

## СТРУКТУРНІ СХЕМИ ГАЗОАНАЛІТИЧНИХ СИСТЕМ

© Приміський В. П., 2000

Науково-дослідний інститут аналітичного приладобудування, м. Київ

**Розглянуті принципи побудови структурних схем багатоканальних газоаналітичних систем. Проаналізовані методи обробки вимірювальної інформації і технічні вимоги до газоаналітичних систем.**

Однією з актуальних екологічних і технічних проблем сучасності є контроль викидів токсичних і вибухонебезпечних газів в різних галузях виробництва.

Процеси, які пов'язані з контролем багатоконпонентних газових сумішей мають місце в нафтовій та газовій галузях, металургії, енергетиці, транспорті.

Так, наприклад, вимір концентрації CO і CO<sub>2</sub> в доменному і конверторному виробництві дозволяє автоматично і швидко визначати кількість вуглецю в сталі та чавуні і тим самим визначати їх якість. Автоматичне регулювання співвідношення газове пальне-кисень в енергетичних установках (котельних, бойлерних) за результатами виміру концентрації CO, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> в зоні спалювання дозволяє оптимізувати процес спалювання і знизити рівень споживання газу. Екологічний моніторинг відпрацьованих газів дизельних установок на газоперекачувальних станціях, викидах транспорту (автомобілі, тепловози, літаки, морські і річкові судна) суттєво поліпшує стан довкілля з одного боку, а з іншого, особливо, що стосується транспортних засобів, є важливою характеристикою їх технічної якості. Широко відомі випадки заборони багатьма розвиненими країнами руху зарубіжних транспортних засобів по території своїх країн, якщо ці засоби не відповідають екологічним вимогам.

Все вищезгадане викликає необхідність швидкого автоматичного аналізу багатоконпонентних газових сумішей в різних виробничих процесах.

Одночасно аналіз відпрацьованих газів (ВП) дозволяє своєчасно визначити недопустимі співвідношення концентрацій газів, які самі по собі є допустимими, а в взаємодії з іншими газами можуть викликати появу вибухонебезпечних сумішей, утворити ще більш токсичні компоненти.

В багатьох випадках вимір концентрації компонентів суміші дозволяє виявити відхилення в ході різноманітних технологічних процесів.

Багатоканальні газоаналітичні системи (ГАС) утворюють особливий клас комплексних засобів

вимірювальної техніки і відрізняються від інших вимірювальних систем більшою складністю та багатифункціональністю. Це пояснюється тим, що багатоконпонентні газові суміші, які є об'єктом вимірювання ГАС, характеризуються мінімальною апріорною інформацією, тобто малою сумою відомостей, які є в розпорядженні оператора перед початком вимірів. Процес одержання вимірювальної інформації від об'єктів такого роду носить характер наукових досліджень.

При розробці і випуску ГАС значна увага приділяється структурно-схемній побудові, яка забезпечує всі необхідні техніко-економічні показники (похибка вимірювань, швидкодія, надійність, економічність і т.п.) системи. Аналіз більшості відомих ГАС показав, що можливо виділити три основні структурні схеми побудови системи.

1. ГАС з послідовним з'єднанням окремих газоаналізаторів, які вимірюють концентрацію одного компоненту.

2. ГАС з паралельно-послідовними вимірювальними каналами.

3. ГАС з паралельними вимірювальними каналами.

В першому випадку (рис. 1) ГАС представляє собою послідовно з'єднані між собою  $n$ -газоаналізаторів. Газова багатоконпонентна суміш  $X_i$  перед подачею на газоаналізатори фільтрується, регулюється по тиску і швидкості газового потоку, осушується в блоці підготовки газової проби (БПП). Кожен з газоаналізаторів послідовного ланцюга реалізує відповідний метод газового аналізу (інфрачервоної спектроскопії — вимір CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>; термокондуктометрії — H<sub>2</sub>; термомагнітного - O<sub>2</sub>; хемільюмінісцентного — NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>; флуорисцентного — SO<sub>2</sub> і т.п.) Електричний сигнал  $V_i$  з кожного з газоаналізаторів, пропорційний відповідній концентрації  $X_i$  одного з компонентів газу підсилюється, масштабується, перетворюється в цифровий код в пристрої обробки інформації (ПОІ) і виводиться на реєструючий прилад (РП). Основною перевагою такої структури ГАС є її простота, незна-

чні апаратні витрати. Головний недолік — низька швидкодія. Послідовне з'єднання газоаналізаторів приводить до значного часу проходження газової проби і суттєвого запізнення сигналу на виході газоаналізаторів в кінці ланцюга. В зв'язку з тим, що кожен газоаналізатор реалізує відповідний метод газового аналізу, виникають значні труднощі в досягненні однакових вимог до характеристик газової проби (присутності вологи, пилу, тиску, витрат, швидкості потоку тощо) для всіх газоаналізаторів. Це примушує ставити на вхід кожного з газоаналізаторів автономні БППП, що приводить до ще більшого транспортного запізнення проби при проходженні по ланцюгу газоаналізаторів і тим самим погіршує швидкодю.

