{\text{Код}(\text{АЦП}) \times U_{\text{опорн}} \times 1000 \times K_{\text{тем}}(t) \times K_{\text{накл}}}{K_y \times (2^N - 1)} \quad (1)$$

Для биполярного источника напряжения выражение имеет вид:

$$U_{\text{вх}} = K_0 + \frac{\text{Код}(\text{АЦП}) \times U_{\text{опорн}} \times 1000 \times K_{\text{тем}}(t) \times K_{\text{накл}}}{2 \times K_y \times (2^N - 1)} \quad (2)$$

$U_{\text{вх}}$ — напряжение на входе НП, мВ;
 K_0 — калибровочный коэффициент нуля,

применяется при программной калибровке, в случае аппаратной калибровки АЦП равен 0;

$\text{Код}(\text{АЦП})$ — результат работы АЦП и входных фильтров;

$U_{\text{опорн}}$ — опорное напряжение АЦП, В;

K_y — коэффициент усиления предварительного усилителя АЦП;

N — разрядность АЦП;

$K_{\text{накл}}$ — калибровочный коэффициент крутизны преобразования АЦП, применяется при программной калибровке, в случае аппаратной калибровки АЦП равен 1;

$K_{\text{тем}}(t)$ — температурный коэффициент коррекции результата АЦП в диапазоне температур эксплуатации НП.

Первичный преобразователь — сопротивление

$$R_{\text{вх}} = K_0 + \frac{\text{Код}(\text{АЦП}) \times U_{\text{опорн}} \times 1000 \times K_{\text{тем}}(t) \times K_{\text{накл}}}{K_y \times I_{\text{опорн}} \times (2^N - 1)} \quad (3)$$

$R_{\text{вх}}$ — сопротивление на входе НП, Ом;

$I_{\text{опорн}}$ — источник опорного тока для первичного преобразователя, мА.

Примечание: калибровка АЦП по двум точкам с помощью коэффициентов $K_{\text{др}}$, $K_{\text{накл}}$ относится к простейшим случаям, для НП классов точности 0,1 и 0,05 может потребоваться коррекция характеристики преобразования АЦП по нескольким точкам диапазона преобразования. Рассмотренный расчет сопротивления на входе НП справедлив для четырехпроводной схемы подключения ПП рис. 13. В этом случае ток протекает от опорного источника тока, по цепи $R_{\text{л1}} - R_{\text{лп}} - R_{\text{л2}}$, на общий провод. Поскольку входное сопротивление АЦП по входу 1 значительно выше сопротивления линий подключения ПП,



Рис. 6 — Базовая часть ПИ, блок-схема



Рис. 7 — Блок-схема НП с выходным сигналом — ток 4...20мА. Характеристики ЦАП влияют на метрологические характеристики НП

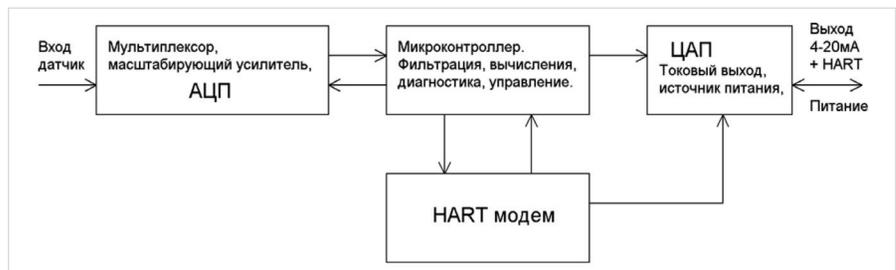


Рис. 8 — Блок-схема НП с выходным сигналом — ток 4...20мА и/или HART-протокол



Рис. 9 — Блок-схема ПИ с выходным сигналом — цифровой протокол. Интерфейс связи не оказывает влияния на метрологические характеристики ПИ

то сопротивлением линий $R_{x2} - R_{x3}$ можно пренебречь и для расчета принять допущение, что напряжение на входе 1 равно падению напряжения на R_{mn} . Для двух- и трехпроводной схем подключения, в расчетах необходимо учесть сопротивление линии подключения ПП.

