

# МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГАЗОСИГНАЛІЗАТОРІВ НА ОСНОВІ АДСОРБЦІЙНО- ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

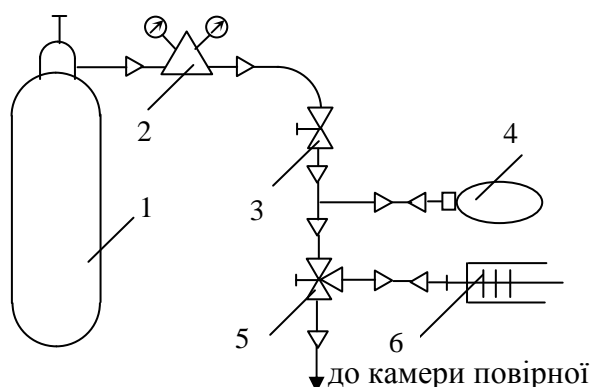
**В.В. Федак, І.І. Туряниця, О.В. Козусенок**

Ужгородський національний університет, 14, вул. Університетська,  
м. Ужгород, 88000, Україна

Приведено газову схему для приготування повірочних газових сумішей, призначених для перевірки газосигналізаторів з сенсорами адсорбційного типу в автоматизованому режимі. Розраховані залежності концентрацій метан-повітряних сумішей від довжини капіляра, його радіуса та часу приготування. Показано на необхідність врахування зміни тиску в камері повірочній від часу приготування газової суміші.

Безпечні умови роботи з горючими та шкідливими речовинами можливе при неперервному контролі стану забрудненості робочої зони та видачі інформації перевищення заданого порогового значення, що передбачає використання газосигналізаторів. Зручні в експлуатації газосигналізатори, в яких використовуються сенсори, що перетворюють величину концентрації газу у пропорційний електричний сигнал. Оскільки всі газосигналізатори відносяться до засобів вимірювання та мають нормовані метрологічні характеристики – поріг та похибки спрацьовування, вони підлягають первинним та періодичним повіркам [1,2]. Використання

в газосигналізаторах простих напівпровідникових сенсорів адсорбційного типу передбачає приготування повірочних газових сумішей (ПГС), одержаних у реальних умовах експлуатації приладів. Заводські, „сухі” ПГС, призначені для перевірки оптичних газосигналізаторів, не можуть забезпечити коректність проведення самої процедури перевірки. Основні вимоги до ПГС призначених для перевірки газосигналізаторів з сенсорами адсорбційного типу розглянуті у [3-7]. Газова схема, яка використовується у вищевказаних роботах для приготування ПГС, приведена на рис. 1.



- 1 - балон газовий;
- 2 - редуктор газовий;
- 3 - двоходовий кран;
- 4 – компенсатор гумовий
- 5 - триходовий кран;
- 6 - дозатор газовий (шприц медичний);

Рис.1. Схема газова для дозування ПГС за методиками [3-7].

Метан з балону 1 через редуктор 2, двоходовий кран 3 поступає у компенсатор гумовий 4. Тиск на виході редуктора встановлюється близьким до нормального атмосферного тиску. Триходовий кран 5

призначений для наповнення дозатора метаном вихідної концентрації та його напуску газу у камеру повірну.

Маючи ряд переваг, вказані методики вимагають певних навичок у створенні

вихідних умов для газу “забруднювача” (атмосферного повітря), забору дозатором заданого об’єму газу, тобто існує можливість виникнення додаткової похибки, обумовленої суб’єктивними факторами.

В даній роботі пропонується проводити приготування газових сумішей у стаціонарному режимі, змішуючи заданий об’єм газу, що пройшов через капіляр з відомим об’ємом повітря камери повірної. Особливістю цієї методики є те, що одержана газова суміш використовується для формування

опорних сигналів, які керують блоком управління приготування концентрації газу, що дозволяє багатократне відтворення заданої концентрації в повірчній камері в автоматизованому режимі.

### Методика одержання газових сумішей заданої концентрації

Для одержання ПГС нами розроблено спеціалізований стенд, схема якого приведена на рис.2.