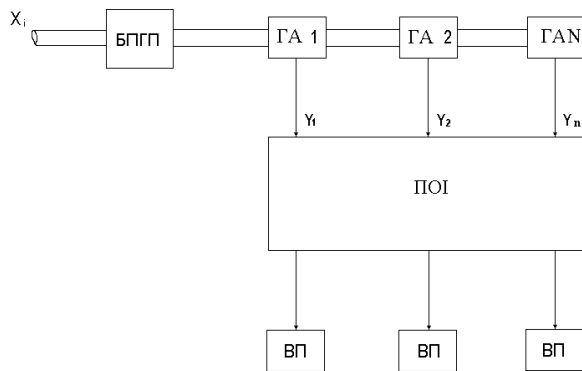


Рис. 1. Газоаналітична система з послідовним з'єднанням ГА.

В ГАС з послідовно-паралельною структурою (рис. 2) є один канал передачі вимірювальної інформації, до якого по черзі через комутатор, підключаються окремі газоаналізатори. По такій структурі найчастіше будують автоматичні системи контролю забруднення повітря (АС КЗП) в санітарній зоні підприємств, окремих районів великих міст [1]. АС КЗП складається з ряду контрольно-вимірювальних станцій (КВС), що встановлені в різних місцях підприємства (міста). Кожна КВС складається з  $n$  газоаналізаторів ГА1 - ГАН, що вимірюють "свій" газ. Масштабування і підсилення сигналу з кожного з газоаналізаторів виконується масштабними перетворювачами (МП). Комутатор  $K_1$  послідовно підключає МП до аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Комутатор  $K_2$  послідовно з'єднує вихід АЦП з пристроями пам'яті дискретного типу (ПП), в яких накопичується інформація від кожного з газоаналізаторів. По команді від інформаційно-диспетчерського центру (ІДЦ) проходить послідовне опитування пам'яті ПП кожного газоаналізатора за допомогою пристрою виводу (ПВ) і через апаратуру передачі інформації (АПІ) результати виміру надходять до ІДЦ.

Головним недоліком послідовно-паралельної структури є низька надійність (вихід з ладу каналу зв'язку приводить до зупинки всієї системи). Відносно низька швидкодія, яка пов'язана з періодичною передачею інформації про концентрації аналізованих компонентів не дозволяє використовувати таку структуру побудови для аналізу динамічних швидкозмінних газових сумішей. Така структура найчастіше використовується для екологічного моніторингу атмосферного повітря, де процес зміни концентрації газів повільний. Для контролю газових сумішей в технологічних виробничих процесах такі структури не застосовують.

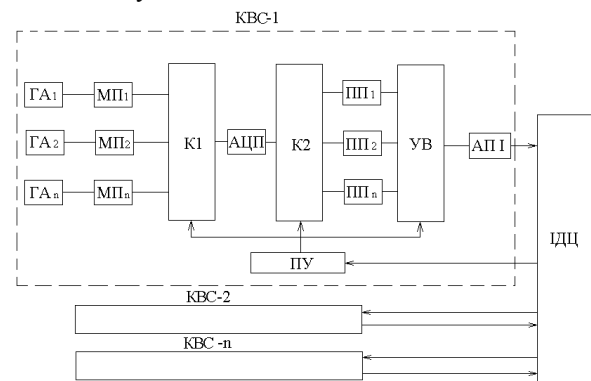


Рис. 2. Газоаналітична система з послідовно-паралельною структурою.

Найбільше розповсюдження в даний час мають ГАС з паралельними вимірювальними каналами [2, 3]. Такі ГАС представляють собою паралельний набір вимірювальних каналів, кожен з яких має окремі ГА, ПОІ, ВП. Кожен з каналів ГАС визначає концентрацію одного компонента в суміші. В залежності від вимог до якості газової проби, яка надходить до газоаналізаторів, можна використовувати як один БППП на всі вимірювальні канали, так і окремі БППП на кожний канал. В порівнянні з вищезгаданими структурними схемами паралельна структура потребує більше апаратних витрат. Однак паралельна структура є більш надійною і, саме головне, має підвищену швидкодю, що дозволяє аналізувати газові суміші з динамічною зміною концентрації газів.

