

УДК 614.8

А.В. Прусский

Институт государственного управления в сфере гражданской защиты, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГАЗОВОГО ПОЖАРНОГО ИЗВЕЩАТЕЛЯ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ДАТЧИКОМ СПИРАЛЕВИДНОГО ТИПА В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ПИРОЛИЗА ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ (ДРЕВЕСИНА, БУМАГА)

Проведены экспериментальные исследования чувствительности газового пожарного извещателя (ГПИ) с полупроводниковым датчиком спиралевидного типа (ППД СТ), свидетельствующие о лучших технических характеристиках ГПИ с ППД СТ для выявления начальной стадии процесса горения целлюлозосодержащих материалов (ЦМ) по сравнению с аналогичными образцами

Ключевые слова: продукты горения, пожар, пожарные извещатели, целлюлозосодержащие материалы, термическое разложение (тление), газовый пожарный извещатель, полупроводниковый датчик, раннее обнаружение пожара, выявление возгорания, угарный газ (СО).

Введение

Постановка проблемы. Исследования динамики выделения продуктов горения при пожаре показывают, что использование дымовых, тепловых и пожарных извещателей пламени для раннего выявления начальной стадии возгорания твердых горючих материалов (ТГМ) (термическое разложение (тление)) по газообразным продуктам является совершенно неэффективным.

Проблема раннего выявления возгорания ТГМ заключается в том, чтобы по сверхмалым количествам газообразных продуктов первичной стадии горения ТГМ можно было бы выявить факт развития пожара в самый начальный момент его зарождения. Применение таких систем неизбежно отразится на значительном уменьшении прямого и побочного материального ущерба от пожара, а также приведет к значительному сокращению используемых сил и средств для его ликвидации. Поэтому вопрос повышения эффективности обнаружения возгорания ТГМ путем разработки сверхчувствительных систем раннего обнаружения очага горения ТГМ с использованием ГПИ с ППД СТ является актуальной и своевременной задачей обеспечения пожарной безопасности.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время вопросу сверхраннего обнаружения первичной стадии пиролиза целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага, хлопок, льняные ткани и т.д.) по выявлению микроконцентраций продуктов термической деструкции этих материалов (CO , CO_2 , H_2 , C_xH_y) уделяется все больше внимания [1, 2]. При этом для этих целей предлагается использовать ГПИ, которые способны обнаружить горение целлюлозосодержащих материалов на начальной стадии – стадии их термического разложения [1, 2]. Именно на этой стадии развития пожара можно

автоматически отключить электрооборудование по сигналу с ГПИ, а также применить адекватные меры по его ликвидации, что приводит, в конечном итоге, к резкому снижению материального ущерба. 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 [3] показано, что наибольшую чувствительность среди полупроводниковых сенсоров различной конструкции имеет полупроводниковый датчик спиралевидного типа, предлагаемый автором в качестве чувствительного элемента ГПИ.

Формулирование цели статьи. Целью данной работы является экспериментальное подтверждение целесообразности и необходимости использования газовых пожарных извещателей с полупроводниковыми датчиками спиралевидного типа для предупреждения чрезвычайных ситуаций путем выявления начальной стадии процесса пиролиза целлюлозосодержащих материалов по фиксированию микроконцентраций газообразных продуктов.

