

УДК 614.8

Ю.А. Абрамов<sup>1</sup>, А.В. Прусский<sup>2</sup><sup>1</sup> *Университет гражданской защиты Украины, Харьков*<sup>2</sup> *Институт государственного управления в сфере гражданской защиты Университета гражданской защиты Украины, Киев*

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА СПИРАЛЕВИДНОГО ТИПА ГАЗОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ

*На основе экспериментальных и теоретических исследований определены такие динамические характеристики полупроводникового чувствительного элемента спиралевидного типа (ППЧЭ СТ) газового пожарного извещателя (ГПИ) как передаточная функция (ПФ) и единичная переходная функция (ЕПФ). Это позволяет моделировать работу ППЧЭ СТ ГПИ без проведения дополнительных экспериментальных исследований.*

**Ключевые слова:** *полупроводниковый чувствительный элемент спиралевидного типа, газовый пожарный извещатель, датчик первичной информации, твердые горючие материалы, возгорание, передаточная функция, единичная переходная функция.*

### Введение

**Постановка проблемы.** Повышение эффективности систем раннего выявления очага возгорания твердых горючих материалов (ТГМ) связано с совершенствованием чувствительных элементов (ЧЭ) датчиков первичной информации (ДПИ). Одним из этапов совершенствования является моделирование работы ЧЭ. В этой связи актуальной проблемой является создание модели, с помощью которой можно было бы осуществлять моделирование всех этапов функционирования ЧЭ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На данном этапе времени невозможно создание ЧЭ ДПИ без использования адекватного описания процессов, протекающих в них [1]. При этом известны подходы к математическому описанию определенных параметров датчиков первичной информации таких систем, в частности, тепловых пожарных извещателей (ТПИ) [2].

В работе рассматривается модель ППЧЭ СТ для нового типа пожарных извещателей – ГПИ, что до этого не осуществлялось.

**Целью работы** является определение динамических характеристик ППЧЭ СТ.

### Обсуждение экспериментальных данных

В качестве динамических характеристик рассматриваются передаточная функция ( $W(p)$ ) и единичная переходная функция ( $h(t)$ ).

В основу разработки математических моделей, описывающих работу ППЧЭ СТ в динамическом режиме, положены экспериментальные исследования.

Исследования проводили по разработанной методике с помощью поверочных газовых смесей (воздух + СО).

Методика проведения исследований позволяет проводить исследования таких технических характеристик, как порог срабатывания и время срабатывания ППЧЭ СТ.

Для проведения данных исследований создана экспериментальная установка, структурная схема которой приведена на рис 1.

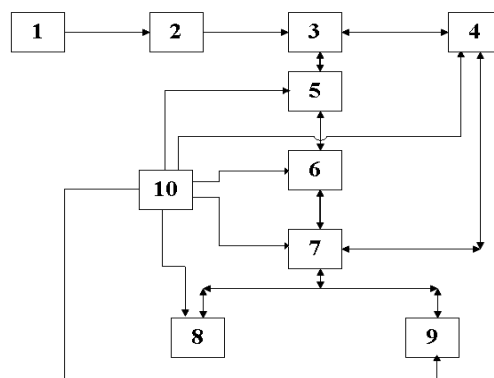


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки для исследования технических характеристик ППЧЭ СТ при помощи поверочных газовых смесей воздух + СО

На рис. 1 обозначены:

1 – баллон с поверочной газовой смесью (воздух + СО) определенной концентрации,  $V = 2$  л.;  $\Delta p = 50$  атм.; 2 – понижающий редуктор; 3 – герметичная испытательная камера; 4 – приборы контроля концентрации СО, времени, температуры; 5 – ППЧЭ СТ; 6 – измерительный блок; 7 – микроконтроллер; 8 – блок базы данных; 9 – устройство отображения информации (ЖКМ); 10 – блок питания.

**Порядок проведения эксперимента.** Из газового баллона (1) по трубопроводам на понижающий редуктор (2) подается поверочная газовая смесь (воздух + CO) определенной концентрации. Через редуктор (2) газовая смесь подается под избыточным давлением 0,5 атм. в герметичную газовую камеру (3), где создается постоянная концентрация газовой смеси воздух + CO. Концентрация газовой смеси (воздух + CO), температура и время контролируются соответствующими приборами блока (4). После установления в камере (3) постоянной концентрации CO в камеру (3) через герметичный шлюз подается ППЧЭ СТ (5). Автоматически микроконтроллером (7) через измерительные приборы (4) снимаются характеристики газовой среды в камере (3), а также через измерительный блок (6) снимается падение напряжения на ППЧЭ СТ (5), вызванное действием на него определенного значения концентрации CO. Все полученные данные экспериментов заносятся в блок базы данных (8) и параллельно отображаются на экране ЖКМ (9). Блок питания (10) устройств (4–9).

