

Тепловая инерция датчиков температуры



Тепловая инерционность – свойство любого контактного датчика температуры. В статье рассмотрен ряд вопросов: что такое тепловая инерция, из-за чего она возникает, как влияет на процесс измерений, всегда ли нужны датчики с низкой инерционностью. На примере кабельных термопар ОВЕН продемонстрированы решения, с помощью которых тепловую инерцию датчика можно снизить.

Компания ОВЕН, г. Москва

Что такое тепловая инерция?

Широкое применение при измерении температуры получили контактные методы, когда датчики температуры находятся в непосредственном контакте с контролируемой средой. В реальном мире стационарных тепловых потоков не существует, и на практике приходится сталкиваться с нестационарными потоками. У всех датчиков существует запаздывание выходного сигнала относительно изменения температуры измеряемой среды. Этот эффект называется «тепловой инерцией». Тепловая инерция возникает из-за заметного изменения теплового потока и температуры в разных точках потока жидкости и газа в течение времени. Все датчики температуры реагируют на колебания температуры в пространстве, только

одни это делают быстрее, другие медленнее [1].

От чего зависит тепловая инерция?

Температуры различных материалов при одинаковых условиях нагревания и охлаждения изменяются с различной скоростью. Скорость изменения температуры характеризуется теплоемкостью вещества, а она в свою очередь зависит от его удельной теплоемкости и плотности. Тепловую инерцию любого материала можно найти, используя формулу:

$$I = \sqrt{\rho \times c \times k}, \text{ где}$$

k – теплопроводность;

ρ – плотность материала;

c – удельная теплоемкость материала.

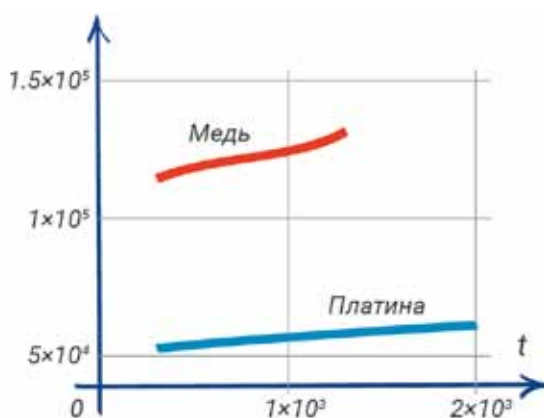


Рис. 1. Тепловая инерция меди и платины в зависимости от измеряемой температуры

На рис. 1 представлены графики изменения тепловой инерции для меди и платины в зависимости от измеряемой температуры.

Проволочные датчики температуры обладают некоторыми неоспоримыми преимуществами. Они нечувствительны к механическим нагрузкам, колебаниям и ударам, имеют высокое сопротивление ударной нагрузке и давлению. Это объясняется конструкцией самого датчика – платиновая проволочная спираль свободно двигается внутри керамического корпуса, заполненного алюминиевым порошком, и фиксируется только на его концах. Проволочные датчики позволяют использовать сразу два измерительных элемента – две платиновые спирали в одном керамическом корпусе для удобства эксплуатации и более широких функциональных возможностей. Проволочные терморезисторы будут правильным выбором для процессов, требующих высокой температурной стабильности, например в химической промышленности и энергетике, а также в связи с лабораторными измерительными приборами [2].

Что касается сравнения показателей тепловой инерции этих двух видов чувствительных элементов, то информации крайне мало, а экспериментальные данные фактически отсутствуют. Мы планируем провести исследования на этот счет и ответить на вопрос: у какого терморезистора,



Рис. 2. Термоэлектрический термометр



Рис. 3. Термоэлектрический преобразователь с изолированным и неизолированным спаем

тонкопленочного или проволочного, меньше инерция?

Как конструкция датчика влияет на его инерционность?

Тепловая инерция зависит также от конструктивного исполнения датчика температуры. В частности, защитная арматура всегда увеличивает тепловую инерцию датчика (рис. 2). Причем чем толще стенка арматуры, тем больше инерция. Например, при измерении высокотемпературных и агрессивных сред, а также расплавов солей и металлов необходимо использовать термоэлектрические преобразователи (термопары) в защитных толстостенных чехлах (с толщиной стенки вплоть до 20 мм).

Для снижения тепловой инерции термометров применяют засыпку между чувствительным элементом (измерительным узлом) и арматурой. В качестве засыпки служат кварцевый песок и мелкодисперсные порошки: периклаз (MgO) и электрокорунд (Al_2O_3). Такое решение позволяет уменьшить тепловую инерцию датчика на 50 %.

Для обеспечения эффективного теплового контакта термометра сопротивления и трубопровода (уменьшения влияния тепловой инерции) рекомендуется применять термопасту и укрывать датчик теплоизоляционным материалом. Конструкция термосопротивлений уже часто включает в себя термопасту, которую наносит в месте контакта ЧЭ и внутренней поверхности арматуры сам производитель. Эксплуатация термопасты допускается в среднем при температурах от -50 до $200\text{ }^{\circ}C$.

Следует отметить, что тепловая инерция зависит также от исполнения рабочего спая. Различают изо-

лированный и неизолированный рабочий спай (рис. 3). Покажем это на примере кабельных термопар ОВЕН с диаметром погружной части 4,5 мм.

Датчик, у которого спай не изолирован от оболочки КТМС, имеет тепловую инерцию 1 секунду, а у датчика с изолированным спаем инерция 2 секунды. Соответственно, датчик с наименьшей тепловой инерцией – датчик с неизолированным рабочим спаем.

На что влияет тепловая инерция?

