

Техническое описание

Точное измерение температуры технологического процесса с помощью инновационного поверхностного датчика




EMERSON™

Технология точного измерения температуры технологического процесса с помощью инновационного поверхностного датчика

Температура является наиболее часто измеряемым технологическим параметром. Она зачастую является критически важным фактором в определении эффективности технологического процесса и качества продукции. Существует несколько способов измерения температуры технологических параметров, и каждому присущи свои уникальные недостатки. В данном документе подробно описано, как новая инновационная технология, применяемая с поверхностным датчиком, может справиться с этими сложностями и облегчить работу, связанную с традиционными методами измерения температуры технологического процесса.

Узел из защитной гильзы и датчика температуры является наиболее часто используемым методом измерения температуры технологического процесса. Защитные гильзы позволяют полностью погружать датчик в технологический процесс, обеспечивая точность измерения, но имеют конструктивные недостатки, связанные с риском утечки.

Традиционное измерение поверхностным датчиком позволяет избежать проблем, связанных с защитной гильзой, путем устранения необходимости вмешательства в технологический процесс. К сожалению, данный метод обладает своими сложностями, так как не может точно или воспроизводимо продемонстрировать внутреннюю температуру технологического процесса ввиду ряда факторов, которые могут влиять на измерение.

Новая инновационная технология, применяемая с поверхностным датчиком, устраняет недостатки, связанные с защитными гильзами и вмешательством в технологический процесс, при этом обеспечивая сопоставимую точность измерения. Эта новая инновационная технология использует алгоритм теплопередачи с использованием известных свойств теплопроводности технологической трубы или сосуда, и узла измерения поверхностной температуры для расчета точного и воспроизводимого значения внутренней температуры технологического процесса.

Недостатки традиционных методов измерения температуры

Недостатки методов измерения температуры с использованием защитных гильз

Наиболее распространенным методом измерения температуры является монтаж датчиков с защитной гильзой. Защитная гильза является компонентом узла измерения температуры, действующим в качестве защитного барьера между датчиком температуры и технологическим процессом. Она позволяет помещать датчик температуры в технологический процесс, в то время как без нее датчик не выдержал бы жестких рабочих условий. К этим условиям

относятся нагрузка от потока, высокое давление и коррозионные или эрозионные технологические жидкости.

Защитная гильза позволяет помещать датчик непосредственно в технологический процесс (см. Рис. 1), температуру которого необходимо измерить, но при этом также возможна утечка и проблемы с безопасностью, так как происходит вмешательство в технологический процесс. В связи с тем, что защитная гильза напрямую контактирует с технологическим процессом, для ее проектирования и установки необходимо учитывать ряд нюансов. Тип технологической жидкости, ее плотность и состояние, а также такие параметры, как давление, температура, расход и вязкость влияют на выбор конструкции защитной гильзы, правильность монтажа и безопасность эксплуатации. Также необходимо учитывать совместимость материалов с коррозионными или абразивными технологическими жидкостями. Расчеты частоты вихревого потока (на основании ASME PTC 19.3TW) выполняются для обеспечения надлежащей конструкции защитных гильз, однако такие расчеты основываются на данных для конкретного технологического процесса. Если параметры технологического процесса отличаются от тех, которые были использованы для расчета частоты вихревого потока, защитная гильза уже может не подойти. Использование может привести к усталости материала, повреждению и в итоге к выходу из строя защитной гильзы (см. Рис. 2). Для снижения данного риска расчеты частоты вихревого потока часто проводят несколько раз для каждой точки измерения и для различных вариантов технологического процесса при разной температуре, давлении и расходе.

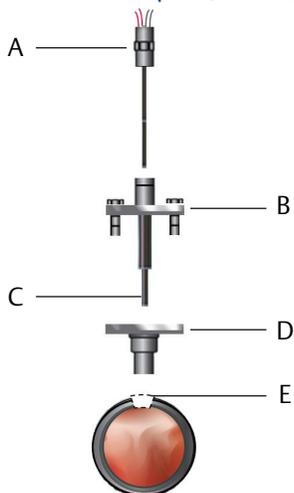
Все это приводит к повышенной сложности проектирования защитной гильзы, замена которой может потребоваться, если изменятся условия технологического процесса. К проектным требованиям по защитной гильзе относится следующее, не ограничиваясь этим:

- Профиль гильзы
- Глубина погружения
- Вид материала
- Тип технологического соединения
- Длина удлинителя
- Толщина кончика
- Диаметр отверстия

Измерение температуры в трубах малого диаметра может вызвать дополнительные сложности для применения защитных гильз. Погрешность проводимости гильзы (т.е. погрешность измерения температуры из-за влияния температуры окружающей среды и других внешних источников температуры на теплопроводность) влияет на точность, если глубина погружения не превышает диаметр кончика защитной гильзы более чем в 10 раз. Зачастую невозможно достичь данного требования по соотношению длины к диаметру кончика в небольших линиях. Например, чтобы избежать погрешности проводимости гильзы защитная гильза с диаметром кончика в 1 см потребует минимальной глубины погружения защитной гильзы в 10 см. Очевидно, что этого сложно достигнуть в трубах размером до 10 см. Установка защитной гильзы в коленах трубы может обеспечить необходимую глубину погружения для небольших труб, но это не всегда возможно.