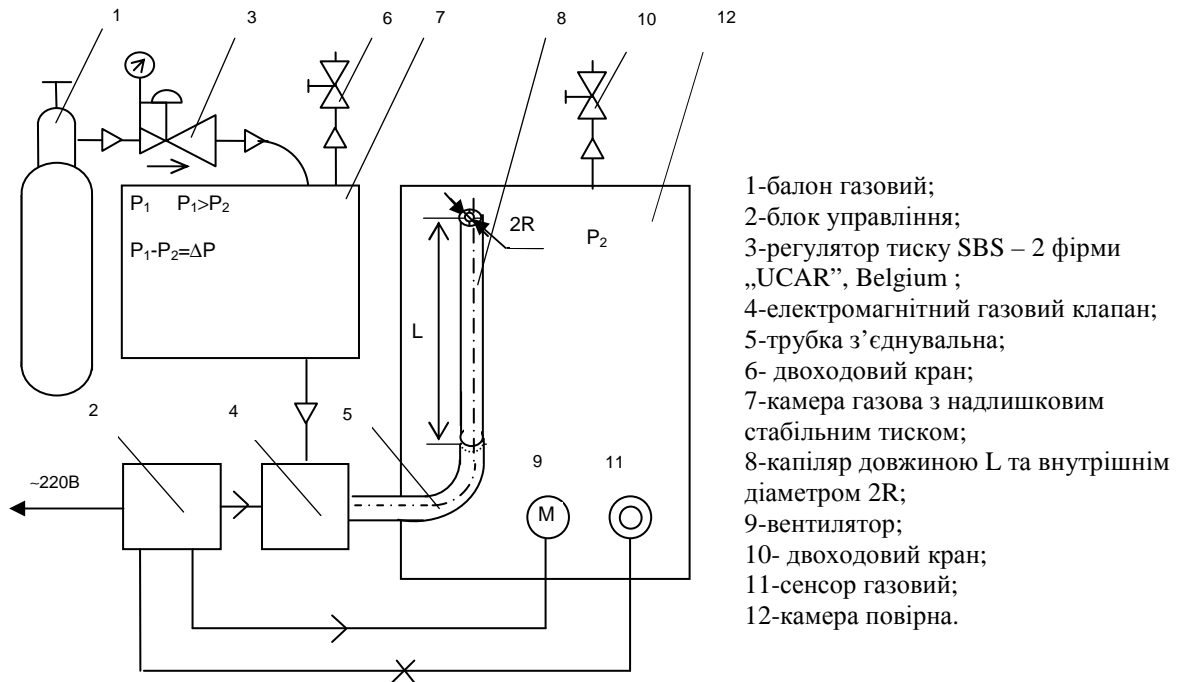


Рис.2. Схема комбінована газова.

У камері газовій 7 створюється надлишковий сталий тиск метану, який подається з балону 1 через регулятор тиску 3. З камери 7 метан через капілярну трубку довжиною  $L$  та внутрішнім радіусом  $R$  поступає у камеру повірну 12 при відкритому електромагнітному газовому клапані 4. Об’єм метану, що надходить у камеру повірну через капіляр, залежить від в’язкості газу, часу, різниці тисків та температури [8]. Задаючи об’єми метану та камери повірної, проводять розрахунок концентрації одержаної газової суміші – ПГС. Після приготування ПГС встановлюють опорну напругу компаратора вбудованого газосигна-

лізатора для подальших приготувань ПГС-ів даної концентрації у автоматизованому режимі. Для зменшення неоднорідності концентрації ПГС у камері передбачений вентилятор 9. Двоходовий кран 10 використовують для видалення газу із камер при зміні типу газу.

Розрахунок концентрації ПГС у камері повірній при пропусканні газу забруднювача через капілярну трубку проводили для **двох випадків**: 1) нехтуємо зміною тиску  $p_0$  внаслідок натікання газу забруднювача (метану); 2) враховуємо зміну тиску  $p_2$  при натіканні газу.

Для розрахунків використаємо спрощену схему камери (рис. 3).