На рис. 10 приведена схема измерений для двухпроводного подключения ПП. Значение сопротивления линии $R_{x1} = R_{x2}$, необходимо ввести в память НП при интеграции его в систему АСУ ТП, как данные для расчетов.

На рис. 11 и 12 приведены схемы измерений для трехпроводного подключения ПП. Для трехпроводной схемы НП производит измерение сопротивления ПП по двум каналам с вычислением фактического значения сопротивления ПП. Ток протекает от опорного источника тока, по цепи $R_{x1} - R_{mn} - R_{x3}$, на общий провод. Расчет сопротивления ПП, для варианта 1 (рис. 11), производится по формуле 4. Для варианта 2 (рис. 10) — по формуле 5.

$$R_{mn} = \frac{U_{ax2} - U_{ax1}}{I_{опор}} \quad (4)$$

$$R_{mn} = \frac{2 \times U_{ax2} - U_{ax1}}{I_{опор}} \quad (5)$$

R_{mn} — сопротивление первичного преобразователя;
 U_{ax1} — напряжение на входе 1 АЦП;
 U_{ax2} — напряжение на входе 2 АЦП.

Использование схемы измерения сопротивления ПП, приведенной на рис. 12, и, соответственно, формула расчета (5)

— предпочтительны схеме на рис. 11 и формуле (4), так как обеспечивают лучшее отношение сигнал/шум и большую точность измерений.

Рассмотрим расчет измеряемой температуры. Независимо от параметра измеряемого нормирующим преобразователем по основным входам, производится периодическое измерение температуры самого НП. Это необходимо для термостабирирования НП в диапазоне эксплуатационных температур и для расчетов при работе с термопарами. В последнем случае, температура НП является температурой холодного спая термопары.

В качестве датчика температуры НП возможно применение медных и платиновых термосопротивлений класса А и АА, по ГОСТ 6651-2 [1]. По этому же ГОСТу производится расчет температуры, исходной величиной является сопротивление ПП.

Расчет температуры термопары производится по ГОСТ Р 8.585-2001[2]. Исходные данные — напряжение термо-ЭДС, сопротивление датчика температуры НП, или фиксированное значение, вводимое как данные для расчетов. Порядок расчета:

1. Расчет температуры холодного спая.
2. Расчет термо-ЭДС, эквивалентной температуре холодного спая. Расчет производится с использованием полиномов, аппроксимирующих НСХ преобразования термопар.
3. Приведение термо-ЭДС к значению «при температуре холодного спая 0°C».

$$E(0^\circ C) = E_{mn} - E_{xc} \quad (6)$$

$E(0^\circ C)$ — термо-ЭДС приведенная к значению «при температуре холодного спая 0°C»;

E_{mn} — термо-ЭДС ПП;

E_{xc} — термо-ЭДС, эквивалентной температуре холодного спая;

4. Расчет температуры с помощью полиномов, аппроксимирующих обратную зависимость НСХ преобразования (температуры от термо-ЭДС).

Расчет кода выходного тока ЦАП, соответствующего измеренной ПП температуре.

$$Код(ЦАП) = K_0 \times Код(4mA) + \frac{(T - T_0) \times (2^N - 1) \times K_{норм} \times K_{кор}(t)}{(T_0 - T_0)} \quad (7)$$

$K_{код}(ЦАП)$ — код текущего значения выходного тока НП;

K_0 — калибровочный коэффициент начала шкалы 4mA, применяется при программной калибровке, в случае аппаратной калибровки ЦАП равен 0;

$K_{код}(4mA)$ — код соответствующий началу шкалы выходного тока, равному 4 mA;

T — текущее значение температуры;

T_n, T_0 — диапазон измерения температуры, нижняя и верхняя границы;

N — разрядность ЦАП;

$K_{накл}$ — калибровочный коэффициент крутизны преобразования ЦАП, применяется при программной калибровке, в случае аппаратной калибровки ЦАП равен 1;

$K_{кор}(t)$ — температурный коэффициент коррекции результата ЦАП в диапазоне температур эксплуатации НП.

Нормирующий преобразователь имеет резерв для модернизации, позволяющий приблизить его к интеллектуальным устройствам, без изменения конструкции и технологии производства, такие усовершенствования позволяют увеличить количество НСХ, работать с омическими датчиками, датчиками напряжения и потенциометрами, устанавливать нестандартный температурный диапазон с точностью до 1°C.

