

*С.Н. Бондаренко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.В. Христинич, к.т.н., доцент, НУГЗУ,
В.В. Калабанов, соискатель*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ЛИНЕЙНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ ПЛАМЕНИ В РЕЖИМЕ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЖАРА

(представлено д-ром техн. наук Абрамовым Ю.А.)

Приведены результаты экспериментального исследования чувствительного элемента линейного извещателя пламени. Получено регрессионное выражение, описывающее влияние координат размещения чувствительного элемента относительно тестового очага пожара и площади очага на амплитуду отраженного импульса в чувствительном элементе.

Ключевые слова: линейный извещатель пламени, чувствительный элемент, уравнение регрессии.

Постановка проблемы. Извещатели пламени являются одними из самых современных средств раннего обнаружения пожара. Однако существующие извещатели пламени, работающие в оптическом диапазоне, имеют ряд недостатков. Потому внедрение извещателей, которые используют новые принципы обнаружения открытого пламени и устраняют известные недостатки, является актуальной задачей при борьбе с пожарами в помещениях, насыщенных технологическим оборудованием, которое затрудняет раннее обнаружение очага из-за эффекта экранирования.

Анализ последних исследований и публикаций. Испытания извещателей пламени проводятся согласно требований, изложенных в нормативном документе [1]. Ранее были установлены факторы, которые влияют на амплитуду отраженного импульса в чувствительном элементе (ЧЭ) линейного извещателя пламени (ЛИП) в режиме зондирования [2]. Экспериментальные исследования извещателя пламени с линейным чувствительным элементом не проводились.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является установление количественной взаимосвязи амплитуды отраженного импульса в чувствительном элементе линейного извещателя пламени от геометрических координат размещения ЧЭ относительно тестового очага пожара и площади очага.

Экспериментальные исследования проводились в подвальном помещении размерами 55х6х3,1 м, в котором был выбран участок длиной 9 м без вентиляции. Помещение соответствует требованиям, изложенным в европейском стандарте [3].

Для проведения исследований была использована установка (рис. 1), которая позволяет формировать на входе ЧЭ прямоугольные импульсы длительностью 20 нс, после переключать вход ЧЭ на измерительный прибор – осциллограф UTD2102, на котором отображается изменение отраженного сигнала во временной области. Осциллограф имеет 3% ошибку измерения амплитуды. Что бы иметь возможность выявить отражения на фоне шумов проводится многократное измерение отражения с дальнейшим получением среднего значения в каждой точке осциллограммы.

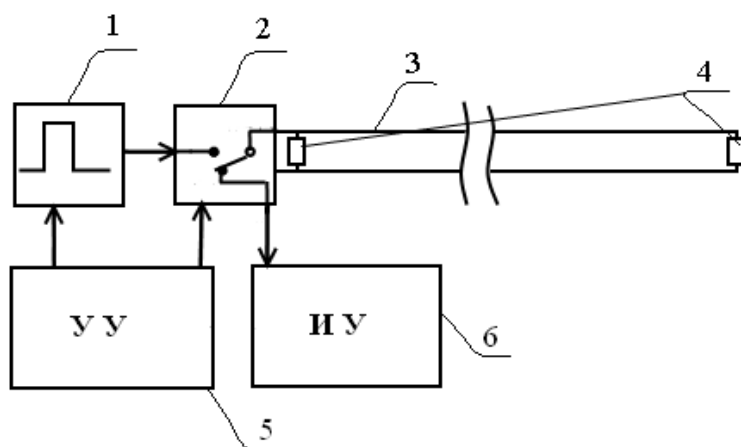


Рис. 1. Схема установки для проведения исследования характеристик чувствительного элемента линейного извещателя пламени: 1 – быстродействующий формирователь импульса; 2 – быстродействующий аналоговый переключатель; 3 – ЧЭ; 4 –согласующее сопротивление; 5 – управляющее устройство; 6 – измерительное устройство

Для снижения вероятности совпадения частоты зондирующего импульса и шума в формирователе импульсов реализован запуск импульса с периодом $100 \text{ мс} \pm 20 \text{ мс}$ разброс задается с помощью генератора случайных чисел с равномерным распределением случайной величины.