Изложение основного материала

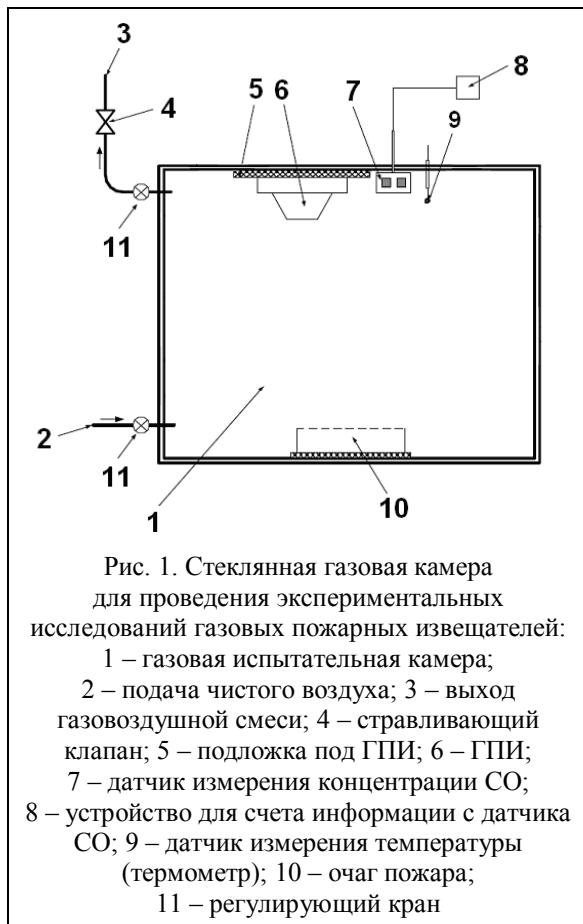
В среднем каждый год около 70–80 % пожаров в Украине от общего количества приходится на жилой сектор [4], при этом основой удельной горючей нагрузки (~ 50 % по массе) для этих сооружений являются деревянные изделия различного назначения – т.е. целлюлозосодержащие материалы [5].

Анализ результатов экспериментальных исследований, а также анализ нормативной и технической литературы показывают, что системы сверхраннего обнаружения очага возгорания (на стадии пиролиза)

для большинства целлюлозосодержащих материалов необходимо и достаточно ориентировать на анализ только двух компонент в атмосфере – CO и H₂ [6].

Предлагаемый в работе ГПИ с ППД СТ ориентирован на выявление угарного газа (CO) как неотъемлемого компонента газообразных продуктов начальной стадии термического разложения ЦМ [6,7].

Для проведения экспериментальных исследований по определению чувствительности ГПИ с ППД СТ разработана и использована стеклянная герметичная газовая камера размерами 1×1×1 м (объемом 1 м³) со съемной верхней рабочей панелью (рис. 1). Необходимо отметить, что в качестве датчика измерения концентрации CO (7) и устройства для счета информации с датчика (8) использовался газоанализатор марки ОКСИ 5М-4. На экспериментальной установке (рис. 1) проведены исследования чувствительности предложенного автором ГПИ с ППД СТ на газообразные продукты при динамическом режиме пиролиза древесины и бумаги.



Для получения набора статистических данных и последующего их анализа проведено пять серий опытов. Исследования проводили в одинаковых условиях: время пиролиза от 0 до 270 с, температура пиролиза – от 30±5 °С до 160±5 °С. В этих температурных диапазонах в основном выделяются CO₂ и CO [7]. Использовалась обычная бумага для печати

(формат А4, плотность 80 г/м²), которая была нарезана на маленькие кусочки размером 0,5×0,5 см. Соблюдалось обязательное условие: масса древесины и масса бумаги в исследуемых очагах – одинаковы.

Исследования проводили последовательно: сначала пять опытов для древесины, затем пять опытов для бумаги. Усредненные результаты опытов представлены в графическом виде на рис. 2.

Видно, что CO выделяется раньше при пиролизе древесины (рис. 2, кривая 3), чем при пиролизе бумаги (рис. 2, кривая 4). Этот эффект обусловлен тем, что при пиролизе древесины (рис. 2, кривая 1) ГПИ с ППД СТ срабатывает на 40 с раньше, чем при пиролизе бумаги (рис. 2, кривая 2).

Аналогичную закономерность можно установить и при анализе обобщенных экспериментальных данных по пиролизу древесины и бумаги (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что в среднем при пиролизе древесины рабочий сигнал ГПИ с ППД СТ (> 4 мВ) достигается при $\tau_{\text{пиролиза}} = 58$ с и $t_{\text{пиролиза}} = 57,2$ °С, в то время как при пиролизе бумаги это происходит значительно позже: при $\tau_{\text{пиролиза}} = 105$ с и $t_{\text{пиролиза}} = 77,8$ °С.

