

Изобретение относится к области анализа материалов и среде помощью электрически нагреваемых термоэлектрических датчиков, температура которых определяется изменениями коэффициентов теплообмена датчика от теплового контакта с анализируемым материалом или средой и может быть использовано для определения концентрации компонентов газовой среды, скорости потоков жидкости, плотности материалов и веществ и других физических величин, функционально связанных с коэффициентом теплообмена подогревных термоэлектрических датчиков.

Известен наиболее близкий к изобретению способ определения коэффициента теплообмена термоэлектрических датчиков [3], заключающийся в том, что приводят рабочий спай термоэлектрического датчика в тепловой контакт с исследуемым материалом или средой, нагревают его до значения температуры окружающей среды, измеряют значение термоэлектродвижущей силы на свободных концах термоэлектрического датчика, компенсируют тепловыделение в спае эффектом Пельтье от электрического тока, пропускаемого через спай термоэлектрического датчика, а коэффициент теплообмена рассчитывают по формуле

$$\alpha = \frac{Q_k(I)}{F(T_1 - T_0)},$$

где $Q_k(I)$ - компенсирующий тепловой поток за счет эффекта Пельтье, пропорциональный току I ; F - поверхность теплообмена рабочего спаи датчика; T_1 - температура нагретого спаи, пропорциональная термоэлектродвижущей силе; T_0 - начальная температура спаи датчика.

Тепловыделение или поглощение тепла в исследуемой среде определяется по значению и направлению тока через спай термодатчика. Связь между электрическим током и тепловым потоком определяется или градуировкой, или расчетным путем при известных параметрах термоэлектрического датчика (или термопары). Однако известному способу присуща и невысокая точность. Это объясняется влиянием тепла Джоуля на компенсирующий тепловой поток, которое с одной стороны нарушает линейность между компенсирующей мощностью от эффекта Пельтье и электрическим током, с другой стороны неконтролируемо подогревают рабочий спай от части объемно выделяющегося тепла в электродах датчика. Кроме того на точность измерения температуры нагретого спаи существенное влияние оказывает непостоянство коэффициента Зеебека для используемых термоэлектродов и зависимость его от температуры спаи.

В основу настоящего изобретения положена задача создать способ определения коэффициента теплообмена термоэлектрических датчиков, в котором обеспечивалась бы точность определения коэффициента теплообмена термоэлектрических датчиков нагреваемых за счет эффекта Пельтье в спае термоэлектрода с исключением влияния тепла Джоуля и непостоянства коэффициента Зеебека термоэлектродов.

Поставленная задача решается тем, что в известный способ определения коэффициента теплообмена, который заключается в том, что приводят рабочий спай термоэлектрического датчика в тепловой контакт с исследуемым материалом или средой, пропускают постоянный ток через спай и нагревают его до значения температуры выше температуры исследуемого материала или среды, измеряют значение термоэлектродвижущей силы на свободных концах термоэлектрического датчика, измеряют температуру свободных концов и температуру исследуемого материала или среды, определяют коэффициент теплообмена спаи датчика по математическому выражению, согласно изобретению, дополнительно введены следующие операции:

прерывают ток через спай термоэлектрического датчика;

измеряют термоэлектродвижущую силу на его свободных концах через временной интервал равный 4 - 5 значениям тепловой постоянной времени датчика;

пропускают ток того же значения, но в противоположном направлении через спай, и охлаждают его до значения температуры ниже температуры исследуемого материала или среды;

измеряют значение термоэлектродвижущей силы на свободных концах через тот же временной интервал, а коэффициент теплообмена α вычисляют по математическому выражению

$$\alpha = \frac{2 \pi I E_2}{F(E_1 - E_3)(T_1 - T_0)},$$

где E_1 , E_2 , E_3 - значения термоэлектродвижущей силы соответственно после нагрева, без нагрева и после охлаждения спаи термоэлектрического датчика; F - поверхность нагрева или охлаждения термоэлектродов; π - коэффициент Пельтье, зависящий от материалов термоэлектродов; I - значение тока через спай термоэлектродов; T_1 - температура исследуемого материала или среды; T_0 - температура свободных концов термоэлектродов.

Введенные операции позволяют получать дополнительную информацию о теплообмене рабочего спаи термоэлектрического датчика и исследуемым материалом или средой. Операции измерения термоэлектродвижущей силы при прерывании тока через спай и измененном направлении протекающего тока позволяют расчетным путем исключить влияние тепла Джоуля на теплообмен спаи датчика в исследуемой среде. Расчет коэффициента теплообмена по предложенному математическому выражению исключает постоянство коэффициента Зеебека на получаемый результат. Измерения термоэлектродвижущей силы после каждого переключения спустя временные интервалы, равные 4 - 5 значениям тепловых постоянных времени спаи, позволяют разделить эффекты термоэлектродвижущей силы, отражающей процессы нагрева и охлаждения спаи-датчика. Указанные отличия позволяют решить поставленную задачу на изобретательском уровне.

На чертеже (фиг.) представлена схема устройства для определения коэффициента теплообмена термоэлектрических датчиков.

