

УДК 614.8

А.В. Прусский<sup>1</sup>, В.Д. Калугин<sup>1</sup>, А.Я. Шаршанов<sup>1</sup>, А.Ю. Войтов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет гражданской защиты Украины, Харьков

<sup>2</sup>ООО НПП «Газтехника», Харьков

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ СПИРАЛЕВИДНОГО ТИПА ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ПРОДУКТОВ ПИРОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

*На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны технические условия получения высокочувствительных по СО полупроводниковых чувствительных элементов (ППЧЭ) спиралевидного типа (СТ) для газовых пожарных извещателей (ГПИ). Исследованы технические характеристики ГПИ для раннего выявления пожара по газообразным продуктам первичной стадии горения (пиролиза) целлюлозосодержащих материалов (древесина). Разработан макетный образец ГПИ с ППЧЭ СТ.*

*газовый пожарный извещатель, полупроводниковый чувствительный элемент спиралевидного типа, аналитический сигнал ( $U_d$ ) ППЧЭ СТ, газообразные продукты пиролиза (ГПП) целлюлозосодержащих материалов (ЦМ), зависимости  $U_c$ -[ГПП ЦМ] и  $U_c$ -время ( $\tau$ ) в статическом ( $T=const$ ) и динамическом ( $T \neq const$ ) режимах пиролиза, расчетные оценки порогов срабатывания ГПИ с ППЧЭ СТ с точечными тепловыми и точечными дымовыми оптическими пожарными извещателями максимального типа*

### **Введение**

**Постановка проблемы.** Предупреждение пожаровзрывоопасных ситуаций путем сверхраннего обнаружения начальной стадии горения (пиролиза)

целлюлозосодержащих материалов путем фиксирования концентраций газообразных продуктов пиролиза газовыми пожарными извещателями с полупроводниковыми чувствительными элементами спиралевидного типа.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последние годы вопросу сверхраннего обнаружения первичной стадии горения (пиролиз) ЦМ по выявлению микроконцентраций продуктов термической деструкции этих материалов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) уделяется все больше внимания [1, 2]. При этом для этих целей предлагается использовать ГПИ, которые способны обнаружить зарождение процесса горения целлюлозосодержащих материалов на начальной стадии – стадии их термического разложения [1, 2]. Именно на этой стадии развития пожаровзрывоопасной ситуации можно автоматически отключить электрооборудование по сигналу с ГПИ, а также применить адекватные меры по ее ликвидации, что приводит, в конечном итоге, к резкому снижению материального ущерба.

На начальной стадии горения ЦМ, когда термически разлагается еще небольшое количество горючего вещества, пиролитических газов ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , углеводородов и т.д.) в помещении очень мало [2]. Поэтому при использовании ГПИ для раннего выявления пожара газовые датчики должны иметь очень высокую чувствительность. При этом в качестве газовых сенсоров могут использоваться разные по принципу действия датчики с различной чувствительностью [3]. Однако, лишь полупроводниковые датчики (ППД) имеют динамический диапазон чувствительности на четыре порядка выше, что позволяет одновременно использовать их как для выявления продуктов тления, так и контроля изменения концентраций пожаровзрывоопасных газов [3].

При этом авторы [1, 2] предлагают использовать ГПИ с плоскими полупроводниковыми чувствительными элементами за счет их достаточно высокой чувствительности, селективности, быстродействия и дешевизны по сравнению с другими видами газовых сенсоров (термокаталитические, термокондуктометрические, электрохимические, оптические и т.д.). Однако в [4, 5] показано, что наибольшую чувствительность среди полупроводниковых сенсоров различной конструкции имеет полупроводниковый чувствительный элемент спиралевидного типа, предлагаемый нами для ГПИ.

**Целью работы** является теоретическое и экспериментальное подтверждение возможности использования газовых пожарных извещателей с полупроводниковыми чувствительными элементами спиралевидного типа для предупреждения пожаровзрывоопасных ситуаций путем фиксирования концентраций газообразных продуктов ( $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ ) начальной стадии процесса горения - пиролиза целлюлозосодержащих материалов.