В случае расширения функциональных возможностей нормирующего преобразователя, для повышения удобства его эксплуатации необходим переход к интерфейсу типа «коммуникатор», как в HART устройствах, или переход к принципу USB-устройство. В последнем случае нормирующий преобразователь подключается напрямую к ПК для изменений настроек.

Интерфейс типа «коммуникатор» представляет собой дисплей для визуализации текущих параметров и контекстного меню настроек режимов с двумя кнопками. Нормирующий преобразователь с помощью кнопок и двухцветного индикатора позволяет выбрать требуемую НСХ и температурный диапазон.

К тому же интерфейс подключается к нормирующему преобразователю и использует его ресурсы: программное обеспечение, память, питание.

Нормирующий преобразователь типа USB-устройство позволяет подключать его непосредственно к ПК и проводить все настройки из специализированного приложения.

Недостатком этого варианта является увеличение стоимости нормирующего преобразователя в связи с применением более дорогого микроконтроллера и необходимостью разработки специализированного программного обеспечения для ПК.

Многие многозоновые датчики температуры помимо всего перечисленного

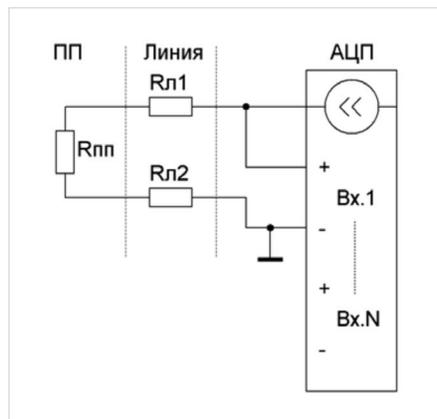


Рис. 10 — Схема измерений при двухпроводном подключении ПП

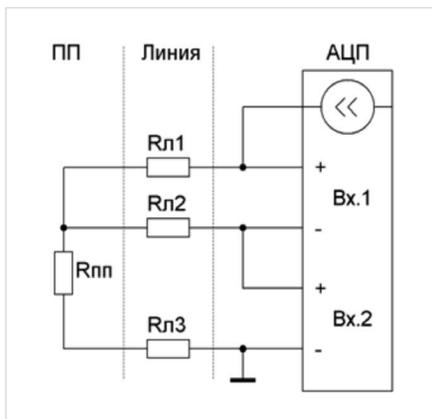


Рис. 11 — Схема измерений при трехпроводном подключении ПП. Вариант 1

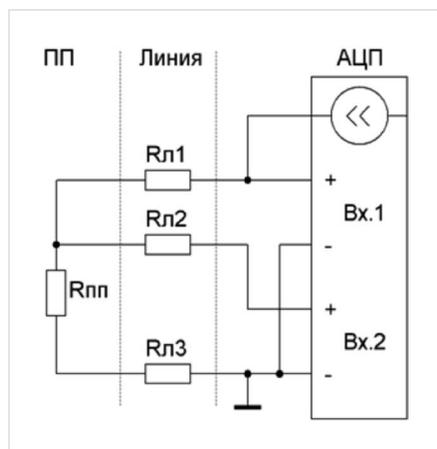


Рис. 12 — Схема измерений при трехпроводном подключении ПП. Вариант 2

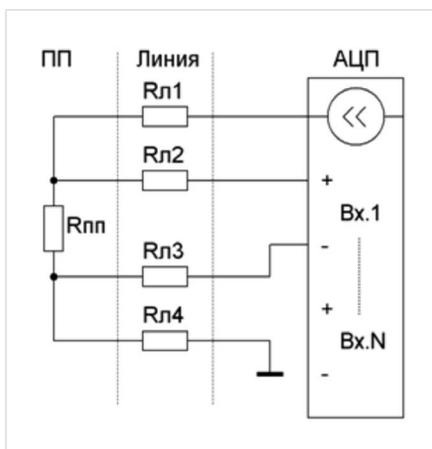


Рис. 13 — Схема измерений при четырехпроводном подключении ПП

комплектуется дополнительной камерой контроля, являющейся узлом обнаружения утечек. Такая камера изготавливается герметичной и является дополнительной зоной безопасности. Это предотвращает распространение термометрируемой среды из протекающего процесса в окружающую среду в случае непредвиденной разгерметизации сварных швов, возникновения микротрещин в них или на материале фланца и позволяет обнаружить и идентифицировать наличие утечек. Она оснащается манометром или датчиком давления с аналоговым выходом.