Тепловая инерционность характеризуется постоянной времени. Знание значений постоянных времени термопар и возможных их отклонений необходимо для правильного подбора датчика. Если возможные отклонения постоянной времени для выбранного типа термопар превышают допустимый предел, то постоянную времени с необходимой степенью точности следует определять для каждой конкретной термопары [3]. Чем она боль-

ше, тем больше времени требуется датчику для достижения температуры контролируемой среды.

Важнейшей характеристикой любого измерительного прибора является его чувствительность. Увеличение чувствительности позволяет измерить температуру с большей точностью. Однако существует предел увеличения чувствительности, связанный с тепловой инерцией термометра. По причине тепловой инерции все термометры обладают так называемой инерционной погрешностью. В тех случаях, когда эта погрешность превышает требуемую точность измерений, дальнейшее повышение точности становится лишним смыслом.

Следует учесть, что тепловая инерция влияет не только на скорость процесса, но и на погрешность измерений

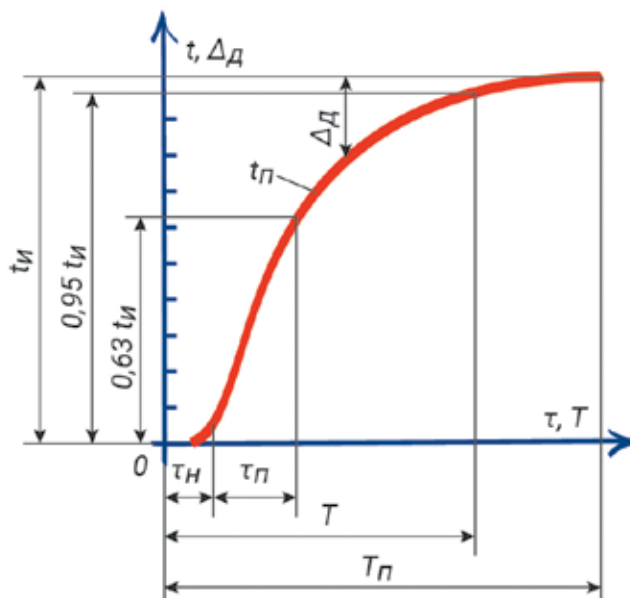


Рис. 4. Временные характеристики переходного процесса

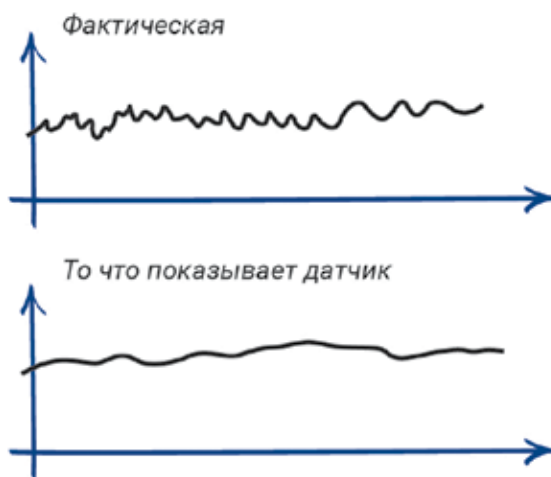


Рис. 5. Переходные процессы с пульсацией температуры при различных постоянных времени датчиков

соответственно. Тепловая инерция датчика, обусловленная сравнительно медленным нагревом термочувствительного элемента, приводит к запаздыванию показаний прибора, то есть при изменении измеряемой температуры до нового установившегося значения t_n показание термометра t_n постепенно достигает этого значения (рис. 4).

Также на рис. 4 представлен ряд показателей времени переходного процесса: τ_n (время от начала реагирования, в течение которого показание прибора достигнет 63% изменения измеряемой величины), время переходного процесса T (время, в течение которого показание прибора достигнет 95% изменения измеряемой велии-

ны), полное время установления показаний T_n (время, в течение которого показание прибора достигнет 100% изменения измеряемой величины).

Быстрые колебания температуры в контролируемой среде и минимальное реагирование датчика на эти изменения могут существенно снизить качество регулирования и привести к поломке всей системы.

Всегда ли оправданно брать датчики температуры с малой тепловой инерцией? В рассмотренном выше случае это является прямой необходимостью. Но существует и обратная задача, когда не требуется контролировать точное значение температуры в пульсирующем процессе, а нужно просто поддерживать какое-то сред-

нее значение температуры. В таком случае правильно будет выбрать датчик с большим коэффициентом тепловой инерции, который позволит сгладить переходный процесс, следовательно, система не будет реагировать на резкие колебания температуры. Данное свойство проиллюстрировано на рис. 5.

Более того, для большинства термических процессов рабочий ресурс термпары и ее метрологическая стабильность значительно более важны, чем время срабатывания на плавное изменение температуры [4].

Литература

1. Сорокин Д.И., Джусов О.П. Динамические характеристики термопар. М: Обнинск, 1973. С. 2.
2. Проволочные датчики температуры Heraeus // Сенсорика: [сайт]. URL: <http://www.sensorica.ru/news/news113.shtml> (дата обращения: 21.04.2020).
3. Сорокин Д.И., Джусов О.П. Динамические характеристики термопар. М: Обнинск, 1973. С. 3.
4. Улановский А.А. Метрологическая стабильность термоэлектрических преобразователей (термпар) для измерения высоких температур. М: Обнинск. С. 8.

А. П. Разина, инженер по продукту «Датчики температуры», компания ОВЕН, г. Москва, тел.: +7 (495) 641-1156, e-mail: sales@owen.ru, сайт: owen.ru



vk.com/journal_isup
ВКонтакте



facebook.com/isup.ru
Фейсбук



zen.yandex.ru/isup
Яндекс.Дзен

Все статьи в свободном доступе