### Обсуждение экспериментальных данных

Для проведения исследований стадии пиролиза ЦМ собрана установка, на которой моделируется реальный процесс зарождения пожара (рис. 1). Процесс пиролиза моделируется в результате протекания в генераторе (колба) реакции термического

разложения ЦМ. В зависимости от температуры пиролиза выделяется последовательно  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  и  $\text{CH}_4$ . Мы выбрали температурный интервал пиролиза от 30 до 180 °С, в котором термическая реакция разложения идет только до выделения  $\text{CO}$ .

На экспериментальной установке (рис. 1) с использованием предложенного в работе макетного образца газового пожарного извещателя с полупроводниковым чувствительным элементом спиралевидного типа [6] проведены исследования по определению чувствительности и инерционности срабатывания последнего на основные газообразные продукты тления целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага) –  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ .

На основе результатов качественного (без использования газоанализатора) (рис. 1) определения чувствительности ГПИ с ППЧЭ СТ на  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$  при температурах пиролиза  $110 \pm 5$  °С и  $160 \pm 5$  °С, а также – на сопутствующие факторы процесса тления древесины (пары воды, повышенные температуры ~160 – 180 °С) [6] выбран уровень полезного сигнала ГПИ, который находится выше 4 мВ.

На следующем этапе измерений проведены экспериментальные исследования чувствительности и инерционности срабатывания ГПИ с ППЧЭ СТ при температурах пиролиза  $60 \pm 4$  °С,  $110 \pm 5$  °С,  $160 \pm 5$  °С, а также при пиролизе древесины в динамике изменения температур от 30 до 180 °С с использованием газосигнализатора марки ОКСИ 5М-4 (рис. 1).

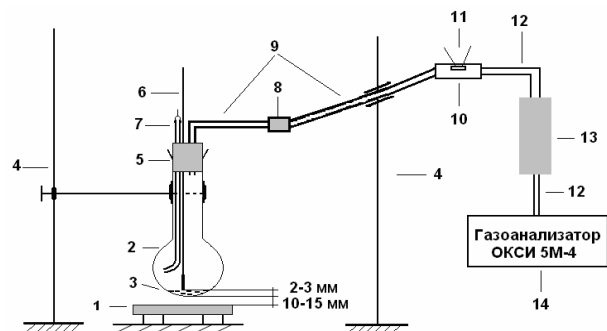


Рис.1. Схема лабораторной экспериментальной установки для определения (индикации) концентраций газообразных продуктов процесса пиролиза ЦМ: 1 – печь электрическая лабораторная (ПВН, ГОСТ 1421-53); 2 – термостойкая стеклянная колба; 3 – навеска древесины (сосна); 4 – штатив; 5 - резиновая пробка; 6 – термометр (0-500 °С); 7 – стеклянная газоотводная трубка с колпачком (l=300 мм, d=3 мм); 8 – резиновый соединитель; 9 – стеклянная газоотводная трубка (l=500 мм, d=10 мм); 10 – герметичная камера для ППД СТ ГПИ; 11 – ППД СТ ГПИ; 12 – резиновая трубка; 13 – фильтр для защиты газоанализатора от влаги; 14 – газоанализатор ОКСИ 5М-4

Динамические исследования ( $U_c$ -[CO],  $U_c$ -τ) процесса пиролитического разложения древесины на указанной установке (рис. 1) позволили смоделировать зарождение очага пожара до появления дыма, повышенной температуры и пламени, для обнаружения которых возможно использовать соответствующие дымовые, тепловые пожарные извещатели и по-

жарные извещатели пламени. При этом была проведена проверка возможного влияния расположения влагозащитного фильтра газоанализатора (рис. 1, позиции 8 и 13) на показания ГПИ и самого газоанализатора, которая показала, что расположение фильтра не влияет на показания ГПИ и газоанализатора.