Кроме того, так как защитная гильза находится в прямом контакте с технологическим процессом, любая визуальная проверка, новая установка или замена требуют остановки технологического процесса.

Рисунок 1. Компоненты узла традиционного измерения температуры с применением защитной гильзы



- A. Первичный преобразователь
- B. Фланец защитной гильзы
- C. Защитная гильза
- D. Технологический фланец, патрубок и соединение сваркой
- E. Отверстие в трубе

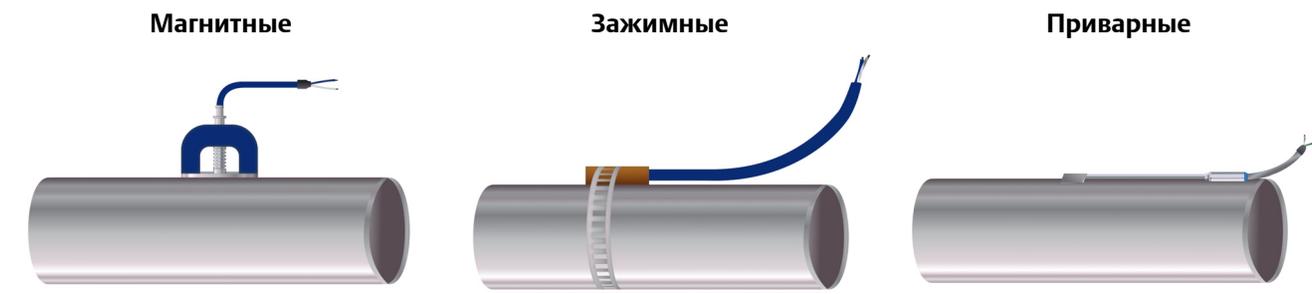
Рисунок 2. Примеры отказа защитной гильзы



Недостатки традиционной технологии измерения поверхностной температуры

Узел для измерения поверхностной температуры (см. Рис. 3) позволяет избежать ряда проблем, связанных с установкой защитной гильзы, так как прямой контакт с технологическим процессом не требуется. В связи с тем, что точка измерения находится вне измеряемого технологического процесса, угрозы физического повреждения или потенциального риска утечки из-за внутренних условий нет. Расчет частоты вихревого потока и другие сложные расчеты конструкции не требуются.

Рисунок 3. Типы датчиков измерения поверхностной температуры



Несмотря на то, что традиционный узел измерения поверхностной температуры устраняет ряд проблем и сложностей, во многих случаях она несопоставима по точности измерения с узлом измерения с защитной гильзой. Если необходимо измерение внутренней температуры технологического процесса, измерение поверхностной температуры зачастую не может точно или воспроизводимо измерить внутреннюю температуру.

На точность измерения поверхности могут существенно влиять внешние факторы, которые ведут к непредсказуемости результатов и усложняют попытки связать температуру поверхности с температурой процесса. Взаимосвязь температуры поверхности с температурой процесса в значительной мере зависит от разницы между температурой окружающей среды и внутренней температурой процесса. Даже равномерно примененная поправка измерения температуры поверхности в качестве попытки ее выравнивания с учетом ожидаемого падения температуры в трубе или стенки сосуда не позволяет достичь необходимой точности, если изменяется либо температура процесса, либо температура окружающей среды. Датчик температуры поверхности и соответствующий узел могут действовать в качестве теплоотвода, поглощая тепло либо от процесса, либо от внешней среды, приводя к неточностям, аналогичным погрешности проводимости гильзы, присущей узлу с использованием защитной гильзы в небольших трубах.

На Рис. 4 показан пример того, как температура от трубы до головки измерительного преобразователя может распространяться в узле поверхностного датчика. Данную нелинейную связь тяжело смоделировать для внесения поправки. Применение изоляции для узла измерения температуры может снизить большую часть нелинейной теплоотдачи и помочь создать одномерный профиль теплоотдачи для температурного узла и головки измерительного передатчика. Подобная линейаризация теплоотдачи не устраняет все неточности измерения температуры поверхности, но позволяет найти решение для корректирования изменяющихся условий окружающей среды и технологического процесса.

На Рис. 4 и Рис. 5 показаны профили потерь тепла с узла измерения температуры поверхности в окружающую среду как для свободной, так и для принудительной конвекции.