Табл. 1. Уровни варьирования факторов в эксперименте

Интервал варьирования, уровень факторов	Площадь TF1 $S, \text{ м}^2$	Площадь TF4 $S, \text{ м}^2$	Площадь TF5 $S, \text{ м}^2$	Площадь TF6 $S, \text{ м}^2$	Высота $H, \text{ м}$	Расстояние $L, \text{ м}$
Нулевой уровень	0,25	0,25	0,108	0,189	2	0,5
Интервал варьирования	0,0625	0,0625	0,027	0,04725	0,5	0,5
Нижний уровень	0,1875	0,1875	0,081	0,14175	1,5	0
Верхний уровень	0,3125	0,3125	0,135	0,23625	2,5	1
Кодовое обозначение	X_1	X_1	X_1	X_1	X_2	X_3

При проведении эксперимента варьировались следующие факторы: вид и площадь тестового очага – X_1 , расстояние до тестового очага в вертикальной плоскости H – кодированное обозначение переменной X_2 , расстояние до тестового очага в горизонтальной плоскости L – X_3 . В качестве очага пожара использовались стандартные тестовые очаги [3], которые имеют стадию пламенного горения: TF1 (древесина), TF4 (полиуретан), TF5 (пентан), TF6 (денатурированный спирт). Значения нулевых уровней, интервалы варьирования кодированных переменных приведены в табл. 1.

Результаты экспериментов с различными тестовыми очагами приведены в табл. 2.

Табл. 2. План – матрица и результаты полного факторного эксперимента

№ п/п	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$U_{TF-1},$ мВ	$U_{TF-4},$ мВ	$U_{TF-5},$ мВ	$U_{TF-6},$ мВ
1	+	-	-	-	+	+	+	153,8	127,4	120,12	165,85
2	+	+	-	-	-	-	+	264	225,5	190,52	268,27
3	+	-	+	-	-	+	-	52,7	42,65	39,29	52,08
4	+	+	+	-	+	-	-	82,8	71,24	65,38	86,04
5	+	-	-	+	+	-	-	76,5	40,22	37,16	49,77
6	+	+	-	+	-	+	-	128,1	67,07	63,42	89,41
7	+	-	+	+	-	-	+	32,9	25,89	24,85	32,9
8	+	+	+	+	+	+	+	57,6	43,02	41,17	52,17
Центр плана	0	0	0	0	0	0	0	110,4	89,31	72,33	99,09
	0	0	0	0	0	0	0	106,5	80,56	67,79	105,42
	0	0	0	0	0	0	0	98,01	73,73	82,33	111,07
	0	0	0	0	0	0	0	113,6	86,67	69,6	91,36
	0	0	0	0	0	0	0	99,6	75,86	70,11	101,59

Для обработки результатов экспериментов и расчета коэффициентов уравнения регрессии используем методы теории планирования эксперимента [4]. В результате, получены выражения для амплитуды отраженного импульса в кодированных координатах для четырех тестовых очагов пожара.

$$U_{TF-1} = 106.05 + 27.08 \cdot x_1 - 49.55 \cdot x_2 - 32.75 \cdot x_3 - 13.4 \cdot x_1 \cdot x_2 + 21.03 \cdot x_2 \cdot x_3 - 8 \cdot x_1 \cdot x_3;$$

$$U_{TF-4} = 80.4 + 21.33 \cdot x_1 - 34.7 \cdot x_2 - 36.33 \cdot x_3 - 9.9 \cdot x_1 \cdot x_2 + 25.1 \cdot x_2 \cdot x_3 - 10.34 \cdot x_1 \cdot x_3;$$

$$U_{TF-5} = 72.74 + 17.4 \cdot x_1 - 30.06 \cdot x_2 - 31.1 \cdot x_3 - 6.78 \cdot x_1 \cdot x_2 + 21.43 \cdot x_2 \cdot x_3 - 6.74 \cdot x_1 \cdot x_3;$$

$$U_{TF-6} = 98.8 + 23.7 \cdot x_1 - 43.01 \cdot x_2 - 44.3 \cdot x_3 - 10.36 \cdot x_1 \cdot x_2 + 30.99 \cdot x_2 \cdot x_3 - 10.4 \cdot x_1 \cdot x_3.$$

Исследование на экстремум полученных выражений показало, что стационарная точка во всех случаях находится за областью определения модели. Потому для поиска наибольшего и наименьшего значения функции выхода использована процедура последовательного перебора с шагом 0,05, которая показала, что экстремальные значения находятся в граничных точках области определения модели: максимум в точке с координатами (+1; -1; -1), минимум – в точке (-1; +1; +1).