Результаты данных исследований представлены на рис. 2 – 10. Как видно в условиях постоянных концентраций СО для различных температур пиролиза изменение сигнала ГПИ симбатно изменению кон-

центрации в процессе откачки газа из объема колбы (рис. 2, 4, 7) – с увеличением концентрации в колбе происходит рост сигнала ГПИ.

Результаты измерений  $U_c$  от концентрации СО (рис. 3, 5, 6, 9) показывают, что при концентрации  $CO > 1$  ppm  $U_c$  больше уровня фонового сигнала (4 мВ). При этом характер изменения  $U_c$  от концентрации СО близок к изотерме Ленгмюра, что в свою очередь свидетельствует о жесткой функциональной зависимости  $U_c$  от концентрации СО.

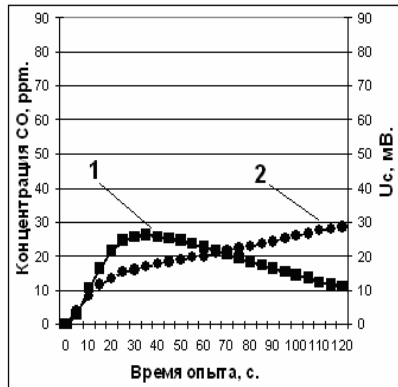


Рис. 2. Характер изменения концентрации СО (ppm) и сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) во времени (с.).  $T_{\text{пиролиза}}=60$  °С: 1 - концентрация СО; 2 - величина  $U_c$ .  $[CO_2]=0$

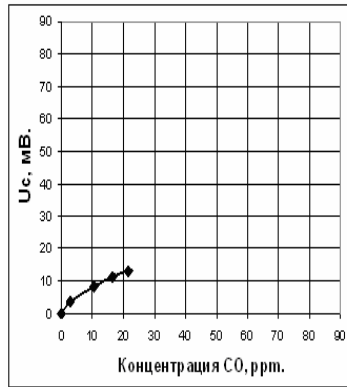


Рис. 3. Зависимость величины сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) от концентрации СО (ppm).  $T_{\text{пиролиза}}=60$  °С; время опыта - 20 с.

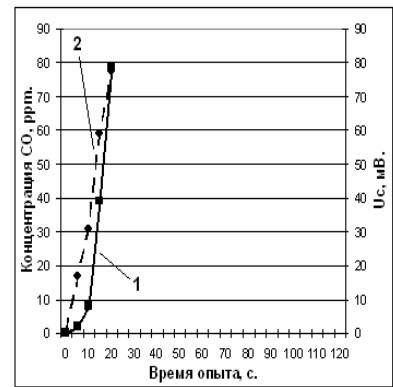


Рис. 4. Характер изменения концентрации СО (ppm) и сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) во времени (с.).  $T_{\text{пиролиза}}=110$  °С: 1 - концентрация СО; 2 - величина  $U_c$ .  $[CO_2]=0$

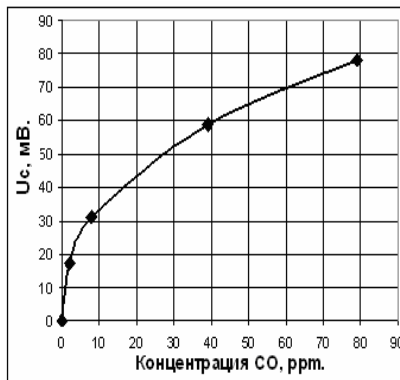


Рис. 5. Зависимость величины сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) от концентрации СО (ppm);  $T_{\text{пиролиза}}=110$  °С; время опыта - 20 с.