Это может быть объяснено тем, что в процессе изготовления бумаги происходят структурные изменения целлюлозы. Процесс выделения пиролитических газов при пиролизе бумаги требует больших энергетических затрат, то есть более высоких температур и длительного времени, чем при пиролизе обычной древесины, структура которой не подвергалась изменению.

Таким образом, экспериментально показано, что ГПИ с ППД СТ срабатывает как при пиролизе древесины, так и при пиролизе бумаги, на газообразный продукт их термической деструкции (CO). Однако при пиролизе древесины ГПИ с ППД СТ срабатывает практически вдвое раньше, чем при пиролизе бумаги (в среднем на 47 с).

Далее в работе проведены исследования технических характеристик газовых пожарных извещателей с полупроводниковыми датчиками спиралевидного типа различных марок. Выбор ППД марки MQ-7 на CO китайского производства в качестве чувствительного элемента ГПИ объясняется его максимальным сходством с предложенным в работе ППД СТ как по составу чувствительной массы (за исключение TiO₂), так и по конструктивному исполнению (нагреватель чувствительной массы выполнен в виде спирали). При этом ППД китайского производства имеет аналогичные технические характеристики по сравнению с лучшими мировыми аналогами.

Суть сравнительных исследований состоит в определении чувствительности предложенного ГПИ с ППД СТ и ГПИ с ППД китайского производства на первичный газообразный продукт пиролиза ЦМ (древесины) – CO.

