

3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 37 с.
4. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Х.: Изд-во “Форт”, 2003. – 264 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. Введ. 01.07.92. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с.
6. ДСТУ 3433-96. Надежность техники. Модели отказов. Основные положения. Введ. 01.01.99. – Киев: Госстандарт Украины, 1998. – 42 с.
7. Стрельников В.П. Оценка остаточного ресурса на основе измерения диагностических параметров // Системотехніка. – 2003. - № 1. – с. 25-34.
8. ГОСТ 16442-80. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией. Технические условия. Введ. 01.01.82. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 22 с.
9. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. - М.: Высшая школа, 1999. - 576 с.

## УДК 614.8

*Пруський А.В., ад'юнкт, УЦЗУ,  
Калугін В.Д., д-р хім. наук, проф., УЦЗУ*

### **ГАЗОВІ ПОЖЕЖНІ СПОВІЩУВАЧІ НА БАЗІ НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРІВ. ПИТАННЯ ХИБНИХ СПРАЦЮВАНЬ**

Проведено обґрунтування актуальності використання напівпровідникового датчика (НПД) у газовому пожежному сповіщувачі (ГПС) системи пожежної сигналізації (СПС). На основі аналізу складу повітря та продуктів тління деревини запропоновано для зниження кількості хибних спрацювань ГПС розраховувати технічні характеристики останніх на монооксид вуглецю (СО)

**Постановка проблеми.** Застосування напівпровідникового датчика на основі SnO<sub>2</sub> як джерела первинної інформації системи пожежної сигналізації з метою раннього виявлення пожежі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останні дослідження по газовиділенню при тлінні горючих речовин та матеріалів показали, що поряд із великою кількістю органічних речовин завжди спостерігається присутність діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), монооксиду вуглецю ( $\text{CO}$ ) та водню ( $\text{H}_2$ ). Їх співвідношення у часі та за температурою процесу піролізу однакові для більшості горючих матеріалів, що потребує селективного виміру концентрації цих компонент для виключення хибних спрацювань ГПС на основі НПД від різних побутових матеріалів та явищ (фарби, парфуми, приготування їжі, алкоголь) при нормальних умовах [1].

**Постановка завдання та його вирішення.** Хибні спрацювання ГПС на базі напівпровідникового датчика під час контролю хімічного складу продуктів тління горючих матеріалів (виявлення первинної стадії пожежі): шляхи їх зниження та виключення з метою підвищення ефективності системи пожежної сигналізації.

Пожежі в житловому секторі є найбільш розповсюдженими в усіх країнах світу, не виключенням є і Україна. В середньому 70-80% від загальної кількості пожеж та загорянь в країні припадає на житловий сектор, а матеріальні збитки при цьому становлять 50-60% від загальних та постійно зростають (рис. 1). Більш 90% загальних від пожеж приходить на ці пожежі (рис. 2) [2,3,4,5].

Наведені статистичні дані вражають. Але є можливість їх значного зниження, а при деяких умовах і повного виключення деяких показників. Це стає можливим при використанні ГПС для виявлення ранньої стадії пожежі – тління, газоподібні продукти (несконденсовані гази) якої не можуть бути виявлені при використанні існуючих пожежних сповіщувачів (теплових, димових, на полум'я тощо).

ГПС на основі газових сенсорів мають дуже велику чутливість (низький поріг спрацювання) і тому здатні виявити та попередити розвиток пожежі на самій початковій її стадії – тлімчій деструкції горючого матеріалу - тлінні. Таким чином, при масовому використанні ГПС, в першу чергу в житловому секторі та в суспільних будівлях і спорудах (за даними статистики на ці будівлі припадає максимальна кількість пожеж в державі [2,3,4,5]), можливе значне зменшення кількості пожеж та загиблих на них, а також - матеріальних збитків від пожеж. Але ця проблема повинна вирішуватися в рамках державних програм підвищення рівня пожежної безпеки країни при умові вагомого державного фінансування та контролю.