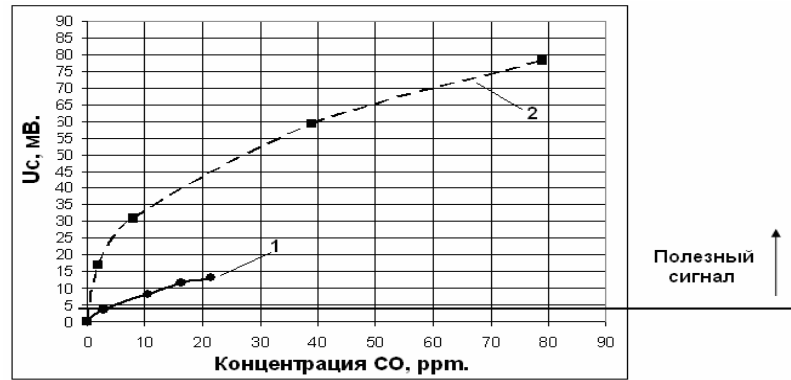


Рис. 6. Зависимость величины  $U_c$  (мВ) от концентрации СО (ppm); температура пиролиза древесины: 1 - 60 °С; 2 - 110 °С; время опыта 20 с.  $[CO_2]=0$

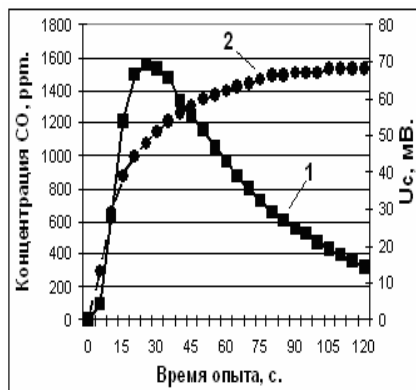


Рис. 7. Характер изменения концентрации СО (ppm) и сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) во времени (с.).  $T_{\text{пиролиза}}=160$  °С: 1 - концентрация СО; 2 - величина  $U_c$ .  $[CO_2]_{\text{max}}=5000$  ppm

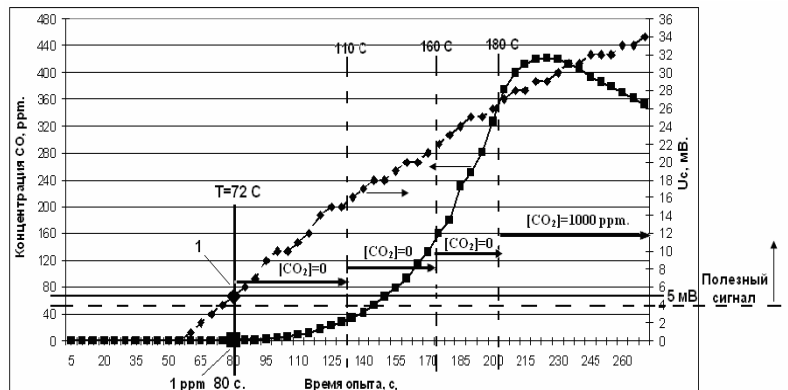


Рис. 8. Зависимость концентрации СО (ppm) (■) и сигнала ГПИ -  $U_c$  (мВ) (◆) от времени пиролиза;  $T_{\text{пиролиза}}=30 - 180$  °С: 1 - точка срабатывания ГПИ ( $U_c=5$  мВ,  $[CO]=1$  ppm)

При высоких температурах пиролиза ( $>160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) на характер изменения аналитического сигнала оказывает влияние эффект конкурирующей адсорбции молекул  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ . Поэтому величина сигнала ГПИ несколько меньше, чем в случае пиролиза при  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но это имеет место при  $[\text{CO}]$  в 20 раз больше, чем в случае  $[\text{CO}]$  при пиролизе при  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 7, 9).

Измерительная установка (рис. 1) позволяет также проводить комплексные исследования процесса пиролиза в конкретном диапазоне температур. Для выполнения динамических исследований необходим вывод всех контролируемых параметров на ЭВМ, однако, в нашем случае измерения  $\tau(\text{с.})$ ,  $t\text{ (}^{\circ}\text{C)}$  и  $[\text{CO}]$  проведены с помощью 3 лиц, снимающих показания в синхронном режиме от времени.

