

УДК 621.317

Абрамов В.О.,

к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних наук і математики Київського університету ім. Б. Грінченка, м. Київ, Україна

Бушма О.В.,

д.т.н., професор кафедри комп'ютерних наук і математики Київського університету ім. Б. Грінченка, м. Київ, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ В СЕРЕДОВИЩІ МОНІТОРИНГУ

Промислові системи моніторингу стану технологічних об'єктів для контролю концентрації компонентів газової суміші зазвичай використовують кілька селективних давачів, налаштованих на певний газ. Але рівень селективності промислових сенсорів часто виявляється дуже невисоким. Найпопулярніші давачі, що застосовуються, реагують водночас на кілька газів, але з різною чутливістю [1, 2]. Тому при моніторингу складу газової суміші сигнал давача є суперпозицією вкладів всіх її компонентів, що є в навколишньому середовищі. Це спотворює результати вимірювання концентрації основного газу, який контролюється системою.

У роботі запропоновано метод обробки результатів вимірювання, який підвищує селективність і достовірність визначення концентрації компонентів газової суміші в середовищі моніторингу.

На рисунку наведено приклад характеристик поширеного газового давача MQ-135 [3].

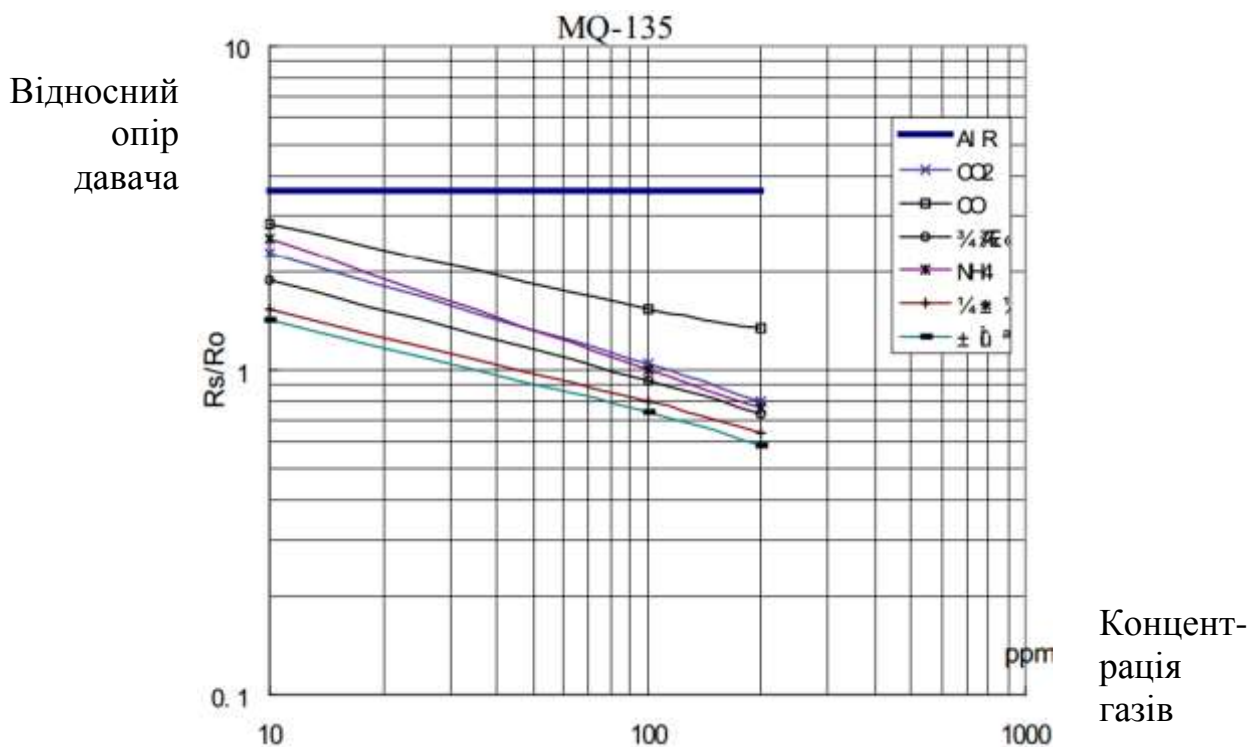


Рис.1 Типові характеристики давача вуглекислого газу MQ-135

Давач MQ-135 є резистивним, а його характеристики є залежностями відносного опору  $R_s/R_o$  чутливого елемента від концентрації відповідного газу. Значення  $R_s/R_o$  визначається як величина опору  $R_s$  сенсора під впливом газу, віднесена до опору  $R_o$  у вихідному стані без впливу газової суміші. Дія всіх газів підсумовується, тому визначити концентрацію кожного газу одним давачем неможливо. Однак за наявності кількох сенсорів з різною чутливістю до тих самих компонентів суміші можна визначити концентрацію кожного газу в середовищі моніторингу шляхом відповідної математичної обробки.