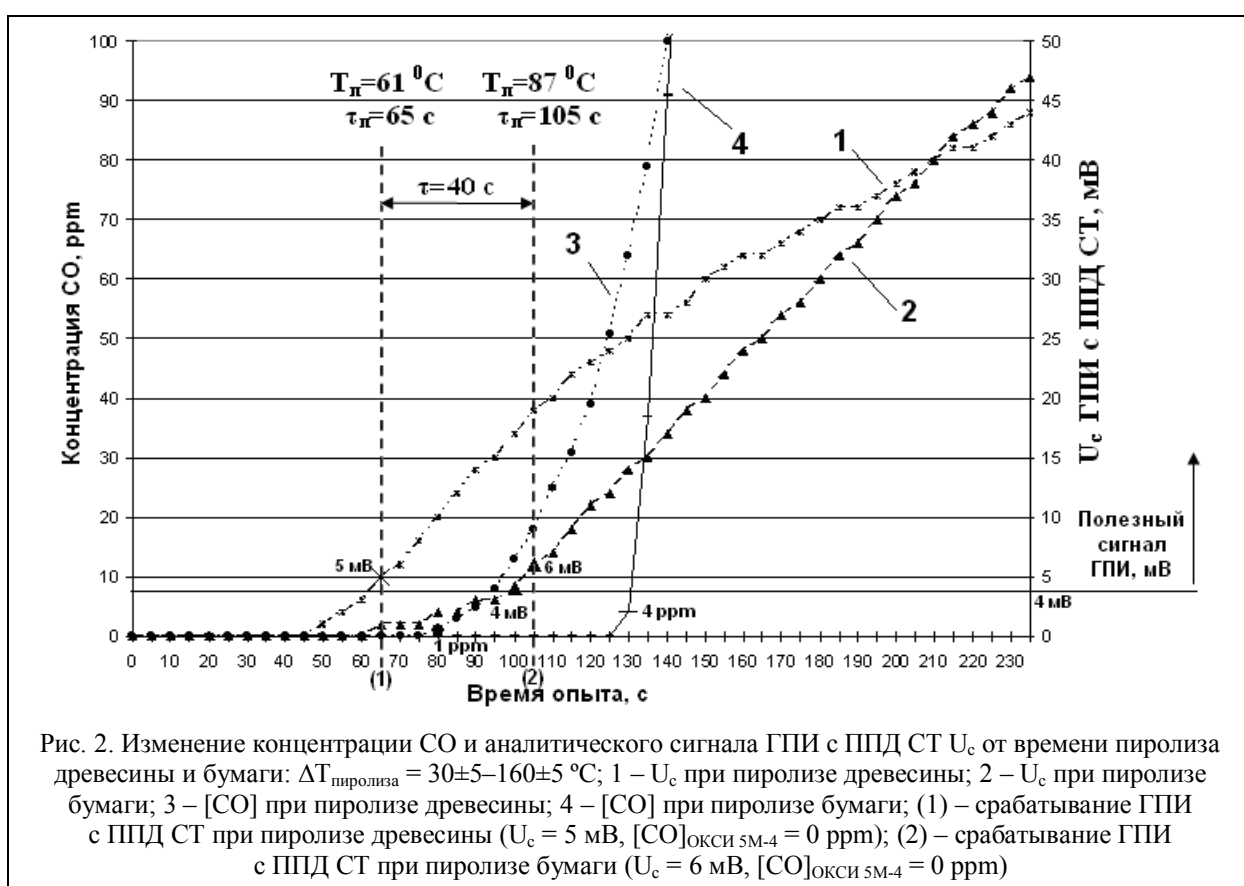


Рис. 2. Изменение концентрации CO и аналитического сигнала ГПИ с ППД СТ U_c от времени пиролиза древесины и бумаги: $\Delta T_{\text{пиролиза}} = 30 \pm 5 - 160 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$; 1 – U_c при пиролизе древесины; 2 – U_c при пиролизе бумаги; 3 – [CO] при пиролизе древесины; 4 – [CO] при пиролизе бумаги; (1) – срабатывание ГПИ с ППД СТ при пиролизе древесины ($U_c = 5 \text{ мВ}$, $[\text{CO}]_{\text{окси 5М-4}} = 0 \text{ ppm}$); (2) – срабатывание ГПИ с ППД СТ при пиролизе бумаги ($U_c = 6 \text{ мВ}$, $[\text{CO}]_{\text{окси 5М-4}} = 0 \text{ ppm}$)

Таблица 1

Результаты исследования технических характеристик ГПИ с ППД СТ в динамическом режиме пиролиза древесины и бумаги ($\Delta T_{\text{пиролиза}} = 30 \pm 5 - 160 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{пиролиза}} = 270 \text{ с}$)

Номер опыта	Древесина				Бумага			
	[CO], ppm	U_c , мВ	$\tau_{\text{пиролиза}}$, с	$t_{\text{пиролиза}}$, $^\circ\text{C}$	[CO], ppm	U_c , мВ	$\tau_{\text{пиролиза}}$, с	$t_{\text{пиролиза}}$, $^\circ\text{C}$
1	1	7	50	53	1	5	120	74
2	1	5	60	57	1	6	105	87
3	1	5	65	61	1	5	90	74
4	1	6	55	59	1	5	110	70
5	1	7	60	56	1	6	100	84
Среднее значение	1	6	58	57,2	1	5,4	105	77,8

Экспериментальные исследования проводили на установке (рис. 1) с использованием тестового очага пожара ТФ-2 (позиция 10 рис. 1) в режиме пиролиза древесины (температурный интервал $30 \pm 5 - 160 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$; время температурного воздействия (пиролиза) 0–100 с).

По стандарту EN 54-7:2001, каждый тестовый очаг состоит из определенного материала, имеет определенную конфигурацию и небольшие размеры. Очаг ТФ-2 (рис. 3) состоит из 10 высушенных буковых брусков (влажность ~ 5 %) размерами $75 \times 25 \times 20 \text{ мм}$, которые расположены на поверхности электрической плитки мощностью примерно 2 кВт и диаметром 220 мм и подогреваются до температуры $600 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Очаг ТФ-2 – тлеющее пламя (пиролитическое), эмиссия тепла небольшая, эмиссия дыма большая, дым видимый, ясный. Пламенное горение недопустимо.