Результаты таких измерений представлены на рис. 8 – это результаты последовательных 6-ти измерений в интервале времени до 270 с и температуры пиролиза от  $30$  до  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Из графика видно, что ГПИ срабатывает на концентрацию  $\text{CO}=1\text{ ppm}$ , когда величина полезного сигнала составляет  $5-6\text{ мВ}$ . Наблюдается практически линейный характер изме-

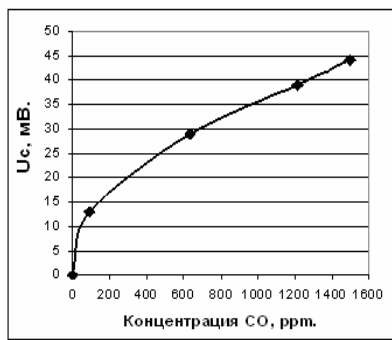


Рис. 9. Зависимость величины сигнала ГПИ –  $U_c$  (мВ) от концентрации  $\text{CO}$  (ppm).  $T_{\text{пиролиза}}=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; время опыта  $20\text{ с.}$   $[\text{CO}_2]_{\text{max}}=5000\text{ ppm}$

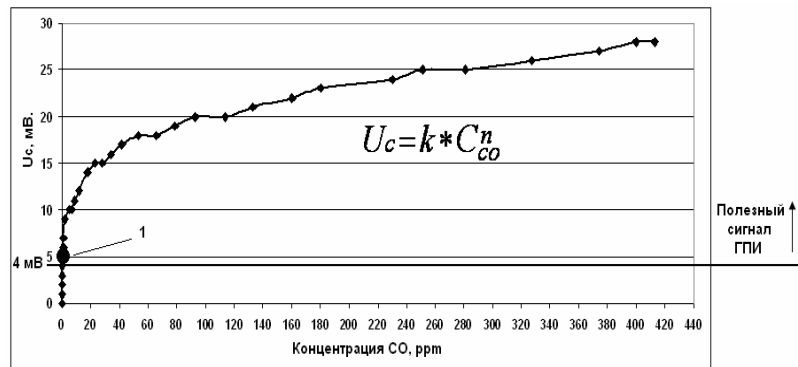


Рис. 10 – Зависимость величины сигнала ГПИ –  $U_c$  (мВ) от концентрации  $\text{CO}$  (ppm);  $T_{\text{пиролиза}}=30-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; время опыта  $215\text{ с.}$ : 1 – точка срабатывания ГПИ ( $U_c=5\text{ мВ}$ ,  $[\text{CO}]=1\text{ ppm}$ )

В работе в продолжение полученных экспериментальных данных проведены сравнительные модельные расчеты порогов срабатывания точечного теплового (ГТ) и точечного дымового оптического (ГДО) пожарных извещателей (ПИ) максимального типа (МТ) с предложенным в работе ГПИ с ППЧЭ СТ.

В основу этих расчетов положено утверждение о том, что количество теплоты ( $Q = m \cdot Q_n$  – теплота), масса газообразных частиц ( $m_i = m \cdot L_i$  – масса газообразного продукта пиролиза) и масса частиц дыма ( $m_d = m \cdot K_d$  – масса частиц дыма) образующиеся при горении или, в частности, при пиролизе горючего материала, жестко связаны между собой:

$$Q/Q_n = m_i / L_i = m_d / K_d, \quad (2)$$

где  $m$  – масса материала, который подвергается пиролизу (кг);  $Q_n$  – нижняя теплота сгорания материала (Дж/кг);  $L_i$  – константа газообразования горючего материала;  $K_d$  – массовый коэффициент дымообразования материала.

нения сигнала ГПИ во времени до  $33-36\text{ мВ}$ . Характер изменения концентрации  $\text{CO}$  в реакторе задан левой ординатой, изменение  $U_c$  – правой. Нагрев прекращается при  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом начинает выделяться  $\text{CO}_2$ , который, как видно из рис. 8, не оказывает никакого влияния на величину аналитического сигнала, что свидетельствует о селективности ГПИ с ППЧЭ СТ только на  $\text{CO}$ .