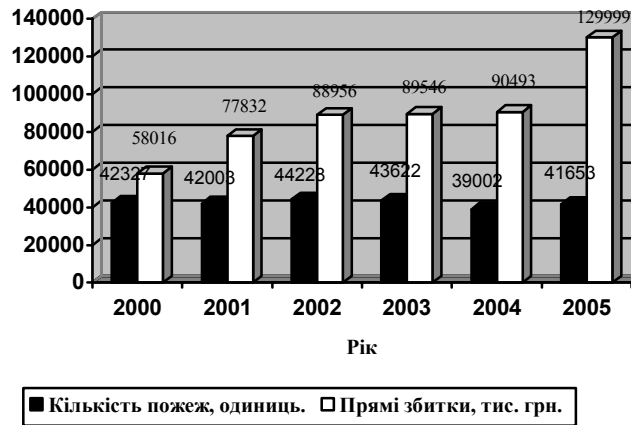


Рис. 1 – Розподіл кількості пожеж та загорянь і матеріальних збитків від них в житловому секторі України по роках

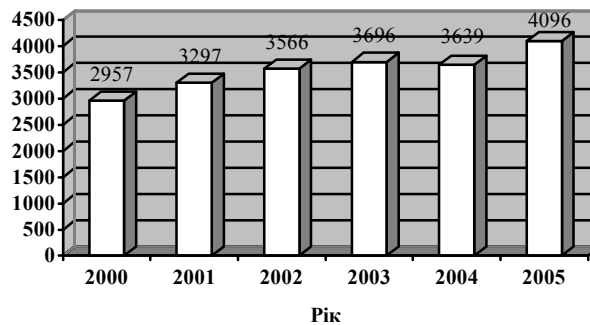


Рис. 2 – Кількість загиблих внаслідок пожеж у житловому секторі України по роках

На початковій стадії пожежі, коли термічно розкладається ще невелика кількість горючої речовини, піролітичних газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , вуглеводнів ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) та ін.) у приміщенні дуже мало. Тому при використанні ГПС для раннього виявлення пожежі газові датчики повинні мати дуже низький поріг спрацювання. При цьому в якості газових сенсорів можуть використовуватися різні за принципом дії датчики (термокаталітичні, термокондуктометричні, електрохімічні, оптичні, напівпровідникові тощо). Однак, як видно з таблиці 1, лише напівпровідникові сенсори мають динамічний діапазон на чотири порядки, що дозволяє одночасно використовувати їх для виявлення продуктів піролізу та контролю зміни концентрацій пожежовибухонебезпечних газів [1].

З таблиці 1 видно, що саме напівпровідникові датчики найбільш відповідають умові мінімального порога спрацювання на

такі продукти піролізу як монооксид та діоксид вуглецю, метан, пропан, водень, а тому максимально ефективні для використання у газових пожежних сповіщувачах системи пожежної сигналізації.

**Таблиця 1 – Пороги спрацювання (концентраційні діапазони) використання сенсорів для виявлення пожежовибухонебезпечних (метан, водень, пропан, пари спиртів) і токсичних газів (хлор, монооксид вуглецю тощо)**

Сенсори	Концентрація компонента, що виявляється, % об.							
	0,00001	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100
Сенсори для горючих газів: $\text{CH}_4$ , $\text{C}_3\text{H}_8$ , $\text{H}_2$ , пари спиртів	Напівпровідникові							
				Термокаталітичні				
				Термокондуктометричні				
Сенсори для токсичних газів: $\text{CO}$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{Cl}_2$	Напівпровідникові					Термокаталітичні		
	Електрохімічні (з попереднім концентруванням)							
				Оптичні, ГЧ-спектру				

Однак, при таких малих концентраціях компонентів повітряного середовища, що потребують виявлення, виникає актуальне та своєчасне питання хибних спрацювань при використанні газових пожежних сповіщувачів на базі будь-яких сенсорів, а в нашому випадку - напівпровідникових. Тому постає задача селективного розподілу сумарного сигналу сповіщувача, що представляє собою більш важчу задачу в експериментальному плані.