Устройство содержит измерительную камеру 1, термоэлектрический датчик 2, состоящий из двух термоэлектродов 3, 4 и рабочего спаи 5, двухполюсного переключателя 6 на три положения, источник 7 постоянного напряжения, миллиамперметр 8, переменный резистор 9 и милливольтметр 10.

Входы двухполюсного переключателя 6 соединены со свободными концами термоэлектродов датчика, рабочий спай 5 которого помещен в измерительную камеру 1. Противоположные выходы переключателя 6 соединены между собой и подключены к выходам источника 7 постоянного напряжения через миллиамперметр 8 и переменный резистор 9. К средним выходам переключателя 6 подключен милливольтметр 10.

Сущность способа определения коэффициента теплоотдачи термоэлектрических датчиков заключается в следующем.

Рабочий спай термоэлектрического датчика приводят в тепловой контакт с исследуемым материалом или средой. Пропускают через спай постоянный ток в таком направлении, чтобы видеть нагрев спая до температуры

$$T_2 = T_1 + \Delta T, \quad (1)$$

где T_1 - температура исследуемого материала или среды; ΔT - температура перегрева спая датчика.

Измеряют температуру T_1 исследуемого материала или среды. Температура перегрева датчика определяется суммарной рассеиваемой электрической мощностью в спаях и прилегающих участках термоэлектродов, а также теплообменом с окружающей средой

$$\Delta T = \frac{\pi I + K^2 r}{\alpha F}, \quad (2)$$

где π - коэффициент Пельтье, зависящий от материалов термоэлектродов; I - ток, протекающий через спай термоэлектродов; r - сопротивление термоэлектродов; K - коэффициент, учитывающий долю тепла Джоуля, поступающего в спай; α - коэффициент теплообмена, зависящий от теплопроводности исследуемого материала или среды, а также скорости среды, если она подвижна; F - поверхность теплообмена спая термоэлектродов.

Измеряют установившееся значение термоЭДС E_1 на свободных концах термоэлектродов датчика и силу тока I , протекающего через спай. Для этого измерение термоЭДС E_1 проводят после включения тока через временной интервал, равный 4 - 5 значениям тепловой постоянной времени датчика. После указанного интервала измеряемая термоЭДС равна

$$T_1 = S(T_1 + \frac{\pi I + K I^2 r}{\alpha F} - T_0), \quad (3)$$

где S - чувствительность термоэлектрического датчика, определяемая коэффициентом Зеебека; T_0 - температура окружающего воздуха, в котором расположены свободные концы термоэлектродов.

Измеряют температуру T_0 окружающего воздуха. Силу тока I выбирают из условия перегрева рабочего спая датчика на (5 - 10)K и допустимой плотности тока в термоэлектродах датчика.

Затем прерывают ток через спай ($I = 0$) и измеряют после указанного интервала установившееся термоЭДС

$$E_2 = S(T_1 - T_0). \quad (4)$$

Далее пропускают через спай тот же ток I , но в противоположном направлении. В результате охлаждения спая термоэлектродов датчика его термоЭДС принимает значение

$$E_3 = S(T_1 + \frac{K I^2 r - \pi I}{\alpha F} - T_0) \quad (5)$$

Измеряют после указанного временного интервала установившееся значение термоЭДС E_3 .

После проведения измерений термоЭДС определяют разность термоЭДС нагретого и охлажденного спая датчика

$$E_1 - E_3 = 2S \frac{\pi I}{\alpha F} \quad (6)$$

Вычисляют относительную разность термоЭДС (6) с учетом значения ЭДС E_2 из выражения (4).

$$\frac{E_1 - E_3}{E_2} = \frac{2 \pi I}{\alpha F (T_1 - T_0)} \quad (7)$$

Из равенства (7) определяют коэффициент теплообмена спая термоэлектрического датчика и исследуемым материалом или средой

$$\alpha = \frac{2 \pi I E_2}{F (E_1 - E_3) (T_1 - T_0)} \text{ [Вт/м}^2\text{, К]} \quad (8)$$

По измеренным значениям термоЭДС E_1 , E_2 , E_3 , силе тока I пропускаемого через спай, и температурам T_1 и T_2 вычисляют коэффициент теплообмена α . Как видно из расчетного выражения (8), полученное значение α не зависит от количества тепла Джоуля, поступающего в спай термоэлектродов датчика, и чувствительности S датчика, определяемой коэффициентом Зеебека термоэлектродов. Указанные преимущества позволяют определить коэффициент теплообмена датчиков с полупроводниковыми электродами n - и p -типа, которые обладают более высокой чувствительностью при анализе состава и свойств различных материалов и сред.

В качестве примера реализации способа рассмотрим работу устройства, изображенного на чертеже.

Анализируемую смесь пропускают через измерительную камеру 1, где размещен термоэлектрический датчик 2. Свободные концы термоэлектродов 3 и 4 выведены из камеры и их температура определяется температурой T_0 окружающего воздуха. Рабочий спай 5 датчика находится при температуре исследуемой смеси T_1 . Температуры T_0 измеряются из известных способов (измерители температуры на чертеже не показаны).