Вихідні дані для розрахунку:  $P_1$  – сталий тиск газу забруднювача у відсікові I;  $P_0$  – початковий тиск газу розчинника (повітря) у камері II;  $V_0$  – „чистий” об’єм камери (без врахування об’єму капіляра,

газосигналізатора);  $R$  – радіус капіляру;  $V_{кан.}$  – об’єм газу забруднювача, що протікає через капіляр протягом часу  $\tau$ ;  $\eta$  – в’язкість газу забруднювача;  $L$  – довжина капіляру.

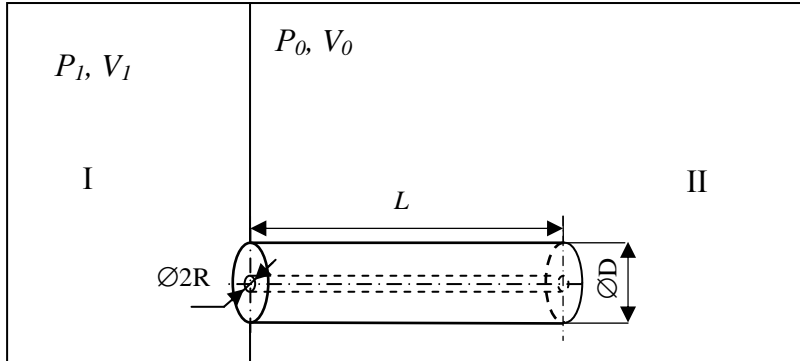


Рис. 3. Спрощена схема генератора повітряних газових сумішей.

Для першого випадку будемо приймати  $\Delta p = p_1 - p_0 = 0,2 \text{ атм}$ , є сталим, а для другого  $\Delta p = 0,2 \text{ атм}$  при  $\tau = 0 \text{ с}$ . Вибір  $\Delta p = 0,2 \text{ атм}$  зумовлений міркуваннями достатності та конструктивних можливостей генератора ПГС.

**Випадок 1** ( $p_0 = const, p_1 = const$ )

Об’єм газу, що пройшов через капіляр радіуса  $R$  і довжиною  $L$  при сталій різниці тисків на його вході і виході визначається за формулою Пуазейля [8]:

$$V_{КАП} = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_0) \cdot \tau}{8L\eta} \quad (1)$$

Проведені розрахунки для об’єму газу  $V_{кан.}$ , що проходить через капіляр при радіусах капілярів  $R=0,5 \text{ мм}$  та  $1,0 \text{ мм}$  та часові протікання метану  $\tau=100 \text{ с}$  від довжини капіляру  $L$ .

За одержаними результатами концентрація газової суміші визначається як:

$$C_{ГС} = \frac{V_{КАП}}{V_0} \cdot 100\% \text{ об. дол.} \quad (2)$$

Розраховані значення концентрацій метан-повітряної суміші від довжини капіляра приведені на рис. 4.

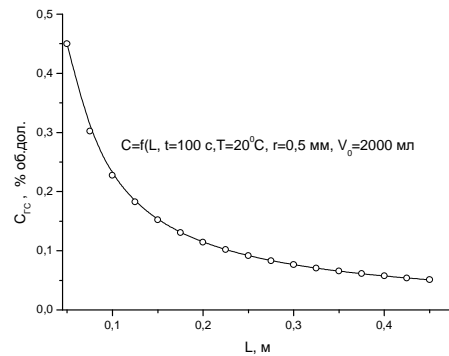


Рис. 4. Залежність концентрації метан – повітряної суміші від довжини капіляру.

**Випадок 2**

( $p_2 = p_0 + \Delta p(\tau), p_1 = const$ )

Поява у другому випадку  $\Delta p(t)$  пов’язана з необхідністю врахування збільшення тиску у камері при незмінному її об’єму. Тому,

$$\Delta p(t) = \frac{\Delta V(\tau)}{V_0} \cdot p_0, \quad (3)$$

або

$$p_2 = p_0 + \frac{\Delta V(\tau)}{V_0} \cdot p_0 = p_0 \left( 1 + \frac{\Delta V(\tau)}{V_0} \right) \quad (4)$$