Рисунок 4. Моделирование свободной конвекции

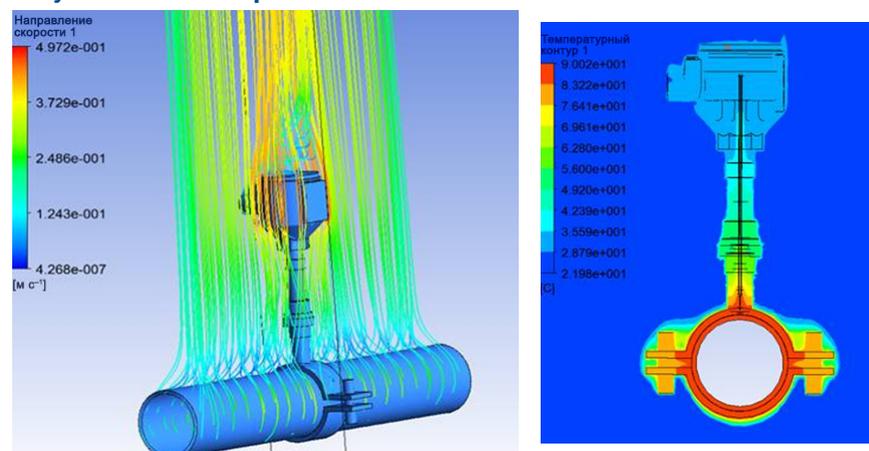
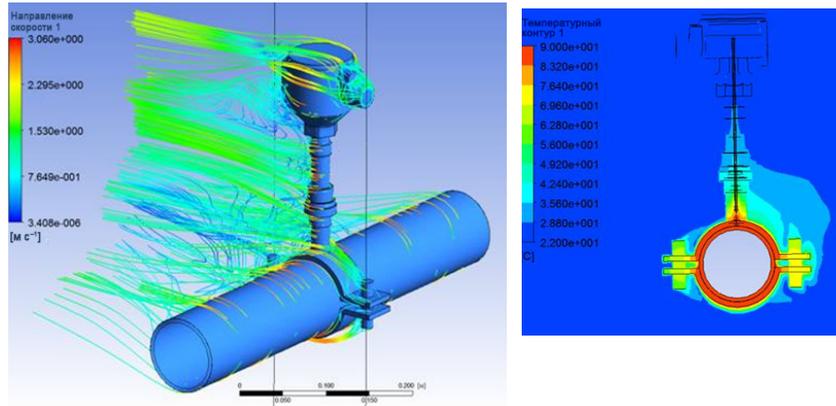
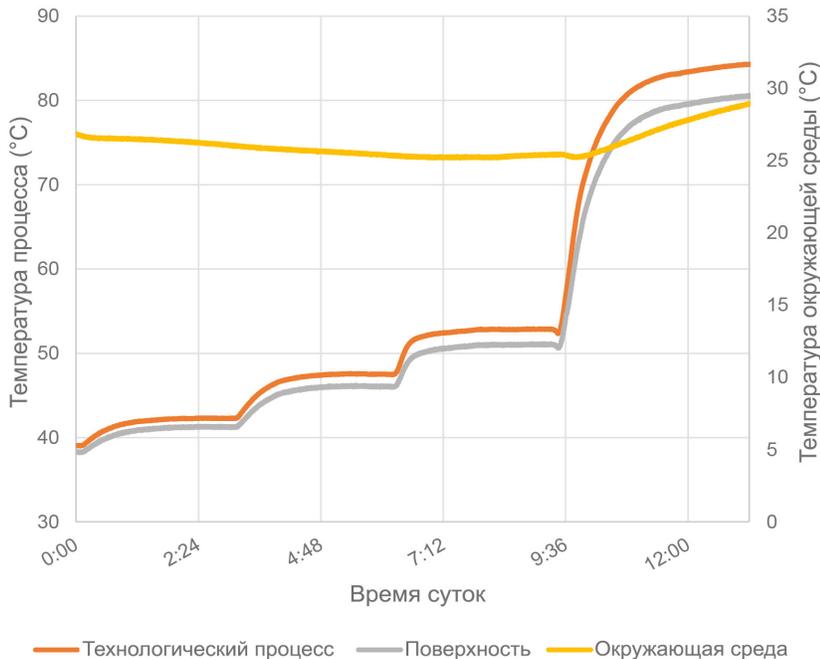


Рисунок 5. Моделирование принудительной конвекции (скорость ветра 2 м/с)



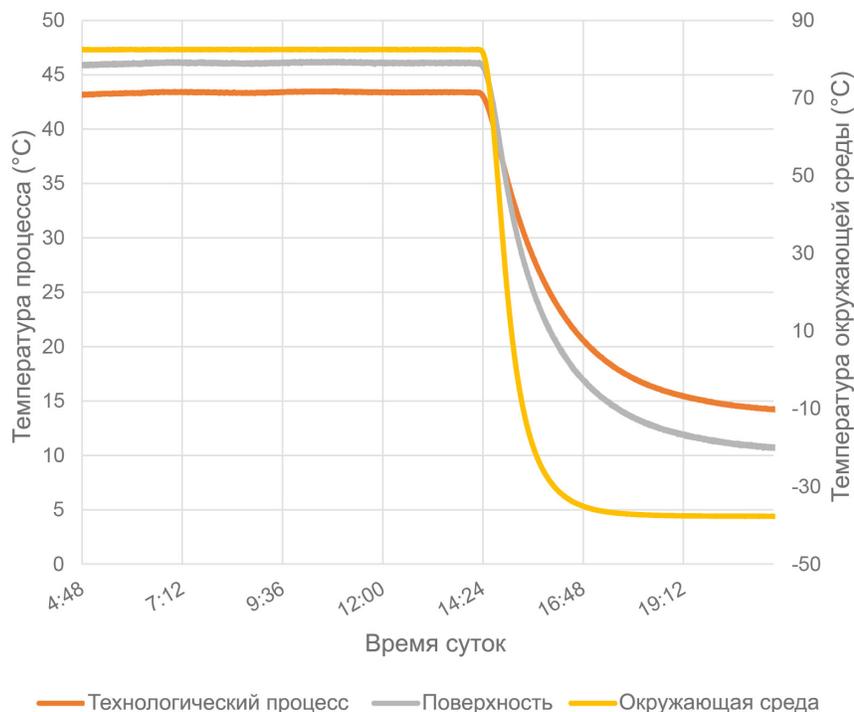
На Рис. 6 показаны данные сравнение измерения температуры воды в трубопроводе посредством погружного термопреобразователя сопротивления и температуры теплоизолированной поверхности трубы. В данном примере, температура окружающей среды является довольно стабильной в пределах от 27 до 29°C, при этом температура процесса скачкообразно растет с 40 до более 80°C. С ростом разницы между температурой процесса и температурой окружающей среды разница между температурой процесса и температурой поверхности увеличивается с 1°C почти до 5°C.