После проведения эксперимента ППЧЭ СТ (5) выводится из камеры (3), которая затем продувается чистым воздухом. ППЧЭ СТ (5) автоматически подвергается операции десорбции CO с помощью специальной программы, заложенной в микроконтроллер (7), после чего автоматически устанавливаются его рабочие параметры и ППЧЭ СТ (5) готов к очередному испытанию. По приведенной методике проведены экспериментальные исследования аналитического сигнала на выборке из 5-ти ППЧЭ СТ при постоянной концентрации в камере 1 ppm CO. Результаты приведены на рис. 2.

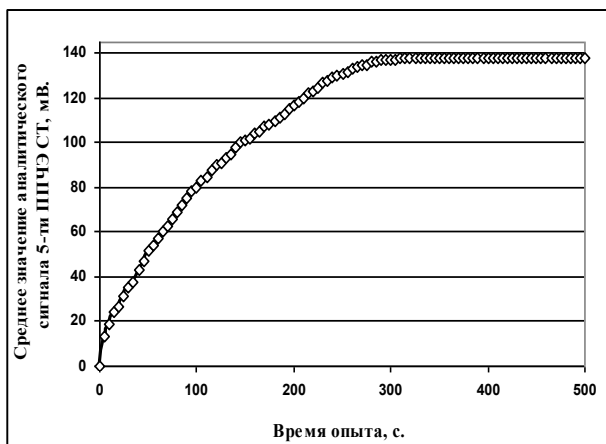


Рис. 2. Динамика изменения среднего значения аналитического сигнала (мВ) 5-ти ППЧЭ СТ при концентрации CO в испытательной камере 1 ppm

При разработке методов испытаний ГПИ и устройств для их реализации наиболее целесообразно располагать в качестве математических моделей такой универсальной динамической характеристикой, как передаточная функция. В силу того, что

ГПИ представляет собой систему с распределенными параметрами, его ПФ является иррациональной функцией комплексной переменной  $p$ . Такая форма представления ПФ может вызвать дополнительные трудности при определении динамических характеристик ГПИ, вследствие чего целесообразно перейти к представлению динамической модели ППЧЭ СТ в виде ПФ некоторой эквивалентной динамической системы с сосредоточенными параметрами.

Конкретные способы определения (нахождения) ПФ эквивалентной динамической системы отличаются видом испытательного воздействия и алгоритмом обработки выходного сигнала (реакции системы) [1].

Пусть ПФ ППЧЭ СТ имеет следующий вид:

$$W(p) = \left( \sum_{i=0}^n a_i \cdot p^i \right)^{-1}, \quad (1)$$

где  $a_i$  – параметры, подлежащие идентификации.

ПФ (1) соответствует дифференциальное уравнение

$$\sum_{i=0}^n a_i D^i \Delta r(t) = g \cdot 1(t), \quad (2)$$

где  $D=d/dt$  – оператор дифференцирования ( $a_0=1$ );  $\Delta r(t)$  – выходной сигнал ППЧЭ СТ;  $1(t)$  – единичный ступенчатый сигнал.

Разделив уравнение (2) на  $g$  и проинтегрировав на интервале  $[0, \infty]$  получим:

$$\sum_{i=1}^n a_i D^{i-1} h(t) \Big|_0^{\infty} = \int_0^{\infty} 1 - h(t) dt, \quad (3)$$

где  $h(t) = \Delta r(t)/g$ .

Из (3) следует, что для установившегося режима имеет место соотношение:

$$a_1 = \int_0^{\infty} 1 - h(t) dt. \quad (4)$$

Если уравнение (2) разделить на  $g$ , проинтегрировать на интервале  $[0, t]$  и разделить на параметр  $a_1$ , получим:

$$\sum_{i=1}^n \frac{a_i}{a_1} \cdot D^{i-1} \cdot h(t) = \frac{1}{a_1} \int_0^t 1 - h(t) dt. \quad (5)$$

Это уравнение можно рассмотреть, как дифференциальное уравнение  $(n-1)$ -го порядка, а в качестве входного сигнала использовать:

$$g_1(t) = \frac{1}{a_1} \int_0^t 1 - h(t) dt, \quad (6)$$

причем:

$$\lim_{t \rightarrow 0} g_1(t) = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} g_1(t) = 0.$$

Проинтегрировав уравнение (5) на интервале  $[0, \infty]$ , получим:

$$\sum_{i=2}^n \frac{a_i}{a_1} \cdot D^{i-2} \cdot h(t) \Big|_0^{\infty} = \int_0^{\infty} g_1(t) - h(t) dt. \quad (7)$$