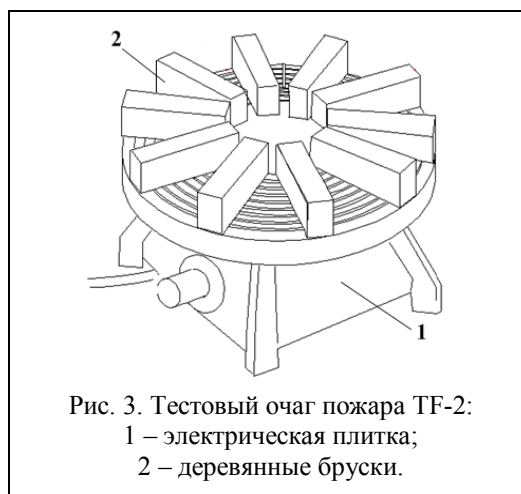
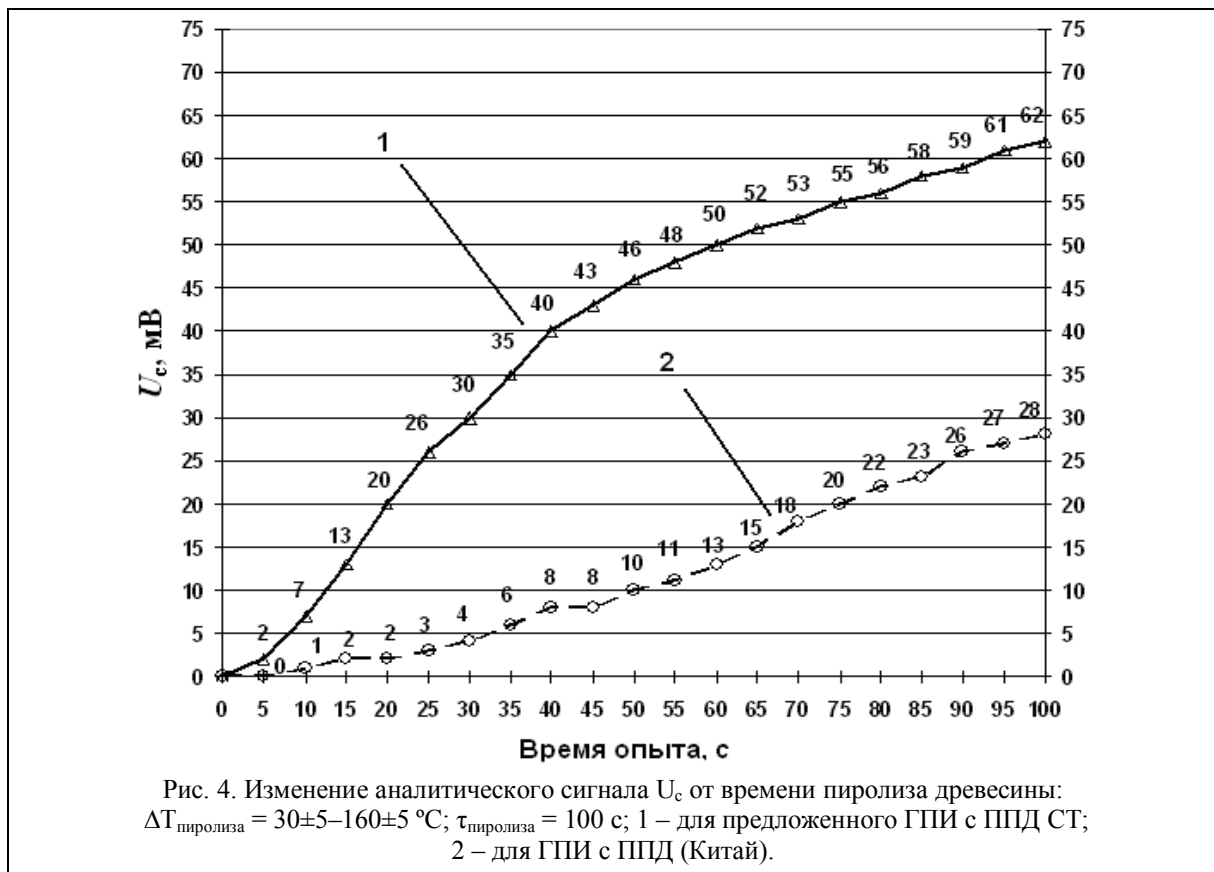


Рис. 3. Тестовый очаг пожара ТФ-2: 1 – электрическая плитка; 2 – деревянные бруски.