Рисунок 6. Изменяющаяся температура техпроцесса: Сравнение изолированного поверхностного датчика и погружного термопреобразователя сопротивления



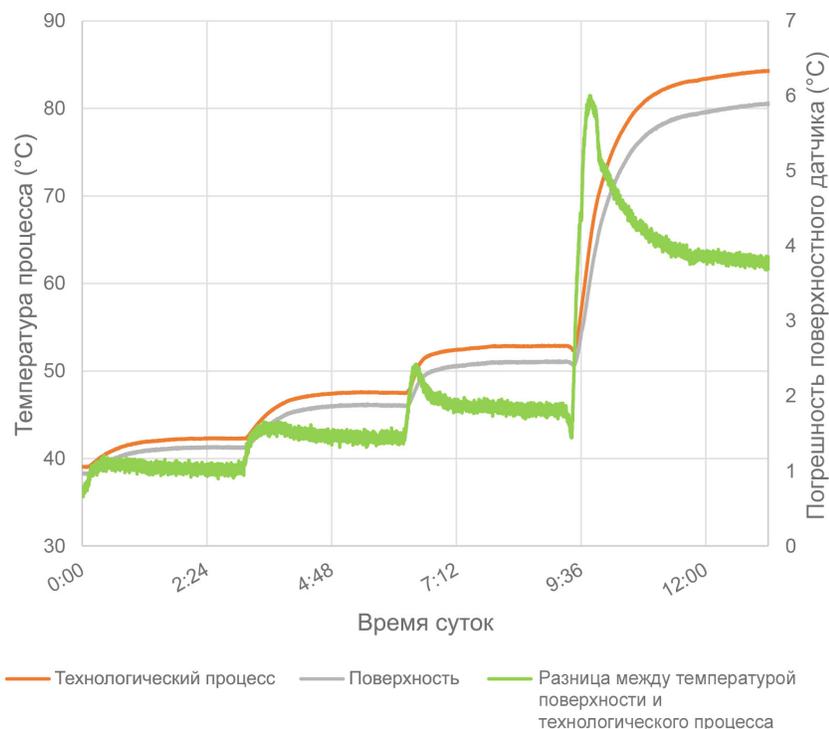
В то же время, такое же поведение можно заметить при аналогичном изменении температуры окружающей среды, как показано на Рис. 7. При равных условиях испытания температура окружающей среды падает с 80°C ниже -40°C . С ростом разницы между температурой процесса и температурой окружающей среды разница между температурой процесса и температурой поверхности увеличивается с 2°C почти до 5°C .

Рисунок 7. Изменяющаяся температура окружающей среды: Сравнение изолированного поверхностного датчика и погружного термопреобразователя сопротивления



На Рис. 8 рассмотрено первое испытание и разница между температурой процесса и температурой поверхности в качестве переменной. С ростом температуры процесса погрешность или разница между температурой процесса и температурой поверхности растет. Данная связь усложняет сравнение двух значений, так как зависит от температуры процесса, температуры окружающей среды и теплопроводности установки измерений.

Рисунок 8. Погрешность поверхностного датчика: Сравнение изолированного поверхностного датчика и погружного термопреобразователя сопротивления (постоянная температура окружающей среды)



Новая инновационная технология измерения поверхности решает проблемы и применения защитной гильзы, и традиционной технологии измерения температуры поверхности

Как было подробно описано в предыдущем разделе, существует множество факторов, которые могут влиять на показания традиционного измерения температуры поверхности. Это осложняет применение технологии в качестве измерения температуры технологического процесса. Однако, путем внедрения алгоритма, учитывающего свойства теплопроводности узла измерения температуры и соответствующих труб или сосуда, решение с применением датчика измерения температуры поверхности можно использовать для точного расчета внутренней температуры техпроцесса.

Вводя значения измерения температуры окружающей среды и поверхности из Рис. 6 в алгоритм теплопроводности можно рассчитать значения температуры технологического процесса. На Рис. 9 показано сравнение между «откорректированной температурой» и внутренней температурой процесса. Рассчитанные значения практически совпадают со значениями измерения.

