

*А.С. Борисова, адъюнкт, ЧИПБ им. Героев Чернобыля НУГЗУ,
Э.Е. Прохач, д.т.н., профессор, зам. директора, ООО „Харьковский
научный центр военной экологии”,
Ю.А. Абрамов, д.т.н., профессор, гл. научн. сотр., НУГЗУ*

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ТЕРМОРЕЗИСТИВНОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Для прямоугольной пластины, цилиндра и шара, которые являются чувствительными элементами пожарного извещателя, получены оценки, характеризующие их динамические свойства.

Ключевые слова: чувствительный элемент, пожарный извещатель, динамический параметр.

Постановка проблемы. Повышение эффективности систем обнаружения опасных факторов пожара неразрывно связано с повышением быстродействия таких систем, которые в первую очередь, определяются динамическими свойствами датчиков первичной информации. В этой связи одной из проблем на пути совершенствования систем обнаружения опасных факторов пожара является улучшение динамических характеристик датчиков первичной информации.

Анализ последних исследований и публикаций. Математические модели, описывающие процессы в чувствительных элементах датчиков первичной информации об опасных факторах пожара разработаны достаточно хорошо [1-3]. Эти модели представлены как в классе дифференциальных уравнений, так и в классе переходных и передаточных функций. Разработаны методы определения параметров таких моделей [4], в частности, постоянных времени тепловых пожарных извещателей.

Несмотря на то, что математические модели учитывают форму чувствительного элемента датчиков первичной информации, задача по оценке влияния формы чувствительного элемента на динамические свойства датчиков первичной информации остается неразрешенной. Решение такой задачи, в частности, необходимо для получения количественных характеристик пожарных извещателей при проведении их объектовых испытаний.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является установление связи между формой терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя и его динамическими свойствами.

При проведении объектовых испытания пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом для формирования тест-сигнала может использоваться тепловой эффект в соответствии с

законом Джоуля-Ленца. В этом случае при протекании электрического тока через терморезистивный чувствительный элемент пожарного извещателя тепловые процессы в нем описываются уравнением

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

с начальным и граничными условиями

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

где $\theta = T - T_0$; T , T_0 – температура чувствительного элемента и окружающей среды соответственно; a – коэффициент температуропроводности чувствительного элемента; R – характерный размер; h – относительный коэффициент теплообмена; ν – параметр формы чувствительного элемента; $f(r, t)$ – функция, описывающая внутренний источник тепла, т.е.

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

K – коэффициент передачи ($K = cont$); $i(t)$ – электрический ток.

Применяя последовательно обобщенное интегральное преобразование

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

формулу обращения

$$\theta(r, t) = \frac{2}{R^2} \sum_{n=1}^{\infty} \mu_n^2 J_\nu \left(\frac{\mu_n r}{R} \right) \bar{\theta} \left(\frac{\mu_n}{R}, t \right) \left[r^\nu J_\nu^2(\mu_n) \left[(hR)^2 - 2hR\nu + \mu_n^2 \right] \right]^{-1}, \quad (5)$$

где $J_\nu \left(\frac{\mu_n r}{R} \right)$, $J_\nu(\mu_n)$ – функции Бесселя первого рода ν -го порядка;

μ_n – n -й корень трансцендентного уравнения

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

а также с учетом того, что имеет место

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

получим решение дифференциального уравнения (1) с условиями (2) и при $i(t) = I = const$ в виде

$$\theta(r, t) = \frac{2KI^2 hR^{\nu+3}}{ar^\nu} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{J_\nu\left(\frac{\mu_n r}{R}\right) \left[1 - \exp\left(-\frac{a\mu_n^2 t}{R^2}\right)\right]}{\mu_n^2 J_\nu(\mu_n) \left[(hR)^2 - 2hR\nu + \mu_n^2\right]}. \quad (8)$$

Это выражение описывает локальное распределение температуры в терморезистивном чувствительном элементе пожарного извещателя, которое имеет место в соответствии с законом Джоуля-Ленца при протекании по нему электрического тока $i(t) = I = const$. Выражение (8) представляет собой локальную переходную функцию, динамическим параметром которой является n -я постоянная времени τ_n терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя

$$\tau_n = a^{-1} \left(\frac{R}{\mu_n}\right)^2. \quad (9)$$

Следует отметить, что при $hR < 1,0$ ряд (8) сходится быстро и в первом приближении можно положить $n = 1$, т.е. динамические свойства терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя будут полностью характеризоваться динамическим параметром τ_1 .

