

А.Н. Литвяк канд. техн. наук, доцент, УГЗУ
В.А. Дуреев, канд. техн. наук, УГЗУ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРМОПАРЫ ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

Получены линейные дифференциальные уравнения динамики чувствительного элемента максимального и дифференциального пожарных извещателей, а также зависимости для определения их динамических параметров.

Постановка проблемы. В современных системах пожарной автоматики широко используются пожарные извещатели (ИП) с применением термопар в качестве чувствительного элемента. Для исследования работы систем пожарной автоматики математическими методами необходимо математическое описание ее элементов.

Анализ последних исследований и публикаций. Работы в направлении разработки тепловых пожарных извещателей с применением термопар в качестве чувствительного ведутся всеми ведущими фирмами, как на Украине, так и за рубежом [1]. Однако в основных технических данных таких тепловых извещателей приводятся только порог срабатывания для максимальных ИП или время срабатывания для заданного градиента температуры для дифференциальных ИП [2]. Эти данные позволяют косвенно оценить динамические параметры чувствительных элементов ИП, такие как постоянная времени и коэффициент усиления. Для исследования динамических процессов работы пожарной автоматики необходимы более точные математические модели, позволяющие учитывать как конструктивные особенности чувствительного элемента ИП, так и реальные условия развития пожара [3].

Постановка задачи и ее решение. Расчетная схема термопары представлена на рис.1.

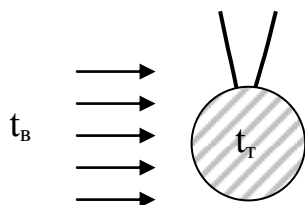


Рисунок 1 – Расчетная схема термопары

Математическое описание термопары, как динамического звена, можно получить из уравнений для нестационарного теплообмена. Нестационарный теплообмен определяется критерием Био. При малых

значениях Био ($Bi < 0,1$) характерным будет равномерное распределение температуры внутри тела. То есть, в каждый момент времени температура для всех точек тела одинакова.

За промежуток времени $d\tau$ телу передается количество теплоты:

$$dq = \alpha F(t_B - t_T)d\tau, \quad (1)$$

где: F – площадь горячего спая термопары [m^2];
 t_B – температура окружающего воздуха, [K];
 t_T – температура горячего спая термопары, [K].

Это же количество теплоты можно определить как:

$$dq = C \cdot m \cdot dt_T, \quad (2)$$

где: C – теплоемкость материала термопары, Дж/кгК;
 m – масса горячего спая термопары, кг.

Приравняем правые части уравнений (1) и (2):

$$C \cdot m \cdot dt_T = \alpha F(t_B - t_T)d\tau \quad \text{или} \quad C \cdot m \cdot \frac{dt_T}{d\tau} = \alpha F(t_B - t_T).$$

В бесконечно малых отклонениях это уравнение будет иметь вид:

$$C \cdot m \cdot d \cdot \frac{dt_T}{d\tau} = \alpha F(dt_B - dt_T). \quad (3)$$

Известно, что изменение ЭДС термопары пропорционально изменению температуры горячего спая:

$$de = k \cdot dt_T, \quad (4)$$

где: k – коэффициент Зеебека, В/К.

Подставим (4) в (3):

$$\frac{C \cdot m}{k} \cdot d \cdot \frac{de}{d\tau} + \frac{\alpha \cdot F}{k} de = \alpha \cdot F \cdot dt_B.$$

Заменив дифференциалы конечными приращениями, получим линейное дифференциальное уравнение динамики термопары:

$$\frac{C \cdot m}{k} \cdot \dot{\Delta e} + \frac{\alpha \cdot F}{k} \Delta e = \alpha \cdot F \cdot \Delta t_B.$$

При решении задач автоматики часто используют относительные переменные:

$$\bar{e} = \frac{\Delta e}{e_0}; \bar{t}_B = \frac{\Delta t_B}{t_{B0}},$$

где: e_0 – значение ЭДС термопары исходной точке, В;

t_{B0} – значение температуры воздуха в исходной точке, К.

В стандартном виде уравнение динамики термопары примет вид:

$$T_T \dot{\bar{e}} + \bar{e} = K_T \bar{t}_B,$$

где: $T_T = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}$ – постоянная времени термопары, с;

$K_T = k \frac{t_{B0}}{e_0}$ – коэффициент усиления термопары.

Для уменьшения инерционности термопары T_T , необходимо уменьшать массу горячего спая и увеличивать его площадь. Так же, для снижения T_T , термопары снабжают пластинчатыми радиаторами.

Дифференциальные ИП имеют в своем составе два чувствительных элемента с малой инерционностью T_{T1} и большой инерционностью T_{T2} , включенных параллельно навстречу друг другу. Решая совместно дифференциальные уравнения для двух элементов, получим:

$$T_{T1} T_{T2} \frac{d^2 \bar{e}_\Sigma}{d\tau^2} + (T_{T1} + T_{T2}) \frac{d \bar{e}_\Sigma}{d\tau} + \bar{e}_\Sigma = K_T (T_{T2} - T_{T1}) \frac{d \bar{t}_B}{d\tau},$$

где: \bar{e}_Σ – суммарное относительное значение ЭДС.

Выводы: Получены линейные дифференциальные уравнения, описывающие динамику термопар максимального и дифференциального пожарных извещателей. Получены зависимости для определения динамических параметров максимального и дифференциального пожарных извещателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Деревянко и др. Методы и средства обнаружения пожаров. – Харьков: ХИПБ МВД Украины.–1995.–105 с.
2. Системы безопасности. Киев, Трансэкспо, 2003. – С.76 – 92.
- 3 Абрамов Ю.А., Переста Ю.Ю. Модель теплового пожарного извещателя и оценка времени его срабатывания // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: ХИПБ, 1997. – С.53 – 57.