Підставивши (4) у (1), одержуємо:

$$V_{КАП} = \frac{\pi R^4}{8L\eta} \left[ p_1 - p_0 \left( 1 + \frac{V_{КАП}}{V_0} \right) \right] \cdot \tau \quad (5)$$

Враховавши, що  $V_{КАП} \equiv \Delta V(t)$  у момент часу натікання газу  $t$ , перетворимо рівняння (5) наступним чином:

$$V_{КАП} = A \cdot \left[ p_1 - p_0 \left( 1 + \frac{V_{КАП}}{V_0} \right) \right] \cdot \tau, \quad (6)$$

де  $A = \frac{\pi R^4}{8L\eta}$ . Після нескладних перетворень рівняння (6), одержимо:

$$V_{КАП} = \frac{A \cdot V_0 \cdot (p_1 - p_0) \cdot \tau}{V_0 + A \cdot p_0 \cdot \tau} \quad (7)$$

На рис. 5 приведені розраховані залежності концентрації ПГС від довжини капіляра з врахування зміни тиску в камері.

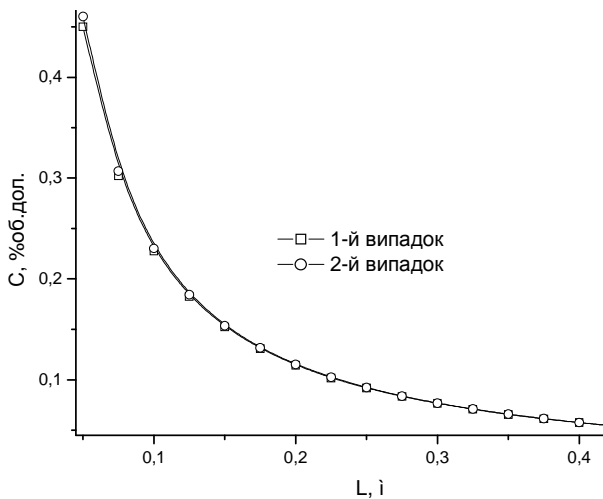


Рис.5. Залежності концентрації метан-повітряних сумішей, одержаних за допомогою капіляру радіусом 0,5мм протягом 100с, від довжини капілярів для обох випадків.

Аналіз результатів показує на незначну різницю в концентраціях одержаних сумішей для обох випадків при приготуванні ПГС малих концентрацій.

Однак, як показали розрахунки, при приготуванні ПГС порівняно більших концентрацій спостерігається відхилення в їх значеннях для першого і другого випадків. Залежність концентрації ПГС від часу напускання для обох випадків приведено на рис. 6 ( $R=0,5$  мм,  $L= 0,15$  м.).

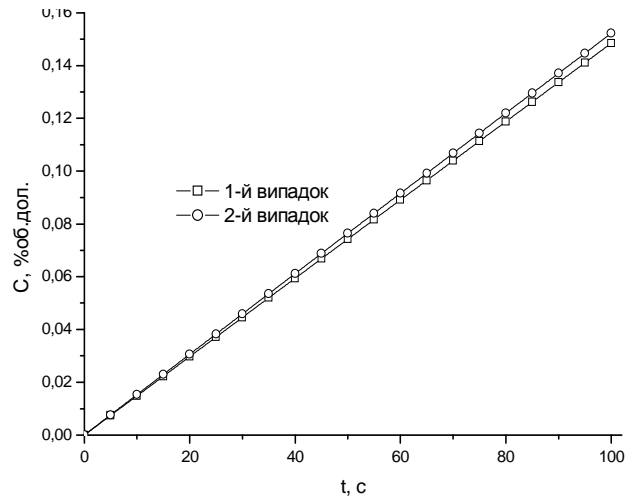


Рис. 6. Концентраційні залежності від часу напускання газу для капілярів довжиною 0,15м та радіусами 0,5 мм, при температурі  $t=20^{\circ}\text{C}$  та в'язкості  $\eta_{20}=1,08\text{П}$  та початковим перепадом тиску 0,2атм.

В процесі повірки може змінюватись температура оточуючого середовища. Це приводить до зміни в'язкості газів –  $\eta$ .

Згідно кінетичної теорії газів, в'язкість у першому наближенні, пропорційна кореню квадратному із абсолютної температури.