По этим данным построена зависимость аналитического сигнала ГПИ –  $U_c$  от концентрации  $\text{CO}$  (рис. 10), которая подтверждает наши представления об особенностях формирования аналитического сигнала ГПИ с ППЧЭ СТ при концентрации  $\text{CO} > 1\text{ ppm}$ . При этом нами получена общая зависимость изменения аналитического сигнала ГПИ с ППЧЭ СТ от концентрации  $\text{CO}$ :

$$U_c = k \cdot C_{\text{CO}}^n, \quad (1)$$

где  $U_c$  – величина аналитического сигнала ГПИ с ППЧЭ СТ (мВ);  $k$  – коэффициент ( $k = k(T)$ );  $C_{\text{CO}}$  – концентрация  $\text{CO}$  (ppm);  $n$  – показатель степени ( $n = n(T)$ ).

Основой дальнейших оценок является гипотеза о том, что в большинстве точек помещения выполняется соотношение, подобное формуле (2), а именно, существует подобие полей избыточной температуры газовой среды  $\Delta T$  (К), избыточной концентрации  $i$ -й компоненты  $\Delta C_i$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) и плотности дыма  $\rho_d$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) [7, 8]:

$$\Delta T \cdot c'_{\text{cp}} / Q_n \leq \Delta C_i / L_i, \quad (3)$$

$$\Delta C_i / L_i \geq \rho_d / K_d, \quad (4)$$

где  $c'_{\text{cp}}$  – удельная объемная теплоемкость среды (Дж/(К·м<sup>3</sup>)).

Нарушение равенства в соотношении (3) поясняется тем, что часть выделившегося тепла идет не на разогрев газовой среды, а уходит из системы либо радиационно, либо теплопроводностью через ограждающие конструкции. Нарушение равенства в формуле (4) возможно вследствие оседания частиц дыма на ограждающих конструкциях.

Для сравнения порогов срабатывания ТТПИМТ, ТДОПИМТ и ГПИ с ППЧЭ СТ формулы (3) и (4) удобно представить в виде:

$$\Delta C_i \geq (\Delta T \cdot c'_{cp} \cdot L_i) / Q_n, \quad (5)$$

$$\Delta C_i \geq m^* \cdot L_i / 4,34 \cdot D_m, \quad (6)$$

где  $\Delta T = (T_{стпи} - T_0)$ ;  $T_{стпи}$  – температура срабатывания ТТПИМТ (°C), например: SDT2100 (Siemens AG, Австрия) =  $53 \pm 3$  °C, DFE-90E (НОСНІКІ, Япония) =  $87 \pm 3$  °C;  $T_0$  – начальная температура окружающей среды = 25 °C;  $m^*$  – удельная оптическая плотность среды (дБ/м);  $D_m$  – коэффициент дымообразования горючего материала (Неп·м<sup>2</sup>/кг).

Сразу отметим, что при сравнении порогов срабатывания ТДОПИМТ и ГПИ с ППЧЭ СТ необходимо вместо  $m^*$  в формуле (6) подставить  $\alpha \cdot m_0^*$ , где  $m_0^*$  – пороговое значение модуля оптической плотности для светлого дыма, а  $\alpha$  – коэффициент поправки на цветность ( $\alpha = 1$  для «белого» дыма – при тлении бумаги, хлопка, древесины, сигареты;  $\alpha = 1 \dots 2$  для «серого» дыма – пламенное горение древесины, керосина, бензина (среднее значение  $\alpha = 1,5$ );  $\alpha = 2 \dots 3,5$  для «черного» дыма – горение резины (среднее значение  $\alpha = 2,5$ )) [7]. Характерные значения порога срабатывания ТДОПИМТ, например, для ИПД-3, ИПД-3.2 (ЧП «Артон», Черновцы, Украина)  $m^* = 0,05 - 0,2$  дБ/м; для ИД 1, ИД 2 (ГНПП «Меридиан», Харьков, Украина)  $m^* = 0,12$  дБ/м; для ИПД-1 (КП «Сигма», Черновцы, Украина)  $m^* = 0,05 - 0,2$  дБ/м).