Очевидно, що сигнал кожного давача формується як результат впливу різних газів на сенсорний елемент. Однак його чутливість буде різною для компонентів газової суміші. Тоді у припущенні адитивного характеру формування сигналу  $D$  від усіх газів у суміші та використанні  $M$  давачів у вимірювальному пристрої, його робота описується системою рівнянь

$$\begin{cases} A_{11} * C_1 + A_{12} * C_2 + \dots + A_{1K} * C_K = D_1, \\ \dots \\ A_{M1} * C_1 + A_{M2} * C_2 + \dots + A_{MK} * C_K = D_M, \end{cases} \quad (1)$$

де  $A_{ij}$  – чутливість  $i$ -го давача до  $j$ -го газу,  $C_j$  – концентрація  $j$ -го газу,  $D_i$  – величина сигналу  $i$ -го давача,  $i=1 \dots M$ ,  $j=1 \dots K$ .

Аналіз характеристик давачів показує наявність суттєвої нелінійності перетворення концентрації відповідного газу в електричний сигнал. Для лінеаризації введемо нові логарифмічні змінні  $P_m$  і  $Q_k$  для сигналів  $m$ -го давача ( $m=1 \dots M$ ) і  $k$ -го газу ( $k=1 \dots K$ ):

$$P_m = \lg(D_m),$$

$$Q_k = \lg(C_k).$$

При такому підході характеристики давача з прийнятною для більшості практичних застосувань точністю ( $\pm 5\%$ ) можна припускати лінійними в типовому робочому діапазоні концентрації газів. Тобто при логарифмічному поданні сигналу можна вважати чутливість давача  $S_{ij}$  постійною величиною. Тоді, виходячи з (1), функціонування вимірювального пристрою описується лінеаризованою системою рівнянь

$$\begin{cases} S_{11} * Q_1 + S_{12} * Q_2 + \dots + S_{1K} * Q_K = P_1, \\ \dots \\ S_{m1} * Q_1 + S_{m2} * Q_2 + \dots + S_{mK} * Q_K = P_m, \\ \dots \\ S_{M1} * Q_1 + S_{M2} * Q_2 + \dots + S_{MK} * Q_K = P_M, \end{cases} \quad (2)$$

де  $S_{ij}$  – чутливість  $i$ -го давача до  $j$ -го газу, концентрація якого представлена у логарифмічних одиницях  $Q_k$ .

Знайшовши розв'язок системи лінійних рівнянь (2), можна визначити концентрацію кожного газу у суміші. Слід зазначити, що для  $K$  газів потрібно

мати не менше  $K$  рівнянь  $i$ , відповідно, вимірювальний пристрій повинен мати не менше  $K$  давачів. Для отримання високого рівня достовірності вимірювання рівняння мають охоплювати всі гази, які ймовірно є в середовищі об'єкта моніторингу, навіть ті, які не є цільовими для системи. Очевидно, що для цього також потрібна відповідна кількість каліброваних давачів. Невиконання такої умови призведе до збільшення похибки вимірювання, породженої наявністю неврахованої складової газової суміші.

Крім того, система (2) має бути визначеною,  $i$ , відповідно, мати лише одне рішення. Для цього необхідно, щоб рівняння не були лінійно залежними. Тобто, всі давачі повинні мати різну чутливість до одних і тих самих газів. Якщо ж два давача мають однакові характеристики, відповідні рівняння будуть лінійно залежними, і одне з них не буде впливати на кінцевий результат розрахунків, що призведе до невизначеності системи рівнянь. У практичних випадках це вирішується на етапі калібрування давачів шляхом виключення ідентичних сенсорів із комплекту, що використовується у вимірювальному пристрої.

Дуже часто у промислових системах моніторингу необхідно контролювати концентрацію одного або максимум 2-3 газів. У цьому випадку теж буде ефективним використання вимірювального пристрою з комплектом з  $M$  давачів ( $M > K$ ), що підвищує точність розрахунків і може бути гарантією високої достовірності отриманих результатів. Найбільш ефективне технічне рішення такого вимірювального пристрою реалізується на основі інтегрованих сенсорів, які містять первинний вимірювальний перетворювач та цифровий блок обробки сигналів у єдиному конструктивному оформленні або на одному напівпровідниковому кристалі.

Запропонований підхід до побудови системи моніторингу об'єктів різного призначення дає змогу реалізувати ефективні технічні засоби на основі недорогих давачів з подальшою обробкою їх вихідних сигналів. В такий спосіб може бути отримана підвищена достовірність контролю параметрів навколишнього середовища, яка ґрунтується на контрольованому рівні селективності щодо компонентів газової суміші та забезпеченні точності вимірювання концентрації цільового газу шляхом використання необхідної кількості давачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Korotcenkov G. Handbook of Gas Sensor Materials. Properties, Advantages and Shortcomings for Applications. Springer New York, NY, 2013. 442 p.
2. Air Quality Gas Sensor. Model MQ135. Manual. Version: 1.4. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd.. Zhengzho, 2015. 7 p.
3. MQ-135 – Gas Sensor for Air Quality. URL: <https://components101.com/sensors/mq135-gas-sensor-for-air-quality>.