

# Дослідження чутливості вимірювальної комірки з тепловим чутливим елементом

О.В. Макар<sup>1</sup>, О.В. Кріль<sup>1</sup>

*Анотація* – The report discusses the results of simulation the measurement cell with a heat sensitive element.

*Ключові слова* – Тепловий чутливий елемент, тепла вимірювальна комірка.

## I. ВСТУП

Вимірювальні комірки (ВК) з тепловим чутливим елементом (ТЧЕ) широко застосовуються в газоаналітичній техніці, для вимірювання складу газових сумішей. Розширені функціональні можливості мають протічні вимірювальні з ТЧЕ, які сприймають теплофізичні (теплопровідність і теплоємність) та механічні (витрата, густина і в'язкість) параметри аналізованого середовища і можуть застосовуватися для побудови газоаналізаторів з комбінованими методами вимірювання.

## II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВК з ТЧЕ, ТА ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліджувалась протічна ВК з ТЧЕ, конструкція якої зображена на рис.1.

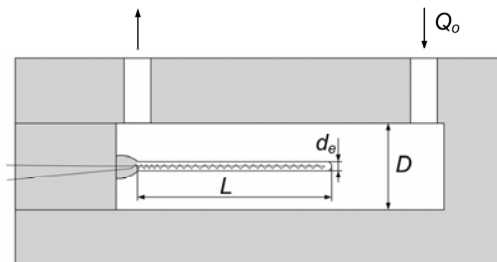


Рис.1. Конструкція вимірювальної комірки з тепловим чутливим елементом.

ТЧЕ з платиногового мікропроводу закріплений коаксіально по центру комірки, нагрітий струмом до температури 90 °С, покритий склом для захисту від можливих каталітичних реакцій. Для чистих аргону, азоту з різними значеннями витрат зняті експериментальні дані, на основі яких одержані залежності для статичних характеристик ВК з ТЧЕ, для режимів роботи з постійним значенням струму через ТЧЕ - I=const (1) і для режиму роботи з постійною температурою ТЧЕ - T=const (2):

$$R_i = \frac{K_i \cdot (T_0 - 1/\alpha - T_2)}{1 - \frac{K_i}{\alpha \cdot R_0}}, \quad (1)$$

$$I_t = \sqrt{K_t \cdot \frac{T_1 - T_2}{R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_1 - T_0))}}, \quad (2)$$

$$K_i = \frac{1}{I^2} \cdot \left[ \pi \cdot L \cdot \lambda \cdot \left[ A + B \cdot \frac{4 \cdot d_e \cdot Q_0 \cdot \rho \cdot C_p}{\pi \cdot (D^2 - d_e^2) \cdot \lambda} \right] + \psi \right], \quad (3)$$

$$K_t = \pi \cdot L \cdot \lambda \cdot \left[ A + B \cdot \frac{4 \cdot d_e \cdot Q_0 \cdot \rho \cdot C_p}{\pi \cdot (D^2 - d_e^2) \cdot \lambda} \right] + \psi, \quad (4)$$

$$\lambda = \lambda_1 \cdot c_1 + \lambda_2 \cdot (1 - c_1), \quad (5)$$

$$\rho = \rho_1 \cdot c_1 + \rho_2 \cdot (1 - c_1), \quad (6)$$

$$C_{p1} = C_{p1} \cdot c_1 + C_{p2} \cdot (1 - c_1), \quad (7)$$

де:  $R_0$  - опір ТЧЕ при температурі  $T_0$ ;  $\alpha = 385 \cdot 10^{-5}$  1/К - температурний коефіцієнт опору мікропроводу;  $T_2$  - температура газу у вимірювальній комірці, К;  $I$  - струм, що протікає через ЧЕ, А;  $\lambda_1, \lambda_2$ ;  $\rho_1, \rho_2$ ;  $C_{p1}, C_{p2}$  - коефіцієнти теплопровідності; густини; теплоємності, компонентів 1 і 2, відповідно, Вт/(м·К), кг/м<sup>3</sup>, Дж/(кг·К);  $Q_0$  - об'ємна витрата газової суміші, м<sup>3</sup>/с;  $D, d_e$  - діаметри ВК та ТЧЕ, відповідно, м;  $L$  - довжина ТЧЕ, м;  $A, B, \psi$  - коефіцієнти, що визначаються експериментальним шляхом для конкретної конструкції елемента,  $\psi$  має розмірність Вт/К.

Залежності, які описують чутливість ВК з ТЧЕ для режимів роботи I=const (8) і T=const (9), мають вигляд:

$$S_I = \frac{-k_{II} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \cdot (k_4 + k_3)}{\left( I^2 \cdot \alpha \cdot R_0 - \pi \cdot L \cdot \lambda \cdot k_4 - \psi \right)^2 \cdot ((\lambda_1 - \lambda_2) \cdot k_4 + k_3)}, \quad (8)$$

$$S_T = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{k_{IT} \cdot k_4 \cdot \pi \cdot L \cdot \lambda + \psi \cdot (k_{IT} \cdot \pi \cdot L \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \cdot k_4 + k_3)}}, \quad (9)$$

$$k_{II} = R_0 \cdot \alpha \cdot (T_0 - T_2 - 1/\alpha), \quad k_{IT} = \frac{T_1 - T_2}{R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot (T_1 - T_0))},$$

$$k_2 = \frac{4 \cdot B \cdot d \cdot Q_0}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}, \quad k_4 = A + k_2 \cdot \frac{\rho \cdot C_p}{\lambda},$$

$$k_3 = k_2 \cdot \left( C_p \cdot (\rho_1 - \rho_2) + \rho \cdot (C_{p1} - C_{p2}) - \frac{\rho \cdot C_p}{\lambda} \cdot (\lambda_1 - \lambda_2) \right).$$

## III. ВИСНОВОК

Одержані моделі вимірювальних комірок з тепловими чутливими елементами можна використати при розробці газоаналізаторів з комбінованими методами аналізу для енергоощадних технологій.

## СПИСОК ПОСИЛАНЬ

- [1] Горшков Ю. А., Уманський А. С. Измерение теплопроводности газов. - М.: Энергоиздат, 1982. - 224 с.

<sup>1</sup> Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, УКРАЇНА, E-mail: [olehmarkar@ukr.net](mailto:olehmarkar@ukr.net)