Для цього проаналізуємо склад атмосферного повітря при нормальних умовах (на рівні моря при температурі  $15^\circ\text{C}$  та тиску  $101325 \text{ Па}$ ) [7] (див. табл.2):

З таблиці 2 видно, що до складу атмосферного повітря не входить монооксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), дуже малий вміст  $\text{CO}_2$  ( $0,02\%$  об.) та  $\text{H}_2$  ( $0,5 \cdot 10^{-4}\%$  об.).

При цьому необхідно проаналізувати склад газового середовища, що утворюється під час піролізу горючих речовин та метеріалів. З урахуванням даних про те, що в середньому кожен рік біля  $74\%$  пожеж від загальної кількості по державі відбувається в житловому секторі [2,3,4,5], а також - основою горючого навантаження ( $\sim 50\%$  по масі) для цих споруд є дерев'яні вироби різного призначення – тобто деревина [6], необхідно проаналізувати склад продуктів піролізу деревини.

Газові пожежні сповіщувачі на базі напівпровідникових сенсорів.  
Питання хибних спрацювань

Таблиця 2 – Склад атмосферного повітря

Речовина	Молекулярна маса, а.о.м.	Об'ємний вміст, %	Кількість молекул на 1 см <sup>2</sup> вертикального стовбчика
N <sub>2</sub>	28,0134	78,084±0,004	1,678 · 10 <sup>25</sup>
O <sub>2</sub>	31,998	20,946±0,002	4,501 · 10 <sup>24</sup>
Ar	39,948	0,934±0,001	2,007 · 10 <sup>23</sup>
CO <sub>2</sub>	44,009	0,030±0,003	7,09 · 10 <sup>21</sup>
Ne	20,179	(1,818±0,004)10 <sup>-3</sup>	3,89 · 10 <sup>20</sup>
He	4,0026	(5,24±0,004)10 <sup>-4</sup>	1,13 · 10 <sup>20</sup>
CH <sub>4</sub>	16,043	~2,2 · 10 <sup>-4</sup>	-
Kr	83,80	(1,14±0,01)10 <sup>-4</sup>	2,45 · 10 <sup>19</sup>
NO <sub>2</sub>	46,005	(0,5±0,1)10 <sup>-4</sup>	-
H <sub>2</sub>	2,0158	~0,5 · 10 <sup>-4</sup>	-
Xe	131,30	(8,7±0,1)10 <sup>-6</sup>	1,87 · 10 <sup>18</sup>
Озон	-	(0 - 0,07)10 <sup>-4</sup>	-
Сухе повітря	28,966	100,0	2,149 · 10 <sup>25</sup>

Тління деревини – процес термічного розкладання деревини в умовах практичної відсутності кисню при температурі до 450°C з утворенням газоподібних продуктів – монооксиду та діоксиду вуглецю, водню, метану, вуглеводнів тощо, рідких речовин та твердого залишку – вуглецю. Газоподібні та рідкі продукти виділяються у вигляді газоподібної суміші. Тому розглянемо за температурою, як можна розподілити етапи тління та продукти, що при цьому виділяються (див. табл. 3):

Таблиця 3 – Види продуктів, що виділяються, в залежності від температури процесу тління деревини

Температура, °C	Продукти, що виділяються
120 - 150	H <sub>2</sub> O (пара)
150 - 275	CO, CO <sub>2</sub> , оцетова кислота, інші.
275 – 400	CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , ефіри, карбові сполуки, вуглеводні, оцетова кислота (її гомологи), метанол, смола
400 – 450	важка смола, CO <sub>2</sub> , CO, H <sub>2</sub> , вуглеводні

При тлінні деревини в середньому утворюється приблизно 24-25% вуглецевого залишку, 50-55% рідких та 22-23% газоподібних продуктів по об'єму. Газоподібні продукти (гази, що не конденсуються) вміщують діоксид (45-55 % об.) і монооксид (28-32%