Откуда следует:

$$a_2 = a_1 \cdot \int_0^{\infty} g_1(t) - h(t) dt. \quad (8)$$

Поступая аналогичным образом, в общем виде имеем:

$$a_i = a_{i-1} \cdot \lim_{t \rightarrow 0} \varphi_i(t). \quad (9)$$

Здесь:

$$\varphi_i(t) = \int_0^t \left[ \frac{a_{i-2}}{a_{i-1}} \cdot \varphi_{i-1}(t) - h(t) \right] dt, \quad (10)$$

причем:

$$a_{-1} = a_0 = \varphi_0(t) = 1. \quad (11)$$

Выражения (9), (10) с учетом (11) представляют собой алгоритм определения параметров  $a_i$  дифференциального уравнения (2), а, следовательно, и ПФ (1) эквивалентной динамической системы. Рассмотренный способ практически обработан и достаточно надежен для систем до 3-го порядка [1].

Пользуясь изложенной выше методикой [1] и полученными экспериментальными данными (рис. 2), была определена передаточная функция (12):

$$W(p) = \frac{138}{(100 \cdot p + 1)}. \quad (12)$$

Тогда единичная переходная функция ППЧЭ СТ будет иметь вид:

$$h(t) = L^{-1} \left( W(p) \cdot \frac{1}{p} \right) = 138 \cdot (1 - \exp(-\frac{t}{100})). \quad (13)$$

Графическое представление экспериментальных данных изменения аналитического сигнала ППЧЭ СТ во времени при концентрации  $CO=1$  ppm –  $h_3(t)$ , а также расчетных данных по полученной модели (13) –  $h(t)$  представлены на рис. 3.

В работе проведен расчет погрешностей между экспериментальными данными и полученной моделью. Среднеквадратичная погрешность составила 4,6 %, а относительная погрешность – 4,9 %, что свидетельствует об адекватности полученной модели экспериментальным данным.

#### ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА СПІРАЛЕВИДНОГО ТИПУ ГАЗОВОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Ю.О. Абрамов, А.В. Прусський

*Отримані динамічні характеристики напівпровідникового чутливого елемента спіралевидного типу (передаточна функція й одинична перехідна функція), що дозволяють оцінити значення технічних характеристик останнього в будь-який момент часу без проведення додаткових експериментальних досліджень.*

**Ключові слова:** напівпровідниковий чутливий елемент спіралевидного типу, газовий пожежний сповіщувач, датчик первинної інформації, тверді горючі матеріали, спалах, передавальна функція, одинична перехідна функція.

#### DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A SEMI-CONDUCTOR SENSITIVE ELEMENT OF HELICOID TYPE OF THE GAS FIRE DETECTOR

Yu.A. Abramov, A.V. Prussky

*Dynamic characteristics of a semi-conductor sensitive element of helicoid type are received (transfer function and individual transitive function), allowing to estimate value of characteristics of the last at any moment without carrying out of additional experimental researches.*

**Keywords:** semiconductor sensible element of helicoid type, gas fireman of detector, sensor of primary information, hard combustible materials, ignition, transmission function, single transitional function.

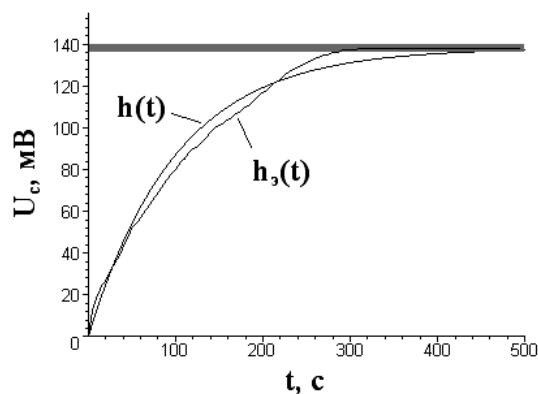


Рис. 3. Изменение аналитического сигнала ППЧЭ СТ –  $h_3(t)$  и полученной динамической характеристики ППЧЭ СТ – единичной переходной функции ( $h(t)$ )

### Вывод

Таким образом, в работе получены динамические характеристики полупроводникового чувствительного элемента спиралевидного типа (передаточная функция и единичная переходная функция), позволяющие оценить значение технических характеристик последнего в любой момент времени без проведения дополнительных экспериментальных исследований.

### Список литературы

1. Управление в технических системах с газовым и жидким компонентом / Ю.А. Абрамов, А.П. Губарев, А.В. Узунов и др. – К.: ИСМО, 1997. – 288 с.
2. Коврегин В.В. Динамические модели чувствительного элемента теплового пожарного извещателя / В.В. Коврегин, О.Л. Костенко, М.Н. Витко, Ю.А. Абрамов // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2006. – Вып. 19. – С. 74-77.

Поступила в редколлегию 28.07.2009

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. А.П. Созник, Университет гражданской защиты Украины, Харьков.