Кращу узгодженість із експериментом дає рівняння Сезерленда [9], в якій

$$\eta = \eta_0 \sqrt{\frac{T}{T_0}} \cdot \frac{1 + \frac{T}{T_0}}{1 + \frac{C}{T}}, \quad (9)$$

де:  $\eta_0$  – в'язкість при температурі  $T_0$ ;  $C$  – постійна Сезерленда, стала для температур від 20 до  $100^{\circ}\text{C}$ ;  $T(K)$  – температура, для якої визначають в'язкість газу.

На рис. 7 приведена температурна залежність в'язкості для метану, розрахованої згідно (9) для температурного діапазону  $20_{-5}^{+10}\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для вказаного температурного інтервалу вона змінюється у межах 5,75%, що необхідно враховувати при точному завданні програми приготування ПГС.

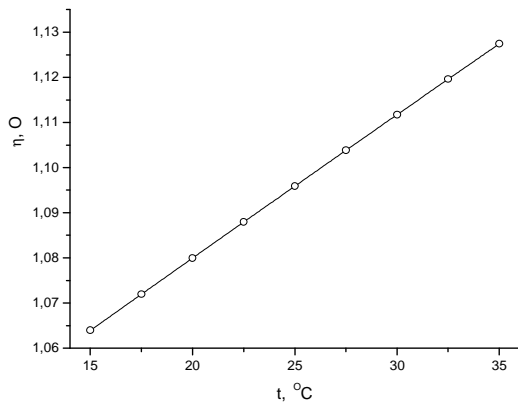


Рис.7. Температурна залежність в'язкості метану.

У таблиці представлені часові залежності зміни концентрації метан – повітряної суміші для температурного діапазону 15÷35°C, розраховані для другого варіанту їх приготування.

Приведені таблиці необхідно використовувати при виборі параметрів капіляру та часів натікання метану для одержання заданої концентрації ПГС.

**Таблиця.** Часові залежності зміни концентрації метан – повітряної суміші для температурного діапазону 15÷35°C розраховані з врахуванням зміни тиску при натіканні метану у камеру (r=0,5мм)

τ, с	C(r=0,5мм, L=0,15м, ΔP=0,2атм), % об.дол.						
	t=15°C	t=17,5°C	t=20°C	t=22,5°C	t=25°C	t=27,5°C	t=30°C
0	0	0	0	0	0	0	0
5	0,007759	0,007701	0,007644	0,007587	0,007532	0,007478	0,007425
10	0,015511	0,015395	0,015281	0,015169	0,015059	0,014951	0,014845
15	0,023258	0,023084	0,022913	0,022745	0,022580	0,022418	0,022259
20	0,030999	0,030767	0,030539	0,030315	0,030096	0,029880	0,029668
25	0,038733	0,038444	0,038159	0,037880	0,037606	0,037336	0,037072
30	0,046462	0,046115	0,045774	0,045439	0,045110	0,044787	0,044469
35	0,054185	0,053780	0,053382	0,052992	0,052608	0,052232	0,051862
40	0,061901	0,061439	0,060985	0,060539	0,060101	0,059671	0,059249
45	0,069612	0,069092	0,068582	0,068081	0,067589	0,067105	0,066630
50	0,077317	0,076740	0,076173	0,075617	0,075070	0,074533	0,074006
55	0,085016	0,084381	0,083758	0,083147	0,082546	0,081956	0,081376
60	0,092708	0,092017	0,091338	0,090671	0,090017	0,089373	0,088741
65	0,100395	0,099647	0,098912	0,098190	0,097481	0,096785	0,096101
70	0,108076	0,107271	0,106480	0,105703	0,104941	0,104191	0,103455
75	0,115751	0,114889	0,114042	0,113211	0,112394	0,111592	0,110804
80	0,123421	0,122501	0,121599	0,120713	0,119842	0,118987	0,118147
85	0,131084	0,130108	0,129150	0,128209	0,127285	0,126377	0,125485
90	0,138741	0,137709	0,136695	0,135700	0,134722	0,133761	0,132817
95	0,146393	0,145304	0,144234	0,143184	0,142153	0,141140	0,140144
100	0,154038	0,152893	0,151768	0,150664	0,149579	0,148513	0,147466

