

В.А. Дуреев, к.т.н, доцент, НУГЗУ

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА
ТЕПЛОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С ТЕРМИСТОРОМ**
(представлено д.т.н. Абрамовым Ю.А.)

Получено линейное дифференциальное уравнение динамики чувствительного элемента максимального пожарного извещателя с термистором. Получены зависимости для определения динамических параметров чувствительного элемента. Приведена зависимость для определения постоянной времени извещателя по данным сертификационных испытаний.

Ключевые слова: пожарный извещатель, чувствительный элемент, термистор, уравнение динамики, динамический параметр, постоянная времени.

Постановка проблемы. Современные системы пожарной сигнализации (СПС) содержат адресно-аналоговые пожарные извещатели (ИП), в документации к которым не всегда приведены их основные технические данные. Для исследования эффективности работы ИП необходима информация о динамических параметрах составляющих их элементов, в частности чувствительного элемента (ЧЭ).

Динамические параметры ИП можно определить, по его математической модели, которая должна учитывать материал, конструктивное оформление, а так же диапазон рабочих температур. Таким образом, существует проблема улучшения технических данных динамических параметров элементов СПС.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1, 2] представлены модели ЧЭ точечного теплового ИП с учетом конструктивных особенностей и условий развития пожара. Предложенные модели ЧЭ требуют точное математическое описание ЧЭ и дополнительные экспериментальные данные исследуемого ИП. В [3, 4, 5] представлены модели ЧЭ с термопарой, позистором и термистором, без учета конструктивных особенностей.

Согласно [6], зависимость сопротивления R_T термистора от температуры, имеет вид

$$R_T = AT^b e^{B/T}, \quad (1)$$

где A , b , B – константы, зависящие от полупроводникового материала и конструктивного оформления термистора; T – текущая температура термистора, К.

Представленная в [5] модель ЧЭ с термистором, рассмотрена для

$b \ll 1$, когда константа A соответствует сопротивлению термистора при бесконечно большой температуре.

Постановка задачи и ее решение. Выполним математическое описание термистора, как чувствительного элемента пожарного извещателя в интервале рабочих температур, с учетом b . Для этого, в уравнении (1) приравняем дифференциалы левой и правой части:

$$\frac{dR_T}{dT} = AbT^{b-1}e^{B/T} - \frac{ABT^b}{T^2}e^{B/T} = R_T T^{b-1}(b + \beta T), \quad (2)$$

$$R_t = Ae^{B/T}, \quad \beta = -\frac{B}{T^2}, \quad (3)$$

где R_t – сопротивление термистора при номинальной температуре, Ом; β – температурный коэффициент.

Математическую модель термистора, как динамического звена, получим из уравнения для нестационарного теплообмена при критерии Био $< 0,1$, что соответствует равномерному распределению температуры внутри ЧЭ. Тогда, количество тепла переданное и поглощенное термистором

$$C \cdot m \cdot d \frac{dT}{d\tau} + \alpha F dT = \alpha F dT_B, \quad (4)$$

где C – теплоемкость материала термистора, Дж·кг⁻¹·К⁻¹; m – масса термистора, кг; T – температура термистора, К; τ – время, с; α – коэффициент конвективного теплообмена, Вт·м⁻²·К⁻¹; F – площадь поверхности термистора, м²; T_B – температура окружающего воздуха, К.

Подставим (2) в (4), получим

$$\frac{C \cdot m}{R_t T^{b-1}(b + \beta T)} \cdot d \frac{dR_T}{d\tau} + \frac{\alpha \cdot F}{R_t T^{b-1}(b + \beta T)} \cdot dR_T = \alpha \cdot F \cdot dT_B. \quad (5)$$

Выполним линеаризацию уравнения (5) методом полного дифференциала. Уравнение динамики термистора в относительных переменных примет вид:

$$T_T \dot{\bar{r}}_T + \bar{r}_T = K_T \bar{t}_B, \quad (6)$$

$$T_T = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}, \quad T_T = \frac{C \cdot m}{\alpha \cdot F}, \quad (7)$$

где T_T – постоянная времени термистора, с; K_T – коэффициент усиления термистора; \bar{r}_T , \bar{t}_B – относительные переменные.

Из уравнения (7) следует, что для уменьшения инерционности чувствительного элемента извещателя, необходимо уменьшать массу

термистора и увеличивать его площадь. Кроме того, для снижения T_T , на чувствительном элементе может быть размещен пластинчатый радиатор.

Для экспериментального определения величины постоянной времени извещателя, необходимо выполнить два сертификационных испытания [7]: определить статическую и динамическую температуры срабатывания.

Тогда

$$T_{ин} = \frac{T_{дин} - T_{ст}}{dT/d\tau}, \quad (8)$$

где $T_{ин}$ – постоянная времени извещателя, с; $T_{ст}$ – статическая температура срабатывания ИП, °С; $T_{дин}$ – динамическая температура срабатывания ИП, °С; $dT/d\tau$ – скорость повышения температуры, °С·с⁻¹.

Выводы: Выполнено математическое описание чувствительного элемента максимального пожарного извещателя с термистором. Получены уравнения динамики, приведены зависимости для определения динамических параметров чувствительного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Модель теплового пожарного извещателя и оценка времени его срабатывания / Ю.А. Абрамов, Ю.Ю. Переста // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: ХИПБ. – 1997. – С. 53-57.

2. Гвоздь В.М. Терморезисторные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний. Дисс. канд. техн. наук: 21.06.02. – Черкассы. – 2005. – 181с.

3. Литвяк А.Н. Математическое описание терморезисторного теплового пожарного извещателя / А.Н. Литвяк, В.А. Дуреев // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УЦЗУ. – 2007. – № 22. – С. 120-122.

4. Дуреев В.А. Математическое описание чувствительного элемента максимального теплового пожарного извещателя с терморезистором / В.А. Дуреев, А.Н. Литвяк // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. – 2012. № 32 – С. 74–77. Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol32/dureev.pdf>.

5. Дуреев В.А. Математическое описание чувствительного элемента теплового пожарного извещателя с термистором // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: НУГЗУ. – 2016. – Выпуск 39. – С. 100–102. Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol39/Dureev.pdf>.

6. Шашков А.Г. Динамические свойства цепей с термисторами / А.Г. Шашков, А.С. Касперович. – Л.: Госэнергоиздат. – 1961. – 208с.

7. Комар С.В. Визначення постійної часу точкового теплового пожежного сповіщувача за даними сертифікаційних випробувань / С.В. Комар, О.М. Литвяк, В.О. Дурєєв // Зб. наукових праць. –Х.: Укр-ДАЗТ. – 2008. Вип. 97. – С. 120-123.

Получено редколлегией 15.10.2016

В.А. Дурєєв

Математична модель чутливого елемента теплового пожежного сповіщувача з термістором

Отримано лінійне диференціальне рівняння, яке описує динаміку чутливого елемента максимального пожежного сповіщувача з термістором. Отримано залежності для визначення динамічних параметрів чутливого елемента. Наведена залежність для визначення постійної часу сповіщувача за даними сертифікаційних випробувань.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, чутливий елемент, термістор, рівняння динаміки, динамічний параметр, постійна часу.

V.A. Dureev

A mathematical model of sensitive element of thermal fire detector with the thermistor

The obtained linear differential equation describing the dynamics sensitive element maximum fire alarm with an NTC thermistor. The dependences for determination of the dynamic parameters sensitive tive element. Given the dependence for determining the time constant of the detector according to the certification tests.

Keywords: fire detector, sensing element, the thermistor, the dynamic equation, the dynamic parameter, time constant.