Результаты исследований представлены на рис. 4.



Как видно, интенсивность изменения аналитического сигнала (изменение сигнала U_c в единицу времени $\tau - \Delta U_c / \Delta \tau$) наибольшая для предлагаемого ГПИ с ППД СТ, что свидетельствует о большей его чувствительности по сравнению с ГПИ с ППД (Китай) на основной газообразный продукт пиролиза ЦМ – СО. Необходимо отметить очень длительную во

времени пологость характеристики $U_c - \tau$ для ГПИ с ППД китайского производства, которая достигает фонового значения U_c (4 мВ) только через 20–24 с после отработки сигнала ГПИ, предложенного в работе. Для анализа установленных особенностей нарастания ($\Delta U_c / \Delta \tau$) результаты опытов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований технических характеристик двух ГПИ (предложенный ГПИ с ППД СТ и ГПИ с ППД марки MQ-7 (Китай)) в режиме пиролиза древесины: $\Delta T_{\text{пиролиза}} = 30 \pm 5 - 160 \pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$; $\tau_{\text{пиролиза}} = 100 \text{ с}$

Номер опыта	ГПИ с ППД СТ (предложенный автором)			ГПИ с ППД (датчик MQ-7 на СО (Китай))		
	U_c , мВ	$\tau_{\text{пиролиза}}$, с	$t_{\text{пиролиза}}$, $^\circ\text{C}$	U_c , мВ	$\tau_{\text{пиролиза}}$, с	$t_{\text{пиролиза}}$, $^\circ\text{C}$
1	6	10	36	6	35	49
2	5	5	35	6	30	46
3	7	10	38	8	50	57
4	6	10	37	6	35	50
5	5	5	37	7	45	53
Среднее значение	5,8	8	36,6	6,6	39	51

Таблица 3

Разница во времени и по температуре срабатывания ГПИ с ППД (Китай) и ГПИ с ППД СТ (авторская разработка) соответственно

Номер опыта	$\Delta \tau_{\text{пиролиза}}$, с	$\Delta t_{\text{пиролиза}}$, $^\circ\text{C}$
	(MQ-7, Китай – предложенный автором)	(MQ-7, Китай – предложенный автором)
1	25	13
2	20	9
3	30	13
4	25	13
5	20	8
Среднее значение	24	11,2

Из табл. 2 и 3 видно, что предложенный автором ГПИ с ППД СТ срабатывает раньше, чем ГПИ с ППД (Китай). Учитывая тот факт, что ГПИ с ППД СТ рассчитан на раннее обнаружение процесса горения ЦМ по газообразному продукту CO, видны неоспоримые преимущества предлагаемого образца ГПИ по достижению уровня сигнала срабатывания за меньший промежуток времени: 5–7 с в сравнении с ГПИ с ППД (Китай): 25–40 с, поскольку на стадии обнаружения и последующего предупреждения развития пожара имеет значение каждая секунда. Из представленных данных видно, что срабатывание предложенного ГПИ с ППД СТ при одинаковых условиях пиролиза древесины происходит в среднем на 24 с раньше и температуре на 10–12 °C ниже, чем ГПИ с ППД (Китай).

Выводы

Проведенные исследования свидетельствуют о преимуществе технических характеристик авторского образца ГПИ с ППД СТ для выявления начальной стадии процесса горения ЦМ.