Поведем численные оценки. Из соотношения (5) следует, что в случае тления древесины

$$(Q_n = 13800 \cdot 10^3 \text{ (Дж/кг)}; L_{co} = 0,024; c'_{cp} = 1,05 \cdot 10^3 \text{ (Дж/(К} \cdot \text{м}^3)))$$

при  $T_0 = 25$  °C и  $\Delta C_i(\text{ГПИ}) = 1,25 \text{ мг/м}^3$  (1 ppm) по СО:

$$\begin{aligned} \Delta T &= (T_{стпи} - T_0) \leq (Q_n \cdot \Delta C_i / c'_{cp} \cdot L_i) = \\ &= (14 \cdot 10^6 \cdot 1,25 \cdot 10^{-6}) / (1,05 \cdot 10^3 \cdot 0,024) = \\ &= 0,7 \text{ °C} \rightarrow T_{стпи} \leq 25,7 \text{ °C}. \end{aligned}$$

Решая обратную задачу, при  $\Delta T = (T_{стпи} - T_0) = (53 - 25) = 28$  °C и тех же значениях пара-

метров в выражении (5) получаем:

$$\Delta C_i \geq 50,4 \text{ мг/м}^3 = 40,3 \text{ ppm по СО.}$$

Аналогично, для оптических извещателей в соответствии с (6) в случае тления древесины ( $\alpha = 1$ ;  $D_m = 130 \text{ Неп} \cdot \text{м}^2/\text{кг}$ ) при  $\Delta C_i(\text{ГПИ}) = 1,25 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$  (1 ppm) по СО получаем:

$$\begin{aligned} m_0^* &\leq (\Delta C_i \cdot 4,34 \cdot D_m) / (\alpha \cdot L_i) \\ &= (1,25 \cdot 10^{-6} \cdot 4,34 \cdot 130) / (1 \cdot 0,024) = 0,03 \text{ дБ/м}. \end{aligned}$$

Решая обратную задачу, при  $m^* = 0,05$  дБ/м (наилучшая чувствительность ТДОПИМТ) и тех же значениях параметров в выражении (6) получаем  $\Delta C_i \geq 2,1 \text{ мг/м}^3 = 1,7 \text{ ppm по СО.}$

Как видно из расчетов, при концентрации СО = 1 ppm (чувствительность предложенного авторами ГПИ с ППЧЭ СТ) в месте установки ТТПИМТ, ТДОПИМТ и предложенного в работе макетного образца ГПИ с ППЧЭ СТ температура будет равна 25,7 °C, что значительно ниже порога срабатывания ТТПИМТ (например: SDT2100 (Siemens AG, Австрия) =  $53 \pm 3$  °C), а удельная оптическая плотность среды будет составлять менее 0,03 дБ/м, что также меньше порога срабатывания ТДОПИМТ (0,05 дБ/м). Данные расчеты подтверждают преимущество предложенного в работе ГПИ с ППЧЭ СТ по сравнению с ТТПИМТ и ТДОПИМТ в вопросе раннего выявления (на стадии пиролиза) очага возгорания ЦМ.

На следующем этапе работы проведен сопоставительный анализ эффективности работы ГПИ, предложенного нами, с ГПИ и ППД различных зарубежных производителей, поскольку в Украине подобных разработок нет. Необходимо отметить, что в конструкциях чувствительных элементов иностранных ГПИ и ППД используются благородные металлы в качестве катализаторов адсорбции для повышения чувствительности, а также значительно более сложные электрические схемы контроля  $U_c$ . Судя по паспортным данным (табл. 1) инерционность срабатывания зарубежных образцов на порядок больше, чем предложенного авторами ГПИ с ППЧЭ СТ.