**Оцінка похибки приготування концентрації метан повітряної газової суміші.**

Концентрація ПГС згідно з запропонованою методикою безносе-

редньо не може бути виміряна в процесі приготування. Оцінка похибки визначення концентрації ПГС здійснена за методикою обробки результатів непрямих вимірювань за формулою (10):

$$\frac{\Delta C}{C} = \sqrt{\left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial P_1} \Delta P_1 \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial P_0} \Delta P_0 \right]^2 + \left[ \frac{\partial(\ln V)}{\partial t} \Delta t \right]^2} = \sqrt{\left( \frac{\Delta P_1}{P_1 - P_0} \right)^2 + \left( \frac{\Delta P_0}{P_1 - P_0} \right)^2 + \left( \frac{\Delta t}{t} \left( 1 - \frac{AP_0}{V_0 + AP_0} \right) \right)^2}, \quad (10)$$

де при  $t=100\text{с}$ ,  $L=0,15\text{м}$ ,  $\eta=1,08\text{П}$ ,  
 $P_1=1,2\text{атм.}$ ,  $P_0=1,0\text{атм.}$ ,  $\Delta t=0,3\text{с}$ ,

$\Delta P_1=0,01\text{атм.}$ ,  $\Delta P_0=0,01\text{атм.}$ , одержано  
що  $\frac{\Delta V}{V}=8\%$ .

### Література

1. ДСТУ 2681-94 ДСВ. Метрологія. Терміни та визначення. - К.: Держстандарт України, 1994. - 68 с.

2. ДСТУ 3377-95. Сигналізатори горючих газів і парів термохімічні: загальні технічні вимоги. - К.: Держстандарт України, 1997.

3. Федак В.В., Дудич І.І., Тютюнников С.В., Чіпєв Ф.Ф. Метрологічне забезпечення адсорбційної газоаналітичної техніки // Матер. Міжнародн. наукової конф. "Системні методи управління та метрологічного забезпечення виробництва". Спец. вип. журн. "Наук. Вісник УжНУ", 2001. Сер. "Економіка". – Вип. № 7, С. 154-156.

4. Федак В.В., Дудич І.І., Чіпєв Ф.Ф. Метрологічне забезпечення газосигналізатора метану ГМ-01 // В наук. техн. зб.: "Проблеми економічного та соціального

розвитку регіону і практика наукового експерименту". Київ-Ужгород-Ніредьгаза, 2000. – вип. № 16, С. 206-210.

5. Fedák V., Harsányi G, Tyutyunnikov S. Adsorpció gázanalitikai technika metrológiai biztosítása, Electronet, v.10, N 2, 2001. – P. 8-9.

6. Fedák V., Dudics I, Tyutyunnikov S., Chipev F. "Metrology guarantee of adsorption analytical technique", Sci.Bull. – Uzhgorod Univ. – v. 7, 2001. – P. 14-15.

7. Dudich I., Buturlakin A., Tyutyunnikov S., Chipev F.: "The metrology guarantee for gasanalytic technique: optimization of technical means", Sci.Bull. C., v. XV, part IV, Baia Mare, 2001, P. 69-74.

8. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. Ред. В.К. Тартаковский. – Киев: Наук. думка, 1989. – 864 с.

9. Эберт Г. Краткий справочник по физике. – М.: Физматгиз, 1963. – 552 с.

## METROLOGEE GUARANTEE FOR GAS-SIGNALLING (INDICATOR) BASED ON ADSORPTION SENSITIVE ELEMENTS

**V.V. Fedak, I.I. Turianytsia, O.V. Kozusenok**

Uzhhorod National University, 14 Universitetskaya str,  
Uzhhorod, 88000, Ukraine

The gas scheme for a marking of verify gas compounds has been reported. The verify gas compounds are designed to test of signaling indicators with adsorption sensors at automatic. Dependences of concentration of methane-air compounds on a capillary length, a radius and preparation time, were calculated. It is necessary to take account change of test chamber pressure with preparation time of gas compound.