Вначале двухполюсный переключатель 6 устанавливают в верхнее положение. Ток, вызывающий дополнительный нагрев спая 5, протекает от источника 7 напряжения, а сила тока I через спай измеряется миллиамперметром 8 и регулируется переменным резистором 9. После нагрева спая 5 переключатель 6

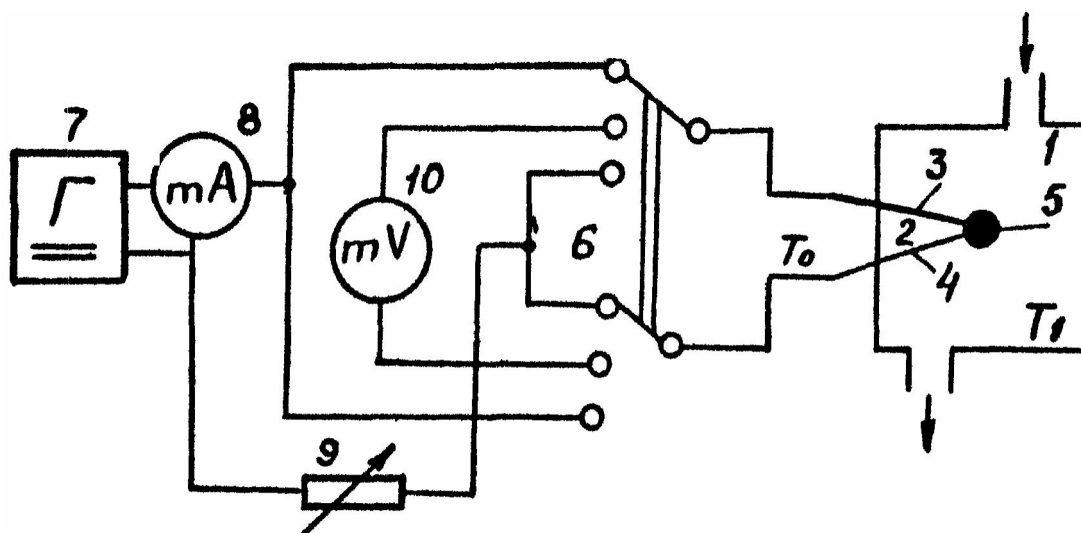
переводится в среднее положение и производится отсчет значения термоЭДС E_1 подогретого спая 5 по милливольтметру 10. Затем через временной интервал, равный 4 - 5 значениям тепловой постоянной времени датчика 2, производится следующий отсчет термоЭДС E_2 , который соответствует ненагретому спая 5, находящемуся при температуре T_1 .

После снятия отсчета двухполюсный переключатель 6 переводят в нижнее положение, при котором через спай 5 протекает тот же ток I , но в противоположном направлении. После охлаждения спая 5 до установившейся температуры, что достигается после временного интервала в 4 - 5 значений тепловой постоянной времени датчика 2, вновь переключатель 6 переводится в среднее положение и сразу же производится отсчет значения термоЭДС E_3 - охлажденного спая по милливольтметру 10. По результатам измерений термоЭДС E_1 , E_2 , E_3 , силы тока I и значениям температур T_0 и T_1 , по формуле (8) вычисляется коэффициент теплообмена α , по которому определяют состав и свойства анализируемой смеси.

При экспериментальных исследованиях способа в качестве термоэлектрического датчика использовалась термопара типа ЗТХК с диаметром термоэлектродов 1,2мм, которая помещалась в воздушную среду с относительной влажностью 80%. Для перегрева рабочего спая при $T_0 = 2,93\text{K}$ и $T_1 = 473\text{K}$ ($E_2 = 6,51\text{мВ}$) на 7K ($E_1 = 6,63\text{мВ}$) через его спай пропусклся ток $I = 0,8\text{A}$. Изменение направления тока на противоположное вызывало охлаждение рабочего спая на 6,2K ($E_3 = 6,41\text{мВ}$). Рабочему спая термопары придавалась шаровидная форма с диаметром 2,5мм, что создавало поверхность теплообмена с площадью $\sim 2,85 \cdot 10^{-6}\text{м}^2$. Вычисление по формуле (8) с учетом коэффициента Пельтье $\Pi = 0,0065\text{В}$ позволило определить коэффициент теплообмена

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,0065 \cdot 0,8 \cdot 6,51 \cdot 10^{-6}}{2,85 \cdot 10^{-6} \cdot 0,24 \cdot 10^{-6} \cdot 180} = \frac{0,067704}{123,12 \cdot 10^{-6}} = 549,9 \text{ Вт/м}^2 \text{ К.}$$

Изменение относительной влажности воздуха в измерительной камере от 40 до 98% обуславливало изменение коэффициента теплообмена от $\alpha_{\text{мин}} = 274,9\text{Вт/м}^2 \text{ К}$ до $\alpha_{\text{макс}} = 646,2\text{Вт/м}^2 \text{ К}$. При этом значение коэффициента теплообмена не зависит от относительного уровня выделяемого или поглощенного тепла Пельтье в спаях термопары и тепловых помех из-за выделяющегося тепла Джоуля в термоэлектродах.



Фиг.