Розглянемо більш детально алгоритм роботи і характерні особливості паралельної структури ГАС. Як відомо, вихідний сигнал газоаналізаторів в більшості випадків є функцією багатьох змінних. Це пов'язано з неселективністю багатьох методів газового аналізу. В загальному випадку автоматичний аналіз газових сумішей зводиться до вирішення системи таких  $n$ -незалежних рівнянь:

$$\begin{cases} Y_1 = f_1(X_1, X_2, \dots, X_n); \\ Y_2 = f_2(X_2, X_1, X_3, \dots, X_n); \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & \vdots \\ & Y_n = f_n(X_n, X_1, X_2, \dots, X_n), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $Y_1 \dots Y_n$  - вихідні сигнали відповідних газоаналізаторів, інтегрально залежних від концентрації  $X_1 \dots X_n$ , які вимірюються.

Таким чином, до складу ГАС повинні входити обчислювальні пристрої, характер роботи яких визначається описом функціональної залежності вихідного сигналу від концентрації і математичною формою цих залежностей.

В процесі розв'язування системи рівнянь (1) можливо отримати такі два види рівнянь:

$$\begin{cases} X_1 = \psi_1(Y_1, X_2, \dots, X_n); \\ X_2 = \psi_2(Y_2, X_1, X_3, \dots, X_n); \\ \dots \\ X_{n-1} = \psi_{n-1}(Y_{n-1}, X_1, X_2, \dots, X_n); \\ X_n = 1 - \sum_{i=1}^{n-1} X_i; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} X_1 = F_1(Y_1, Y_2, \dots, Y_n); \\ X_2 = F_2(Y_1, Y_2, \dots, Y_n); \\ \dots \\ X_n = F_n(Y_1, Y_2, \dots, Y_n). \end{cases} \quad (3)$$

Рівняння системи (2) повинні розв'язуватися сумісно, а рівняння системи (3) можуть розв'язуватися окремо одне від одного. В першому випадку аналіз багатоконпонентної газової суміші є сумісно автоматизоване вимірювання, в другому випадку - це ряд (по числу рівнянь) непрямих вимірювань. Обчислювальний пристрій (ОП) в першому випадку буде більш складним, тому що повинен розв'язувати систему сумісних рівнянь, а в другому — може складатися з окремих блоків. Кожен з цих блоків незалежно один від одного розв'язує одне з рівнянь, що дозволяє складати ОП (рис. 3) по блочно-модульному принципу і забезпечує незалежність їх роботи.

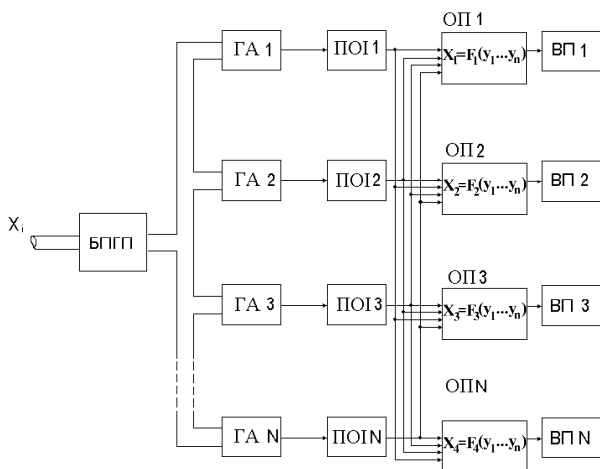


Рис. 3. Паралельна газоаналітична система з автономними обчислювальними пристроями.

На рис. 4 показана структурна схема ГАС, яка вимірює сигнали з газоаналізаторів, інтегрально пов'язаних з вимірювальними концентраціями  $X_1 \dots X_n$ . За допомогою загального ОП розв'язується система (2) і визначаються концентрації  $X_1 \dots X_n$ .

В залежності від складу газової суміші, селективності газоаналізаторів, можливостей ОП, апаратних витрат, умов експлуатації і ремонту для розв'язку систем (2) і (3) вибирається один з методів і відповідний ОП.