Итоги

Таким образом, учитывая потребность нефтеперерабатывающих предприятий одновременно осуществлять контроль и измерять температуру в резервуарах и реакторах в

нескольких точках, применение многозонных датчиков с камерой безопасности стало важным направлением. Их использование решает ряд производственных задач, а также упрощает процесс ввода датчиков в эксплуатацию, и минимизирует производственные затраты.

Выводы

В качестве перспективы развития данного направления следует отметить возможность разработки и использования многозонных датчиков, состоящих из термодатчика в металлической оболочке с несколькими чувствительными элементами в одном кабеле. При применении такого кабеля возможно измерение радиальной температуры в нескольких точках и на нескольких слоях в реакторе, что существенно уменьшает количество штуцеров в теле реактора. Спрос на многозонные

датчики и тенденция развития данного типа измерительного прибора, связанную с необходимостью повышения эффективности мониторинга технологических процессов.

Список литературы

1. ГОСТ 6651-2009 Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
2. ГОСТ Р 8.585-2001 Термодатчики. Номинальные статические характеристики преобразования.
3. ГОСТ 13384-93 Преобразователи измерительные для термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления. Общие технические требования и методы испытаний.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

Monitoring of technological processes in petrochemical plants

UDC 681.2

Author:

Mikhail Miroshkin — deputy of chief technology officer; mmv@vakuummash.ru

Vakuummash, NPO, Izhevsk, Russian Federation

Abstract

Accurate temperature measurement is an important challenge for the specialists in enterprises around the world. Typically, temperature sensors are used to measure and control the temperature at the local point of process.

But in modern enterprises, especially in the petrochemical industry for accurate process monitoring there is a problem of temperature control and readout from multiple reference points at the same time.

Results

Thus, considering requirement refineries

simultaneously monitor and measure the temperature in several places of the tanks and reactors, the use of multi-zone temperature sensors has become an important direction. Application of this type of sensors solves a number of production problems, and simplifies sensor commissioning process and minimizes operating costs.

Conclusions

As the prospects for the development of this area there is possibility of the development and use of multi-zone sensor of the thermocouple cable to the metal

shell with multiple sensors in one cable. By using such cable is possible to measure the radial temperature at several points and in multiple layers in the reactor, which greatly reduces the number of fittings in the body of the reactor. Demand for multi-zone sensors and the development trend of this type of measuring device, associated with the need to improve the efficiency of monitoring processes.

Keywords

temperature, temperature measurements, multi-zone temperature sensors, thermocouple transmitter, refineries, temperature control

References

1. GOST 6651-2009 Thermal resistance of platinum, copper and nickel. General technical requirements and test methods.
2. GOST R 8.585-2001 Thermocouples. Nominal static characteristics of conversion.
3. GOST 13384-93 Measuring transducers for thermoelectric transducers and resistance thermotransducers. General technical requirements and methods of tests.



КОНФЕРЕНЦ НЕФТЬ

Т./ф.: +7 (3412) 43-53-86
+7-912-751-47-92
info@konferenc-neft.ru
www.konferenc-neft.ru

Технологии энергоэффективности
в нефтедобыче. Оптимизация затрат.
31 мая 2016 г. Пермь

Методы увеличения нефтеотдачи.
Различные ГТМ на нефтяных месторождениях.
Сентябрь 2016 г. Ижевск

Оптимальное применение
оборудования для ОРЭ, ОРЗид, ВСП.
Увеличение эффективности его эксплуатации
Ноябрь 2016 г. Ижевск

Мероприятия будут проводиться совместно с отраслевыми издательствами: «Экспозиция Нефть Газ», «Нефтяное хозяйство», с последующей возможностью печати докладов в этих журналах, а также при поддержке Правительства Удмуртской Республики и Министерства энергетики УР. Планируется привлечь научных сотрудников университетов нефтяных факультетов.