об.) вуглецю, водень (1-2% об.), метан (8-21% об.) та інші вуглеводні (1,5-3% об.) [8]. Склад цих газів залежить від породи, якості та вологості деревини, температури тління. Про це свідчать наступні результати експериментальних досліджень (див. табл. 4) [9]:

**Таблиця 4 – Вихід продуктів при тлінні деревини різних пород**

Назва продукту	Вихід продукту в % від абсолютно сухої деревини	
	береза	сосна
Вуглецевий залишок	31,80	37,83
Діоксид вуглецю	9,96	10,13
Монооксид вуглецю	3,32	3,74
Метан	0,54	0,59
Неграничні вуглеводні	0,19	0,23
Оцетова кислота	7,08	3,50
Метиловий спирт	1,60	0,88
Ацетон	0,19	0,18
Метилацетат	0,02	0,01
Смола розчинна	8,15	8,03
Смола відстойна	7,93	11,79
Вода	27,81	22,27

Аналіз наведених даних по тлінню деревини свідчить лише про той факт, що для раннього виявлення пожежі, до появи основних її ознак – значного підвищення середньооб'ємної температури приміщення, появи диму та полум'я, де вступають в дію теплові, димові, пожежні сповіщувачі полум'я та інші види пожежних сповіщувачів, необхідно зафіксувати першу стадію (фазу) пожежі – виявлення основних продуктів тління горючих речовин: CO та CO<sub>2</sub>, а точніше – концентрацію CO, так як на стадії піролізу, про що свідчать результати експериментальних досліджень (рисунок 3) [10], відношення концентрацій ( $[CO]/[CO_2]$ ) на стадії тління деревини (TF2) складає  $\sim 0,4$ , а на стадії горіння деревини (TF1) це відношення знижується до  $\sim 0,01$ , тобто - в 40 раз.

З метою запобігання хибних спрацювань серед газових пожежних сповіщувачів на базі напівпровідникових датчиків необхідно взяти до уваги те, що у складі повітря початково монооксид вуглецю (CO) відсутній (таблиця 2). З цього слідує, що максимально відповідає умові виключення хибних спрацювань ГПС лише один продукт піролізу горючих речовин – монооксид вуглецю (CO). Саме на даний компонент необхідно розраховувати, встановлюва-

ти та тестувати основні технічні характеристики напівпровідникових датчиків газових пожежних сповіщувачів, а саме: поріг спрацювання (% об.) та інерційність спрацювання (с.).