При этом, неоспоримым преимуществом предложенного ГПИ с ППД СТ по сравнению с аналогами ГПИ с ППД зарубежных фирм является полное отсутствие благородных металлов в качестве катализаторов адсорбции (Pt, Au, Ru и т.д.) в составе чувствительной массы ГПИ.

Список литературы

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

2. Федоров А.В. Экспериментальные исследования полей концентраций водорода и оксида углерода на ранней стадии пожара в помещениях и определение рациональных мест установки газовых пожарных извещателей / А.В. Федоров, А.А. Лукьяненко, А.В. Соколов. // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2006, №3 – С. 74 – 84.

3. Напівпровідникові сенсорні: Теорія, конструкція, застосування / Буданов П.Ф., Даник Ю.Г., Заславська О.Ю., Калугін В.Д., Карпенко В.І., Сергєєв А.В. За ред. Ю.Г. Даника. – Харків: Вид-во Нац. ун-ту внутр. справ, 2001. – 252 с.

4. Аналіз масиву карток обліку пожеж (POG_STAT) за 12 місяців 2012 року / [ВДтаСПіНС Укр-НДЦЗ МНС України]. – Київ, 2012 – 27 с.

5. Ми Зуї Тхань. Горючая загрузка в современных жилых помещениях / Ми Зуї Тхань // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2005. – Т. 14, №4. – С. 30 – 37.

6. Прусский А.В. Анализ состояния проблемы выявления начальной стадии процесса горения (тления) горючих материалов с помощью пожарных извещателей / А.В. Прусский, В.Д. Калугин А.Ю., Войтов // *Проблемы пожарной безопасности*. – Харьков: УГЗУ, 2007. – Вып. 21. – С. 208 – 217.

7. Прусский А.В. Предупреждение чрезвычайных ситуаций путем фиксирования концентраций газообразных продуктов пиролиза целлюлозосодержащих материалов газовыми пожарными извещателями с полупроводниковыми чувствительными элементами спиралевидного типа / А.В. Прусский, В.Д. Калугин А.Ю., Войтов // *Проблемы надзвичайних ситуацій*. – Харків: УЦЗУ, 2007. – Вип. 5 – С. 166 – 176.

Поступила в редколлегию 22.05.2013

Рецензент: д-р техн. наук, доц. С.В. Поздеев, Институт государственного управления в сфере гражданской защиты, Киев.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ГАЗОВОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА З НАПІВПРОВІДНИКОВИМ ДАТЧИКОМ СПІРАЛЕВИДНОГО ТИПУ В ДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ ПІРОЛІЗУ ЦЕЛЮЛОЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ (ДЕРЕВИНА, ПАПІР)

А.В. Прусський

Проведені експериментальні дослідження чутливості газового пожежного сповіщувача з напівпровідниковим датчиком спіралевидного типу, що свідчать про кращі технічні характеристики запропонованого автором сповіщувача для виявлення початкової стадії процесу горіння целюлозовісних матеріалів у порівнянні з аналогічними зразками.

Ключові слова: продукти горіння, пожежа, пожежні сповіщувачі, целюлозовісні матеріали, термічне розкладання (тління), газовий пожежний сповіщувач, напівпровідниковий датчик, раннє виявлення пожежі, виявлення спалаху, чадний газ (CO).

RESEARCH OF SENSITIVITY OF THE GAS FIRE DETECTOR WITH THE SEMI-CONDUCTOR GAGE OF HELICOID TYPE IN A DYNAMIC MODE OF PYROLYSIS OF CELLULOSES MATERIALS (WOOD, PAPER)

A.V. Prusskiy

Pilot researches of sensitivity of the gas fire detector with the semi-conductor gage of helicoid type which testify to the best technical characteristics of the fire detector offered by the author for identification of an initial stage of process of burning of celluloses materials in comparison with similar samples are conducted.

Keywords: products of burning, fire, fire detector, celluloses materials, thermal decomposition (decay), gas fire извещатель, semiconductor sensor, early discovery of fire, exposure of fire, carbon monoxide (CO)