На Рис. 10 показано сравнение между «откорректированной температурой» и внутренней температурой процесса для примера, показанного ранее на Рис. 7. И снова, рассчитанные значения очень близки к измеренным значениями температуры процесса.

Рисунок 9. Применение коррекции к изменяющейся температуре процесса: Сравнение изолированного поверхностного датчика и погружного термопреобразователя сопротивления

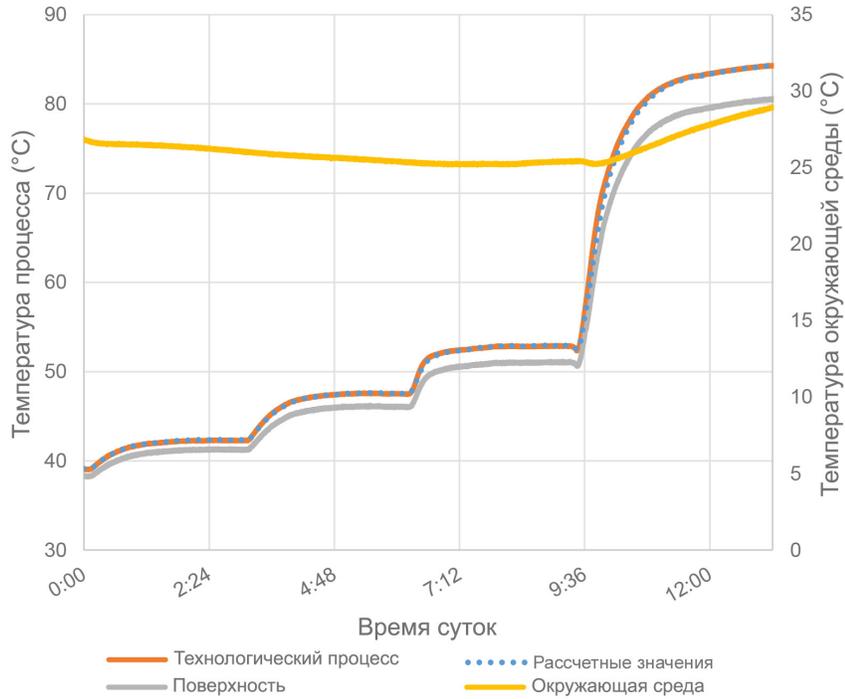
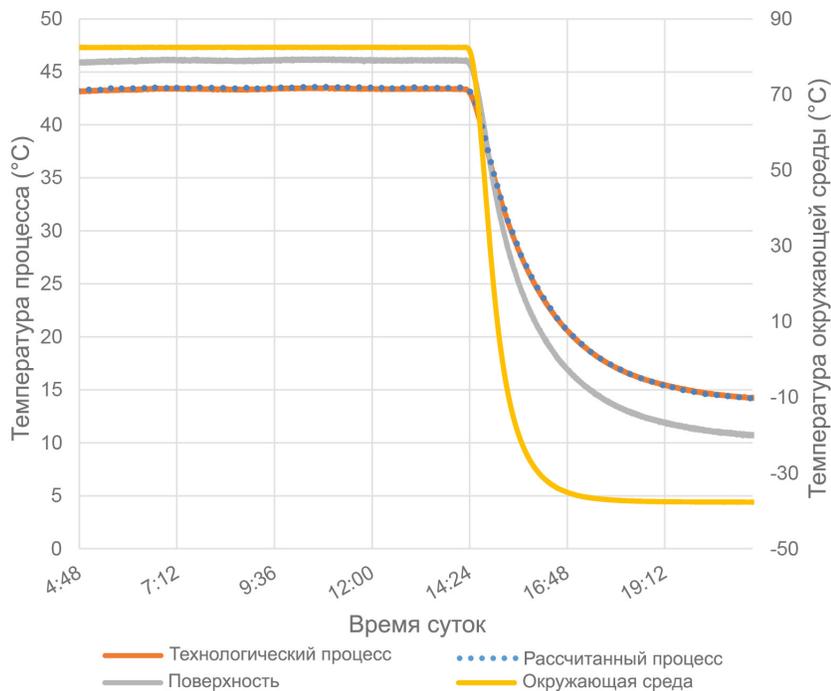
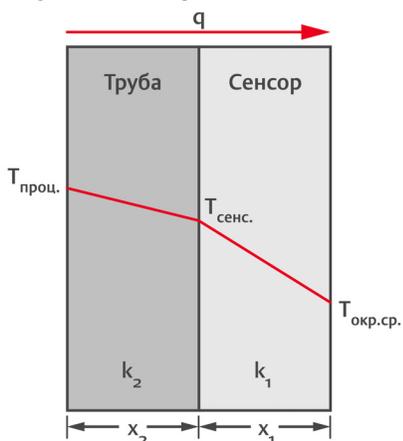


Рисунок 10. Применение коррекции к изменяющейся температуре окружающей среды: Сравнение изолированного поверхностного датчика и погружного термопреобразователя сопротивления



Если принять условия теплопроводности установившегося процесса и незначительное влияние теплопроводности окружающей среды, которая устраняется при надлежащей изоляции, узел измерения температуры и технологические трубы могут рассматриваться как ряд плоскостей с различной теплопроводностью, как показано на Рис. 11.