Рассмотрим три вида формы чувствительного элемента.

1. Чувствительный элемент выполнен в виде прямоугольной пластины. В этом случае для определения первого корня трансцендентного уравнения (6) необходимо положить $\nu = -0,5$, а также учесть, что имеет место

$$\begin{aligned} J_{-0,5}(\mu) &= \left(\frac{2}{\pi\mu}\right)^{0,5} \cos \mu; \\ J_{0,5}(\mu) &= \left(\frac{2}{\pi\mu}\right)^{0,5} \sin \mu. \end{aligned} \quad (10)$$

С учетом соотношения (10) трансцендентное уравнение (6) трансформируется к виду

$$\operatorname{ctg}\mu = \frac{\mu}{hR}. \quad (11)$$

2. Чувствительный элемент выполнен в виде цилиндра. В этом случае необходимо положить $\nu = 0$, вследствие чего трансцендентное уравнение (6) примет вид

$$\frac{J_0(\mu)}{J_1(\mu)} = \frac{\mu}{hR}. \quad (12)$$

3. Чувствительный элемент выполнен в виде шара. В этом случае необходимо положить $\nu = 0,5$, а также учесть, что имеет место

$$J_{1,5}(\mu) = \left(\frac{2}{\pi\mu}\right)^{0,5} \left[\frac{\sin\mu}{\mu} - \cos\mu \right]. \quad (13)$$

С учетом соотношений (10) и (13) трансцендентного уравнения (6) принимает вид

$$\mu = (1 - hR)\operatorname{tg}\mu. \quad (14)$$

На рис. 1 приведены зависимости $\mu_1 = \mu_1(Bi)$, где $Bi = hR$ – критерий Био, построенные с использованием трансцендентных уравнений (11), (12) и (14).

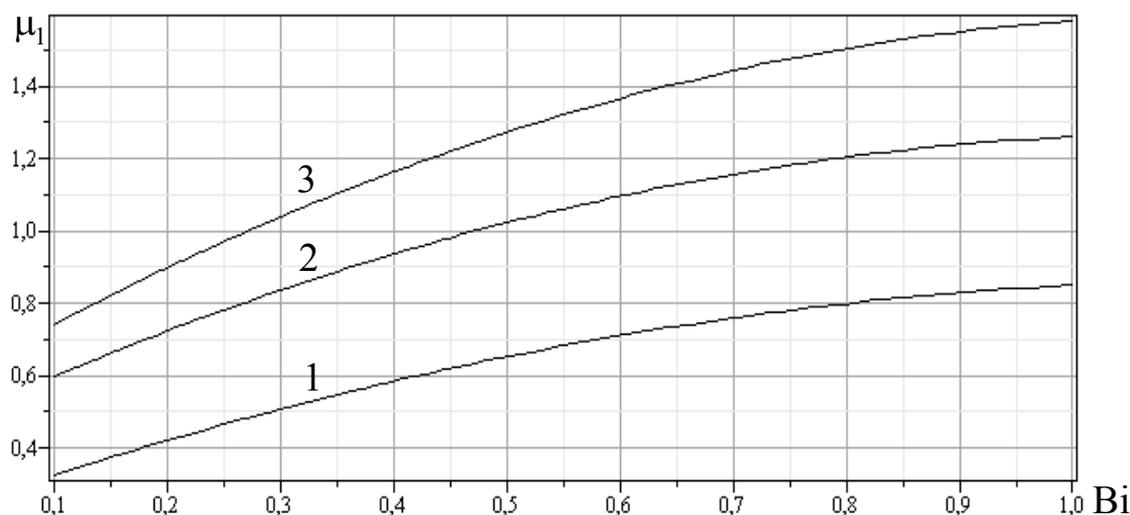


Рис. 1. Зависимость $\mu_1 = \mu_1(Bi)$: 1 – прямоугольная пластина; 2 – цилиндр; 3 – шар

Графические зависимости, приведенные на рис. 1, достаточно хорошо аппроксимируются полиномами второго порядка, т.е.

$$\mu_1 = 0,22 + 1,1Bi - 0,47(Bi)^2; \quad (15)$$

$$\mu_1 = 0,46 + 1,45Bi - 0,65(Bi)^2; \quad (16)$$

$$\mu_1 = 0,57 + 1,8Bi - 0,79(Bi)^2;$$

соответственно для прямоугольной пластины, цилиндра и шара.

