

*А.С. Борисова, адъюнкт, ЧИПБ им. Героев Чернобыля НУГЗУ,
Е.А. Тищенко, к.т.н., нач. каф., ЧИПБ им. Героев Чернобыля НУГЗУ,
Ю.А. Абрамов, д.т.н., профессор, гл. научн. сотр., НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПОЖАРНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ С ТЕРМОРЕЗИСТИВНЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

Получена математическая модель, описывающая влияние внешней температуры на результат проведения объектовых испытаний пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом.

Ключевые слова: пожарный извещатель, испытания, температурная погрешность.

Постановка проблемы. Проведение испытаний систем пожарной автоматики и их элементов является одним из путей, обеспечивающих нормативные показатели по надежности. Одной из проблем при этом является обеспечение единства измерений.

Анализ последних исследований и публикаций. Применительно к тепловым пожарным извещателям наиболее проработаны вопросы, связанные с проведением их автономных испытаний, подтверждением чему является наличие ДСТУ EN 54–5:2003, который гармонизирован с евростандартом EN 54. Касательно объектовых испытаний пожарных извещателей необходимо отметить, что при их проведении не осуществляется определение количественных показателей [1]. В наибольшей степени вопросы обеспечения объектовых испытаний тепловых пожарных извещателей проработаны применительно к извещателям с терморезистивным чувствительным элементом [2]. Однако еще недостаточно хорошо изучено влияние внешних факторов на процесс проведения таких испытаний.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определение влияния температуры окружающей среды на результат объектовых испытаний пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом, в которых для формирования тест-сигнала используется закон Джоуля-Ленца.

Рассмотрим тепловые процессы в терморезистивном чувствительном элементе пожарного извещателя при проведении объектовых испытаний, когда тест-сигнал формируется путем пропускания через него электрического тока $i(t)$ и имеет место вариаций температуры окружающей среды $T_c(t)$. Такие процессы описываются уравнением [2]

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{2\nu + 1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + f(r, t) \quad (1)$$

с начальными и граничными условиями

$$\theta(r, \theta) = 0; \quad \frac{\partial \theta(R, t)}{\partial r} = -h[\theta(R, t) - \theta_c(t)], \quad (2)$$

где $\theta(r, t) = T(r, t) - T_0$; $\theta_c(t) = T_c(t) - T_0$, $T(r, t), T_0$; – температура чувствительного элемента и начальное значение температуры соответственно; a – коэффициент температуропроводности; R – характерный размер; h – относительный коэффициент теплообмена; ν – параметр формы чувствительного элемента; $f(r, t)$ – функция, описывающая внутренний источник тепла, обусловленный протеканием электрического тока $i(t)$ т.е.

$$f(r, t) = Ki^2(t); \quad K = const. \quad (3)$$

Применив к (1) интегральное преобразование [3]

$$\bar{\omega}(\mu_n, t) = \int_0^R r^{\nu+1} J_\nu \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \omega(r, t) dr, \quad (4)$$

а также учитывая условие (2), получим

$$\frac{d\bar{\theta}(\mu_n, t)}{dt} + a \left(\frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{\theta}(\mu_n, t) = \bar{f}(\mu_n, t) + ahR^{\nu+1} J_\nu(\mu_n) \theta_c(t), \quad (5)$$

где J_ν – функция Бесселя первого рода ν -го порядка; μ_n – n -й корень трансцендентного уравнения

$$J_{\nu+1}(\mu) = \frac{hR}{\mu} J_\nu(\mu); \quad (6)$$

$$\bar{f}(\mu_n, t) = \int_0^R r^{\nu+1} J_\nu \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) f(r, t) dr = Ki^2(t) \frac{R^{\nu+2} J_{\nu+1}(\mu_n)}{\mu_n}. \quad (7)$$

Дифференциальное уравнение (5) с учетом (6) и (7) трансформируется следующим образом

$$a^{-1} \left(\frac{R}{\mu_n} \right)^2 \frac{d\bar{\theta}(\mu_n, t)}{dt} + \bar{\theta}(\mu_n, t) = \frac{hR^{\nu+3} J_\nu(\mu_n)}{\mu_n^2} \left[Ka^{-1} \left(\frac{R}{\mu_n} \right)^2 i^2(t) + \theta_c(t) \right], \quad (8)$$

а его решение при $i(t) = I = const$ и $\theta_c(t) = \theta_c = const$ имеет вид

$$\bar{\theta}(\mu_n, t) = \frac{hR^{\nu+3}}{\mu_n^2} J_\nu(\mu_n) \left[Ka^{-1} \left(\frac{R}{\mu_n} \right)^2 I^2 + \theta_c \right] \times \left[1 - \exp\left(-\frac{a\mu_n^2}{R^2} t \right) \right], \quad (9)$$

т.е. представляет собой суперпозицию двух составляющих, обусловленных тепловым воздействием на чувствительный элемент пожарного извещателя электрического тока I и изменением температуры окружающей среды θ_c .