Рисунок 11. Упрощенная теплопередача через узел измерения температуры и трубу



Где:

q = Теплопередача

$T_{\text{окр.ср.}}$ = Измеренная температура окружающей среды

x_1 = Толщина датчика (измерительного преобразователя)

k_1 = Теплопроводности датчика (измерительного преобразователя)

$T_{\text{датч.}}$ = Измеренная температура поверхности

x_2 = Толщина стенки технологической трубы

k_2 = Теплопроводность стенки трубы

$T_{\text{проц.}}$ = Рассчитанная температура процесса

Применяя закон Фурье, теплопередачу можно рассчитать и использовать для расчета внутренней температуры процесса. Для одномерной теплоотдачи закон Фурье упрощается до следующего вида:

$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Если толщина и теплопроводность технологической трубы или стенки сосуда представлена как x_2 и k_2 , а длина и теплопроводность датчика (измерительного преобразователя) представлены как x_1 и k_1 соответственно, закон Фурье можно использовать для выражения одномерной теплоотдачи через узел в следующем виде:

$$q_{\text{датч.}} = (T_{\text{окр.ср.}} - T_{\text{датч.}}) / (x_1/k_1) \text{ и } q_{\text{трубы}} = (T_{\text{датч.}} - T_{\text{проц.}}) / (x_2/k_2)$$

В данном случае одномерная теплоотдача может считаться постоянной для всего узла, поэтому $q_{\text{датч.}}$ и $q_{\text{трубы}}$ равны.

$$q = (T_{\text{окр.ср.}} - T_{\text{датч.}}) / (x_1/k_1) = (T_{\text{датч.}} - T_{\text{проц.}}) / (x_2/k_2)$$

Температуры окружающей среды $T_{\text{окр.ср.}}$ и температура поверхности $T_{\text{датч.}}$ могут быть измерены и использованы для расчета температуры процесса $T_{\text{проц.}}$. Решение $T_{\text{проц.}}$ имеет следующий вид:

$$T_{\text{проц.}} = T_{\text{датч.}} + (T_{\text{датч.}} - T_{\text{окр.ср.}}) \times (x_2/k_2) / (x_1/k_1)$$

Запатентованная инновационная технология поверхностного измерения температуры решает проблемы традиционной технологии с использованием защитной гильзы и технологии измерения температуры поверхности путем внедрения алгоритма расчета температуры технологического процесса в измерительный преобразователь температуры, связанного в единый узел с первичным преобразователем температуры поверхности. Использование узла измерения температуры, оснащенного данным алгоритмом, значительно упрощает измерение температуры технологического процесса.

Вопросы точности измерения

Общая погрешность инновационной технологии поверхностного измерения может рассматриваться аналогично стандартному узлу измерения температуры (т.е. цифровая погрешность измерительного преобразователя и влияние температуры окружающей среды, погрешность первичного преобразователя и т.п.). В случае использования алгоритма теплопроводности для расчета температуры технологического процесса при поверхностном измерении, необходима одна дополнительная составляющая погрешности, зависящая от разности температурой окружающей среды и температурой техпроцесса. Эта дополнительная составляющая погрешности называется Влиянием температуры технологического процесса (ВТПП); испытания показали, что она составляет менее 1% от разницы температуры окружающей среды и температуры техпроцесса. Это погрешность вызвана неоднородностью контакта первичного преобразователя с поверхностью трубы. Если не обеспечен полный контакт первичного преобразователя с поверхностью трубы, это влияет на точность, при этом частично это учитывается и включается в спецификацию ВТПП, но очень неравномерные или грязные поверхности могут отрицательно сказаться на точности. Примерами недостаточного контакта являются впадины или любые физические неравномерности поверхности трубы. Применение термопасты или материала для улучшения контакта датчика с поверхностью трубы не рекомендуется, так как при этом вводится новый материал и тепловые характеристики, не учтенные в алгоритме, что приведет к дополнительной погрешности.

На производительность также влияет надлежащее перемешивание жидкости и размещение первичного преобразователя. Жидкость должна двигаться в трубе так, чтобы обеспечивалось равномерное распределение температуры. Без этого в трубе могут образовываться большие перепады температур. Также важно, чтобы поверхностный первичный преобразователь контактировал с той частью трубы, которая контактирует со внутренней жидкостью (т.е. если труба заполнена наполовину, датчик должен быть в нижней части трубы).