Использование этих аналитических зависимостей, т.е. $\mu_1 = \mu_1(Bi)$, позволяет оценить влияние формы терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя на его динамические свойства, которые характеризуются динамическим параметром τ_1 .

На рис. 2 приведены графические зависимости $\tau_1 a R^{-2} = f(Bi)$, построенные с использованием выражений (9), (15), (16) и (17).

Из анализа этих зависимостей следует, что более высоким быстродействием среди терморезистивных чувствительных элементов для трех разновидностей их форм обладают чувствительные элементы, выполненные в виде шара. На рис. 3 приведены зависимости, характеризующие соотношение между быстродействием двух терморезистивных чувствительных элементов различной формы. Кривая 1 представляет собой зависимость отношения постоянных времени чувствительных элементов, выполненных в виде прямоугольной пластины и шара, от критерия Био, кривая 2 – для прямоугольной пластины и цилиндра, а кривая 3 – для цилиндра и шара.

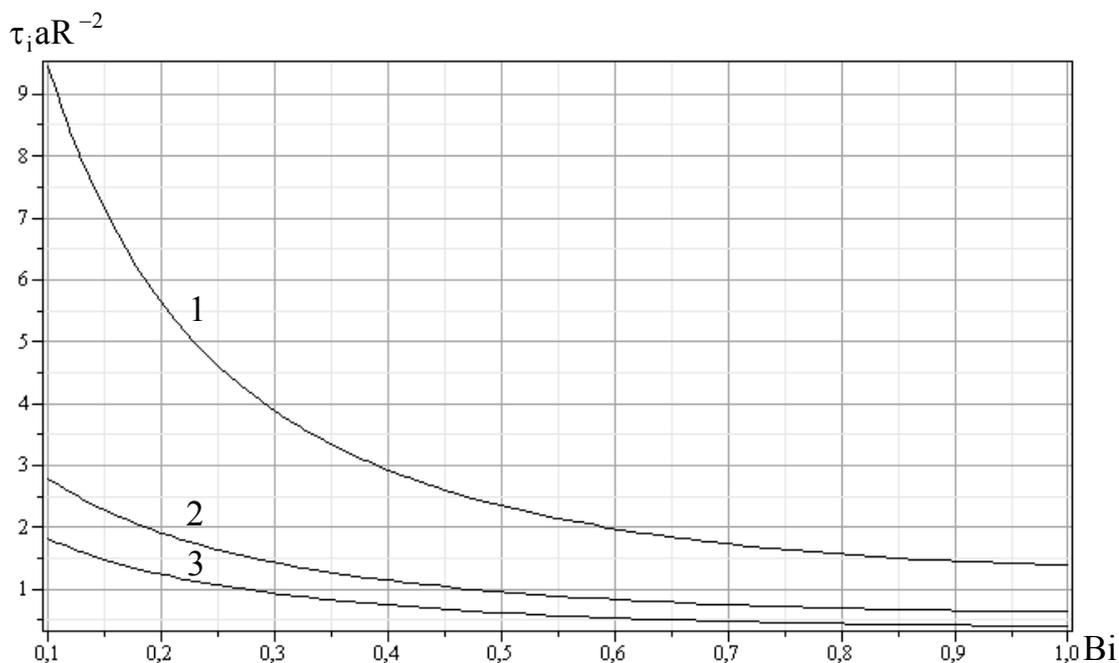


Рис. 2. Зависимости $\tau_1 a R^{-2} = f(Bi)$: 1 – прямоугольная пластина; 2 – цилиндр; 3 – шар