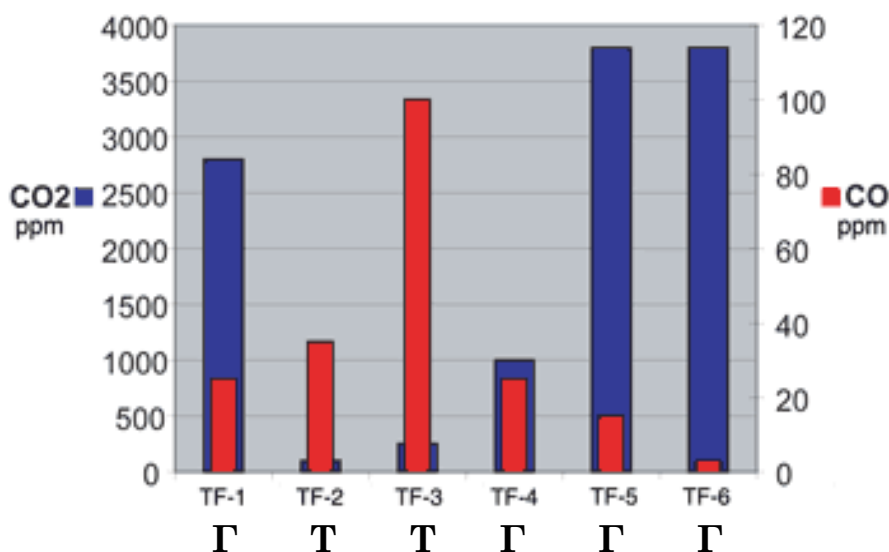


Рис. 3 – Пожежні випробування за європейськими нормами (EN) на CO та CO<sub>2</sub> (TF1 – горіння деревини, TF2 – тління деревини, TF3 – тління хлопку, TF4 - горіння пенополіуретану, TF5 - горіння гептану, TF6 - горіння спирту). Позначення: Т – тління, Г – горіння. (1 ppm=1\*10<sup>-4</sup>% об.)

Необхідно відзначити, що проблемі хибних спрацювань пожежних сповіщувачів присвячена велика кількість експериментальних досліджень та наукових праць у всьому світі, які, як правило, пропонують використання комбінованих пожежних сповіщувачів на базі газового, теплового, димового датчиків тощо. Проведені експериментальні дослідження [10] підтверджують перевагу таких систем первинної інформації перед монодатчиковими за критеріями виявлення пожежі та зниження кількості хибних спрацювань, але повністю не вирішують проблему хибних спрацювань.

**Висновки.** Проведено обґрунтування актуальності та доцільності використання напівпровідникового датчика як чутливого елементу для газового пожежного сповіщувача системи пожежної сигналізації з метою раннього виявлення пожежі - на стадії тління. Показано, що напівпровідниковий багатокомпонентний (на основі SnO<sub>2</sub>) сенсор у порівнянні із іншими типами датчиків (термокондуктометричні, термokatалітичні, термохімічні, оптичні, ІЧ-спектру тощо) має суттєво менший поріг спрацювання та більший діапазон дії за концентрацією.

На основі аналізу складу повітря та продуктів тління деревини (згідно експериментальних даних) запропоновано для зниження кількості хибних спрацювань газового пожежного сповіщувача на базі напівпровідникового сенсора розраховувати технічні характеристики останнього лише на один продукт термічного розкладу (тління) деревини – монооксид вуглецю (СО).

## ЛІТЕРАТУРА

1. А.А. Васильев, И.М. Олихов, А.В. Соколов. Газовые сенсоры для пожарных извещателей. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес, 2005, №2 – С. 24-27.
2. Загальні дані про пожежі та наслідки від них в Україні за 2002 рік. Київ. МНС України.  
<http://mns.gov.ua/firestat/2002.ua.php?m=b4&p=1>.
3. Моніторинг стану з пожежами та їх наслідками в Україні за 2003 рік. Київ. МНС України.  
<http://mns.gov.ua/firestat/2003.ua.php?m=B4&p=1>.
4. Моніторинг стану з пожежами та їх наслідками в Україні за 2004 рік. Київ. МНС України.  
<http://mns.gov.ua/firestat/2004.ua.php?m=B4&p=1>.
5. Якименко О., Климась Р. Стан із пожежами та наслідками від них на Україні за 2005 рік // Пожежна безпека. 2006. №2(77). – С. 32 - 33.
6. Ми Зуи Тхань. Горючая загрузка в современных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. Т. 14, №4 – С. 30 – 37.
7. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К. Кикоина. М., Атомиздат, 1976, 1008 с.
8. Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств: Учебник. - 5-е изд., доп. и перераб. - М.: Лесн. пром-сть, 1988. - 356 с.
9. Технология и оборудование лесохимических производств: Учеб. пособие / Л.В. Гордон, В.В. Фефилов, С.О. Скворцов, Г.Д. Атаманчуков. – 3-е изд., перераб.- М., 1969.- 366 с.
10. Скорфильд С. Мировые тенденции развития рынка пожарных извещателей (техника и технологии: прошлое, настоящее и будущее) // "Системы безопасности", №1(55)-2004.  
([http://ss.groteck.ru/articles2/OPS\\_sign/mirovie\\_tendencii](http://ss.groteck.ru/articles2/OPS_sign/mirovie_tendencii)).