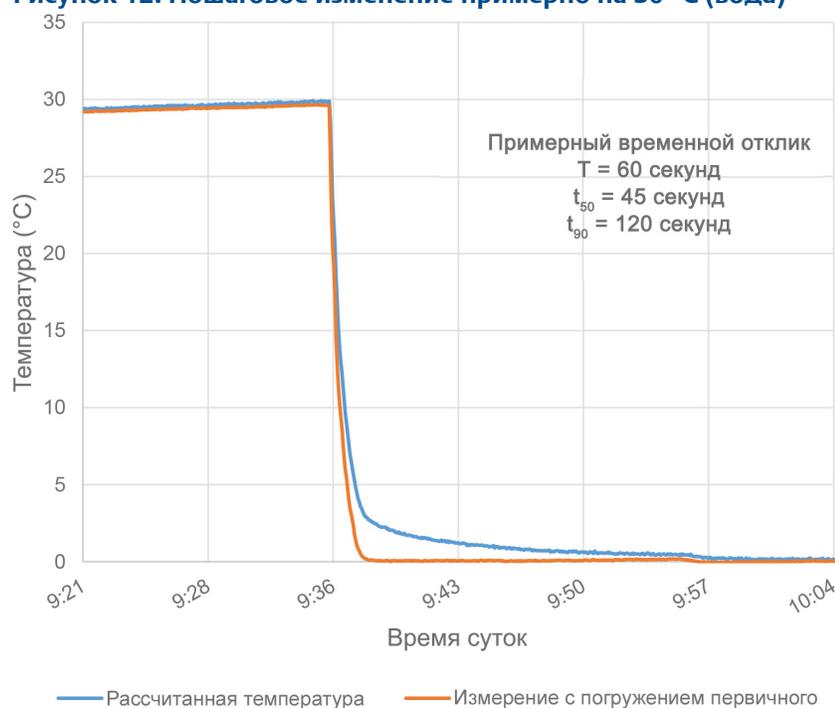
Инновационная технология поверхностного измерения температуры оптимальным образом работает в приложениях со стабильным состоянием. В случае быстрого измерения температуры процесса или окружающей среды, может быть задержка в поправке из-за инерционных характеристик используемых первичных преобразователей, а также соответствующего временного отклика при измерении в трубе или стенке сосуда.

Измерение поверхности может иметь больший отклик в сравнении с применением защитной гильзы. Однако, в данном сравнении временной отклик зависит от многих факторов, включая:

- Материал трубы
- Толщина стенки
- Тип среды
- Расход
- Дельта температуры окружающей среды/процесса
- Тип материала и конструкция защитной гильзы
- Тип первичного преобразователя
- Частота обновления измерительного преобразователя

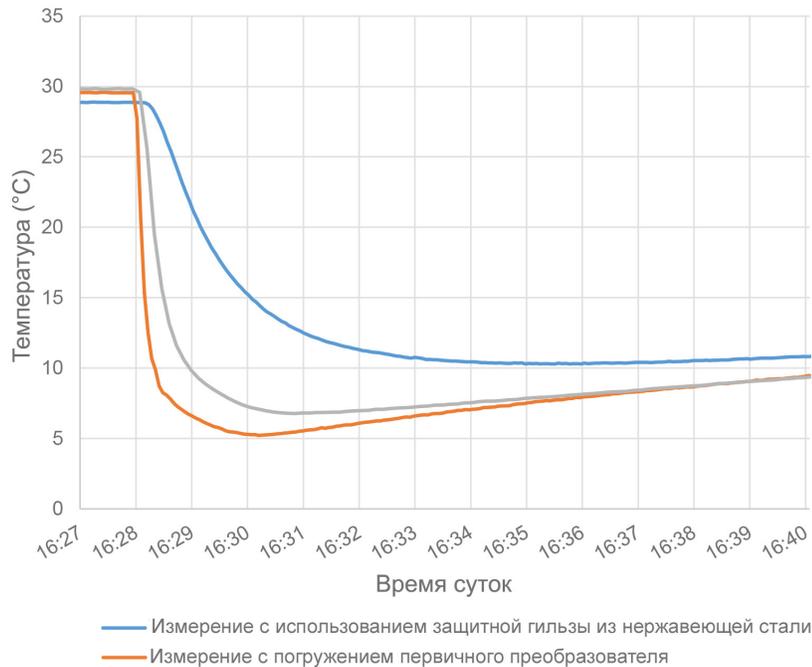
Данные по временному отклику при внутреннем испытании показаны на Рис. 12.

Рисунок 12. Пошаговое изменение примерно на 30 °С (вода)



Данные испытания также показали, что расчет отношения температуры поверхности к температуре технологического процесса для небольших трубопроводов превосходит показатели при применении стандартного узла с защитной гильзой ввиду погрешности теплопроводности защитной гильзы. На Рис. 13 показано поведение защитной гильзы из нержавеющей стали в сравнении с погружаемым термопреобразователем сопротивления и представлено рассчитанное значение температуры процесса при измерении поверхности.

Рисунок 13. Пошаговое изменение примерно в 25°C (вода)



Изменения свойств трубы или стенки сосуда влияют на работу алгоритма. Алгоритм основан на учете параметров свойств трубы, поэтому при их изменении пострадает точность. Образование окалины или иных накоплений внутри трубы снизит теплопроводность трубы и отрицательно скажется на точности расчета измерения температуры. Внешние отложения на трубе (в точке контакта с первичным преобразователем) и истончение материала трубы также отрицательно скажутся на точности

Подходящие применения

Данная технология подходит для многих применений, когда необходимо измерение температуры технологической среды в трубе:

- Контроль температуры трубопровода
- Использование в небольших трубах
- Проекты модернизации с новыми точками измерения
- Трубопроводы, требующие частой очистки
- Высокие скорости потока технологической среды
- Суспензии и жидкости с тяжелыми частицами
- Высоковязкие жидкости
- Жесткие условия, требующие специальных материалов

Ввиду большего времени отклика при некоторых условиях, на данный момент технология не предназначена для применения в системах противоаварийной

защиты (ПАЗ), управления процессами с высокой динамикой изменения температуры и для систем коммерческого учета.