Полученные значения амплитуды отраженного импульса в режиме обнаружения пожара позволяют оценить реальные границы изменения коэффициента отражения K , аналитическое выражение которого получено в [2]. Таким образом, для четырех случаев тестовых очагов пожара имеем:

$$\begin{aligned}
 \left. \begin{array}{l} U_{\max}^{TF-1} = 257.37 \\ U_{\min}^{TF-1} = 39.55 \end{array} \right\} &\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K_{\max} = \frac{U_{\max}^{TF-1}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.05; \\ K_{\min} = \frac{U_{\min}^{TF-1}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.008; \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} U_{\max}^{TF-4} = 218.04 \\ U_{\min}^{TF-4} = 33.36 \end{array} \right\} &\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K_{\max} = \frac{U_{\max}^{TF-4}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.044; \\ K_{\min} = \frac{U_{\min}^{TF-4}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.007; \end{array} \right. \\
 \\
 \left. \begin{array}{l} U_{\max}^{TF-5} = 186.21 \\ U_{\min}^{TF-5} = 29.15 \end{array} \right\} &\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K_{\max} = \frac{U_{\max}^{TF-5}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.04; \\ K_{\min} = \frac{U_{\min}^{TF-5}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.006; \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} U_{\max}^{TF-6} = 261.55 \\ U_{\min}^{TF-6} = 39.55 \end{array} \right\} &\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} K_{\max} = \frac{U_{\max}^{TF-6}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.05; \\ K_{\min} = \frac{U_{\min}^{TF-6}}{U_{\hat{a}\hat{o}}} = 0.008. \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Анализ полученных значений позволяет определить точные значения пределов изменения коэффициента отражения K , соответствующих состоянию обнаружения очага пожара

$$0.05 > K > 0,006.$$

Полученные значения K позволяют сформулировать требования к электронной схеме обработки сигнала ЛИП.

Выводы. На основании экспериментальных исследований влияния координат размещения ЧЭ ЛИП, площади и вида тестового очага пожара на амплитуду отраженного импульса в ЧЭ получены ряд уравнений регрессии. Установлено, что наибольшее значение амплитуды для всех тестовых очагов, характеризующихся наличием стадии пламенного горения, достигается при минимальном удалении ЧЭ от очага и максимальной площади тестового очага. Изменение вида горючего материала, используемого в тестовом очаге, приводит к незначительному изменению амплитуды отраженного импульса. Рассчитаны точные значения коэффициента отражения, которые идентифицируют состояние линейного извещателя пламени как состояние «Пожар».

ЛИТЕРАТУРА

1. Системи пожежної сигналізації. Частина 10. Сповіщувачі пожежні полум'я точкові (EN 54-10:2002, IDT): ДСТУ EN 54-10:2004. – [Чинний від 2004-07-05]. – (Національний стандарт України).

2. Бондаренко С.Н. Факторы, влияющие на выходной сигнал линейного чувствительного элемента линейного извещателя пламени в режиме зондирования / С.Н. Бондаренко, В.В. Калабанов, С.Г. Алферов // Проблемы пожарной безопасности. – 2015. – Вып. 38. – С. 19-23. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/BondarenkoKalabanovAlferov.pdf>.

3. Components of automatic fire detection systems. Methods of test of sensitivity to fire (EN 54-9:1982) [Чинний від 1984-05-31].

4. Исследование устройств и систем автоматики методом планирования эксперимента / А.Е. Егоров, Г.Н. Азаров, А.В. Коваль; Под ред. В.Г. Воронова. – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. – 240 с.

С.М. Бондаренко, В.В. Христич, В.В. Калабанов

Експериментальне дослідження чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я в режимі викриття пожежі

Наведені результати експериментального дослідження чутливого елемента лінійного сповіщувача полум'я. Отримано регресійний вираз, що описує вплив координат розміщення чутливого елемента відносно тестового осередку пожежі та площі осередку на амплітуду відбитого імпульсу в чутливому елементі.

Ключові слова: лінійний сповіщувач полум'я, чутливий елемент, рівняння регресії.

S.N. Bondarenko, V.V. Khristich, V.V. Kalabanov

Experimental study of the linear sensing element of the flame detector in the mode of fire detection

The results of experimental research of the linear sensing element of the flame detector. The obtained regression expression describing the influence of the location coordinates of the sensing element relative to the test of fire and area of lesion on the amplitude of the reflected pulse in the sensing element.

Keywords: linear flame detector, sensing element, the regression equation.