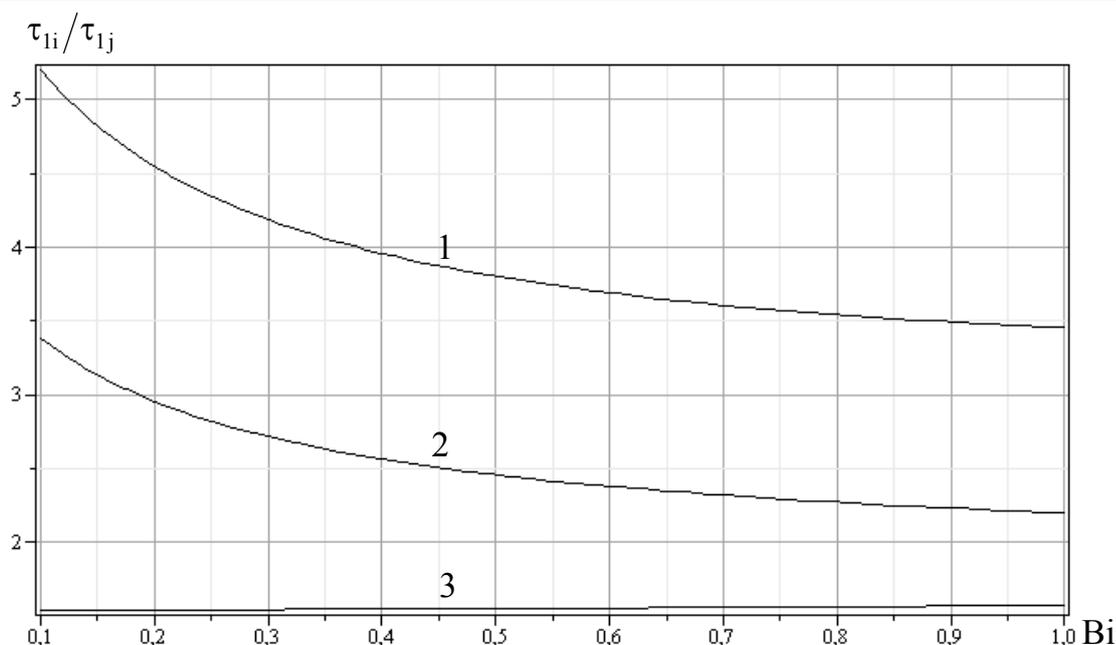


Рис. 3. Зависимость отношения постоянной времени от критерия Био: 1 – для прямоугольной пластины и шара; 2 – для прямоугольной пластины и цилиндра; 3 – для цилиндра и шара

Анализ этих зависимостей свидетельствует о том, что при использовании чувствительных элементов, выполненных в виде цилиндра и шара, имеет место наиболее высокое быстродействие пожарных извещателей. При этом применение шарового терморезистивного чувствительного элемента приводит к увеличению быстродействия примерно в полтора раза, практически не изменяясь при варьировании величины Bi от 0,1 до 1,0 (изменение не превышает 3,0%).

Выводы. Для трех форм терморезистивного чувствительного элемента пожарного извещателя получены оценки влияния этих форм на динамические свойства извещателя. Показано, что лучшими динамическими показателями обладают чувствительные элементы, выполненные в виде шара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ю.А. Обобщенные модели чувствительных элементов датчиков первичной информации / Ю.А. Абрамов, В.П. Садковой // Научковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА, 2006. – Вип. 35. – С. 290-294.
2. Абрамов Ю.А. Модели чувствительного элемента датчика первичной информации системы мониторинга локального типа / Ю.А. Абрамов, В.В. Коврегін, М.Н. Витько // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2006. – Вип. 6. – С. 10-15.
3. Коврегін В.В. Математическое обеспечение испытаний тепловых

пожарных извещателей / В.В. Коврегин, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2007. – Вып. 21. – С. 94-99.

4. Абрамов Ю.А. Методы определения постоянной времени тепловых пожарных извещателей с терморезистивным чувствительным элементом / Ю.А. Абрамов, А.Е. Басманов, В.М. Гвоздь. – Х.: НУГЗУ, 2013. – 151 с.

А.С. Борисова, Е.Ю. Прохач, Ю.О. Абрамов

Вплив форми терморезистивного чутливого елемента пожежного сповіщувача на його динамічні властивості

Для прямокутної пластини, циліндра і кулі, які є чутливими елементами теплового пожежного сповіщувача, отримано оцінки, що характеризують їх динамічні властивості.

Ключові слова: чутливий елемент, пожежний сповіщувач, динамічний параметр.

A.S. Borisova, Ye.Yu. Prokhach, Yu.O. Abramov

Influencing form of thermoresistive sensitive element of the fire detector on its dynamic properties

Estimates of dynamic properties are obtained for a rectangular plate, cylinder and sphere which are sensitive elements of the fire detector.

Keywords: sensitive element, fire detector, dynamic parameter.