На данный момент эта технология используется в следующих приложениях: небольшие трубы, контур нагрева, разделители масла и песка, линии подачи воды и т.п.

Заключение

В данном документе описаны сложности измерения температуры поверхности и измерения с применением защитной гильзы; описана новая технология поверхностного измерения температуры и то, как она решает вышеуказанные проблемы; представлена информация по точности и временному отклику, влиянию температуры окружающей среды; указаны подходящие применения для новой технологии.

Компания Emerson называет данную технологию Rosemount™ X-well™ Technology. Она используется в беспроводных измерительных преобразователях температуры Rosemount 648, измерительных преобразователях Rosemount 3144P и собранных в единый узел измерения с термопреобразователем сопротивления Rosemount 0085, имеющего крепление в виде хомута. Эти компоненты работают вместе для расчета температуры процесса с применением алгоритма теплопроводности измерительного преобразователя. Технология Rosemount X-well Technology заключается в измерении температуры поверхности трубы и температуры окружающей среды, учете информации о теплопроводности узла измерения и технологических труб.

Технология Rosemount X-well Technology обеспечивает точное измерение температуры технологического процесса без необходимости во вмешательстве в процесс, устраняя возможность утечки и ускоряя и упрощая монтаж и эксплуатацию узла измерения температуры. Пользователи избавлены от необходимости выбора конструкции защитной гильзы, ее монтажа и обслуживания. Расчеты частоты вихревого потока не требуются, как и не требуется определение совместимости материалов, правильная глубина погружения и нужный профиль.

Технология Rosemount X-well Technology позволяет пользователям добавлять точки измерения температуры без остановки технологического процесса. Технология Rosemount X-well Technology позволяет проводить монтаж измерительного узла на трубу при помощи хомута и с применением стандартных ручных инструментов и не требует привлечения специально обученного подрядчика. К областям применения относятся трубопроводы, высокоскоростные потоки, суспензии, жидкости с тяжелыми частицами, устья скважин, процессы очистки на месте, высоковязкие жидкости и жесткие условия в следующих областях:

- Нефтегазовая промышленность
- Химическая промышленность
- Переработка нефти
- Медико-биологическая промышленность
- Металлургия и горная промышленность
- Целлюлозно-бумажная промышленность

Для получения дополнительной информации по Rosemount X-well Technology см. www.Emerson.ru/Rosemount-XWell

Emerson

Россия, 115054, г. Москва
ул. Дубининская, 53, стр. 5

+7 (495) 995-95-59

+7 (495) 424-88-50

Info.Ru@Emerson.com

www.emerson.ru/automation

Азербайджан, AZ-1025, г. Баку

Проспект Ходжалы, 37

Demirchi Tower

+994 (12) 498-2448

+994 (12) 498-2449

Info.Az@Emerson.com

Казахстан, 050060, г. Алматы

ул. Ходжанова 79, этаж 4

БЦ Аврора

+7 (727) 356-12-00

+7 (727) 356-12-05

Info.Kz@Emerson.com

Украина, 04073, г. Киев

Куреневский переулок, 12,

строение А, офис А-302

+38 (044) 4-929-929

+38 (044) 4-929-928

Info.Ua@Emerson.com

Промышленная группа «Метран»

Россия, 454003, г. Челябинск,

Новоградский проспект, 15

+7 (351) 799-51-52

+7 (351) 799-55-90

Info.Metran@Emerson.com

www.emerson.ru/automation

Технические консультации по выбору
и применению продукции осуществляет

Центр поддержки Заказчиков

+7 (351) 799-51-51

+7 (351) 799-55-88

Актуальную информацию о наших контактах
смотрите на сайте www.emerson.ru/automation

00870-0207-4648, Ред. ВА,
Февраль 2017 г.

 Emerson Ru&CIS

 twitter.com/EmersonRuCIS

 www.facebook.com/EmersonCIS

 www.youtube.com/user/EmersonRussia

Стандартные условия продажи приведены на странице:

www.Emerson.com/en-us/pages/Terms-of-Use

Логотип Emerson является товарным знаком и знаком обслуживания корпорации Emerson Electric Co.

Наименование PlantWeb, THUM Adapter, Rosemount и логотип Rosemount являются товарными знаками компании Emerson.

HART является зарегистрированной торговой маркой компании FieldComm Group.

NEMA является зарегистрированной торговой маркой компании National Electrical Manufacturer's Association (Национальная Ассоциация производителей электротехнических приборов) (США).

NACE является зарегистрированной торговой маркой компании NACE International.

Все прочие товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

© 2017 Emerson. Все права защищены.