Применив к (9) формулу обращения, получим выражение, которое описывает распределение температуры в терморезистивном чувствительном элементе пожарного извещателя

$$\theta(r, t) = \frac{2hR^{\nu+1}}{r^\nu} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_\nu\left(\frac{\mu_n r}{R}\right) \left[\frac{K}{a} \left(\frac{R}{\mu_n} \right)^2 I^2 + \theta_c \right]}{J_\nu(\mu_n) \left[(hR)^2 - 2hR\nu + \mu_n^2 \right]} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{a\mu_n^2}{R^2} t \right) \right]. \quad (10)$$

В [4] показано, что ряд такого вида является быстросходящимся, вследствие чего можно ограничиться его первым членом. Методическая погрешность при этом не будет превышать двух процентов. Тогда выражение для погрешности, обусловленной вариациями температуры окружающей среды, имеющих место при проведении объектовых испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом, будет иметь вид

$$\delta = \frac{a}{K} \left(\frac{\mu_1}{R} \right)^2 \frac{\theta_c}{I^2}, \quad (11)$$

где μ_1 – первый корень трансцендентного уравнения (6).

Параметр K определяется выражением

$$K = \frac{\rho_{y\delta}}{c\rho S^2}, \quad (12)$$

где $\rho_{y\delta}$ – удельное электрическое сопротивление материала чувствительного элемента; c, ρ – удельная теплоемкость и плотность материала

ла чувствительного элемента; S – площадь поперечного сечения чувствительного элемента.

Если чувствительный элемент выполнен из нихрома, марки Х20Н80 и имеет цилиндрическую форму, то $\rho_{y\delta} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$; $c = 0,48 \cdot 10^3 \frac{\text{Джс}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $\rho = 7,44 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $a = 0,38 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ (по данным ООО «Металл-СКВТ»). При $R = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ и $hR = 0,1$ из (6) следует (при $\nu = 0$), что $\mu_1 = 0,6$. В том случае, когда $I^2 = 20 \text{ А}^2$, а $\theta_c = 0,1^\circ \text{ С}$, величина погрешности δ может достигать 0,23.

Выводы. Получена математическая модель, описывающая влияние температуры окружающей среды на результат объектовых испытаний тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом при реализации в них внутреннего теплового воздействия в соответствии с законом Джоуля-Ленца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Объектовые испытания тепловых пожарных извещателей / Ю.А. Абрамов // Надзвичайні ситуації: безпека та захист. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2014. – С. 162-163.
2. Абрамов Ю.А. Температурные объектовые испытания тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / Ю.А. Абрамов, В.В. Коврегин, В.П. Садковой – Х.: УГЗУ, 2009. – 115 с.
3. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел / Э.М. Карташов. – М.: Высшая школа, 2001. – 550с.
4. Абрамов Ю.А. Терморезистивные тепловые пожарные извещатели с улучшенными характеристиками и методы их температурных испытаний / Ю.А. Абрамов, В.М. Гвоздь. – Х.: АГЗУ, 2005. – 121 с.

А.С. Борисова, Є.О. Тищенко, Ю.О. Абрамов

Вплив зміни температури навколишнього середовища на результати випробувань теплових пожежних сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом

Отримана математична модель, що описує вплив зовнішньої температури на результат проведення об'єктових випробувань пожежних сповіщувачів з терморезистивним чутливим елементом.

Ключові слова: пожежний сповіщувач, випробування, температурна похибка.

A.S. Borisova, E.A. Tishchenko, Y.A. Abramov

The effect of variation of ambient temperature on the test results of thermal fire detectors with thermoresistive sensitive element

A mathematical model describing the influence of external temperature on the conduct of on-site testing of fire-governmental detectors with thermoresistive sensitive element.

Keywords: fire alarm, test, temperature error.