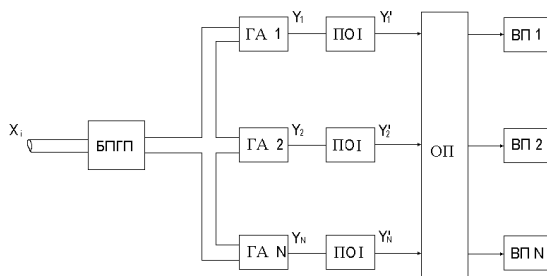


Рис. 4. Паралельна газоаналітична система із загальним ОП.

Одним із видів алгоритму обробки вимірювальної інформації є представлення сукупності концентрацій, що вимірюються ГАС як векторів відповідно вхідних і вихідних сигналів [1]:

$$\begin{aligned} \vec{X} &= (X_j), \quad (j = 1, 2, \dots, n); \\ \vec{Y} &= (Y_i), \quad (i = 1, 2, \dots, n), \end{aligned} \quad (4)$$

де  $\vec{X}$  — вектор концентрації,  $\vec{Y}$  — вектор вихідних сигналів,  $j$  — номер окремого газоаналізатора (ГА). При цьому ГАС можна представити у виді перетворювача, який переводить вектор  $\vec{X}$  у вектор  $\vec{Y}$  за допомогою деякого перетворення, оператор якого позначимо через  $A$ . Тоді

$$\vec{Y} = A(\vec{X}). \quad (5)$$

Завдання полягає в тому, щоб на основі відомих вихідних сигналів (2) визначити концентрацію  $\vec{X}$ , тобто знайти таке перетворення  $B$ , протилежне  $A$ , яке повинно переводити вектор  $\vec{Y}$  в вектор  $\vec{X}$ , тобто

$$\vec{X} = B(\vec{Y}). \quad (6)$$

В пропозиції лінійності перетворень  $A$  та  $B$  вираз (4) можна представити в такому вигляді:

$$(Y_i) = (Y_{i0}) + [a_{ij}] \cdot (X_j), \quad (i = 1, 2, \dots, j), \quad (7)$$

де  $Y_i$  — вектор вихідних сигналів;  $Y_{i0}$  — вектор деяких постійних, які враховують початкові сигнали газоаналізаторів (нульовий зсув);  $a_{ij}$  — матриця

коефіцієнтів перетворення, що характеризують чутливість  $i$ -го газоаналізатора до  $j$ -го компонента;  $X_j$ — вектор концентрацій.

Вираз (7) можна також представити у вигляді лінійної системи рівнянь таким чином:

$$\begin{cases} Y_1 = Y_{10} + \alpha_{11} \cdot X_1 + \alpha_{12} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{1n} \cdot X_n; \\ Y_2 = Y_{20} + \alpha_{21} \cdot X_1 + \alpha_{22} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{2n} \cdot X_n; \\ Y_i = Y_{i0} + \alpha_{i1} \cdot X_1 + \alpha_{i2} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{in} \cdot X_n; \\ Y_j = Y_{j0} + \alpha_{j1} \cdot X_1 + \alpha_{j2} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{jn} \cdot X_n, \end{cases} \quad (8)$$

або в загальному  $Y_i = Y_{i0} + \sum_{j=1}^i \alpha_{ij} \cdot X_j \quad (i = 1, 2, \dots, j)$ .

Для того, щоб знайти  $X_j$  на основі відомих  $Y_i$  необхідно розв'язати систему (3) або (4) відносно  $X_j$ . Проте слід застерегти, що система буде мати єдине рішення тільки у випадку  $j = i$ , тобто коли число вимірюваних газових компонентів буде дорівнювати числу газів в газовій суміші, яка аналізується.

Розглянуті в роботі підходи щодо побудови структурних схем ГАС можуть застосовуватися при проектуванні систем екологічного моніторингу до-

вкілля, контролю режимів технологічних процесів, вимірювальних комплексів для стендових випробувань транспортних засобів [4].

1. Щербань А. Н., Приймак А. В., Копейкин В. И. Автоматизированные системы контроля загрязнения воздуха. — К.: Техника, 1979.
2. Примиский В. Ф. Структурные схемы и методы обработки информации в газоаналитических системах // Измерение, контроль, автоматизация. — 1985. - № 4. - С. 12-18.
3. Примиский В. Ф. Структурные схемы построения газоаналитических систем // Сборник научных трудов ВНИИАП. — К., 1994. - С. 19-24.
4. Румбеица В. А., Примиский В. Ф. Технические схемы и метрологическое обеспечение измерения эмиссий автомобилей с помощью ПЭКА // Тези конф. "Стан та перспективи розвитку метрологічного забезпечення вимірювань складу та властивостей речовин і матеріалів. — К., 1999.