Таблица 1

Некоторые характеристики ГПИ с ППЧЭ и ППД различных производителей и предлагаемой конструкции ГПИ с ППЧЭ СТ

№, п/п.	Марка, тип	Фирма	Принцип действия ГПИ, ППД	Диапазон измерения [CO], ppm.	Время срабатывания, с.	Использование благородных металлов
1.	Датчик MQ-7 на СО	Hanwei Electronics Co., LTD (Китай)	Изменение сопротивления при адсорбции молекул газов на полупроводнике	10...1000	<150,0	Pt, Au
2.	ГПИ СГС-99 (модель Б)	ЗАО «МХК ЛАВЕРНА-НЕФТЕГАЗСТРОЙ (Москва)	Изменение сопротивления при адсорбции молекул газов на полупроводнике	1...240	<3	Pt, Au
3.	SGS-2140 Серия «Сепсис-2000»	«Дельта-С» (Россия)	Изменение сопротивления при адсорбции молекул газов на полупроводнике	1...1000	<10	Pt
4.	ГПИ с ПП ЧЭ СТ	УЦЗ Украины, НПП «Газтехника» (Харьков)	Изменение сопротивления при адсорбции молекул газов на полупроводнике	1...1000	1	-

На основе проведенных исследований авторами предложена конструкция ГПИ с ППЧЭ СТ, не содержащая благородных металлов (Pt, Au), которая имеет лучшие показатели по чувствительности и инерционности (табл. 1) по сравнению с зарубежными аналогами. Авторами разработан макетный образец ГПИ с ППЧЭ СТ с данными техническими характеристиками.

### Выводы

1. Получены экспериментальные зависимости величины аналитического сигнала –  $U_c$  ГПИ с ППЧЭ СТ от концентрации газообразных продуктов пиролиза ЦМ (CO, CO<sub>2</sub>) во времени в статическом и динамическом режимах процесса. На основе их анализа показано, что чувствительность такого ГПИ составляет 1 ppm по CO, инерционность срабатывания – 1 с.

2. На основе результатов исследований разработан макетный образец ГПИ с ППЧЭ СТ с высокой чувствительностью и малой инерционностью без использования в качестве катализаторов благородных металлов (Pt, Au, Ru и др.) в структуре ЧМ в отличие от ГПИ с полупроводниковыми датчиками зарубежных фирм.

### Список литературы

1. Васильев А.А., Олихов И.М., Соколов А.В. Газовые сенсоры для пожарных извещателей. // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2005. – № 2. – С. 24-27.
2. Федоров А.В., Лукьяненко А.А., Соколов А.В. Экспериментальные исследования полей концентраций

водорода и оксида углерода на ранней стадии пожара в помещениях и определение рациональных мест установки газовых пожарных извещателей // *Пожаровзрывобезопасность.* – 2006. – № 3. – С. 74-84.

3. Прусский А.В., Калугин В.Д. Газові пожежні сповіщувачі на базі напівпровідникових сенсорів. Питання хибних спрацювань // *Проблеми надзвичайних ситуацій: Зб. наук. пр. УЦЗ України.* – Х.: УЦЗУ, 2006. – Вип. 4 – С. 190-197.

4. Прусский А.В., Кальний С.Е., Калугин В.Д. Модель напівпровідникового фрактального чутливого елемента давача газосигналізатора пожежовибухонебезпечних газів та парів токсичних органічних речовин // *Проблеми пожежної безпеки.* – Х.: Фолио, 2005. – Вип. 18. – С. 128-132.

5. Напівпровідникові сенсорі: Теорія, конструкція, застосування / Буданов П.Ф., Даник Ю.Г., Заславська О.Ю., Калугин В.Д., Карпенко В.І., Сергеев А.В. За ред. Ю.Г. Даника. – Х.: Нац. ун-т внутр. справ, 2001. – 252 с.

6. Прусский А.В., Калугин В.Д., Войтов А.Ю. Предупреждение чрезвычайных ситуаций путем фиксации концентраций газообразных продуктов пиролиза целлюлозосодержащих материалов газовыми пожарными извещателями с полупроводниковыми чувствительными элементами спиралевидного типа // *Проблеми надзвичайних ситуацій: Зб. наук. пр. УЦЗ України.* – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5. – С. 166-176.

7. Шаровар Ф.И. Устройства и системы пожарной сигнализации. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 375 с.

8. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний. – М.: Стройиздат, 1988. – 337 с.

Поступила в редколлегию 31.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.И. Карпенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.