

УДК 543.272.082.5 (088.8)

## МЕТОДОЛОГІЯ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЧНИХ ГАЗОАНАЛІЗАТОРІВ З ТЕСТОВИМ СИГНАЛОМ

© Приміський В. П., 2002

Український НДІ аналітичного приладобудування АТ "Украналіт", м. Київ

**Розглянуто методологію побудови газоаналізаторів з застосуванням тестового сигналу. Наведені залежності дії тестового сигналу на вихідний сигнал газоаналізатора. Проаналізовані можливості тестового сигналу для побудови функціональних схем газоаналізаторів з автоматичною корекцією коефіцієнта передачі газоаналізатора. Сформульовані вимоги до особливостей перехідного процесу.**

Одним з основних недоліків роботи сучасних автоматичних газоаналізаторів є низька метрологічна надійність, обумовлена неселективністю і нестабільністю коефіцієнта передачі первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП), нестабільністю коефіцієнта передачі пристрою обробки інформації, а також недосконалістю метрологічного забезпечення. Неселективність первинних вимірювальних перетворювачів проявляється в тім, що ці перетворювачі реагують не тільки на компоненти, на які вони налагоджені, але і на інші, що знаходяться в багатоконпонентній газовій суміші, що аналізується.

З метою підвищення точності вимірювань доводиться періодично калібрувати газоаналізатори за допомогою дорогих повітряних газових сумішей (ПГС). Дані цих калібрровок вводяться в пристрої обробки інформації (ПОІ), які включені після ПВП і в яких коригується адитивна і мультиплікативна складові похибки вимірювань. Зазначені недоліки створюють суттєві труднощі при розробці, роботі й експлуатації газоаналізаторів, що виражаються в потребі постійної наявності значної кількості ПГС

(їх приготування, атестації, безпечного зберігання), необхідності відключення газоаналізатора від технологічного процесу в період калібрровки, неможливості регулювання коефіцієнта передачі газоаналізатора протягом часу між калібрровками.

Нижче розглядається метод побудови газоаналізаторів, який дозволяє знизити похибки вимірювань газоаналізаторів незалежно від методу газового аналізу завдяки безупинній стабілізації коефіцієнта передачі вимірювального каналу. Це досягається шляхом тестової модуляції концентрації вимірюваного газового компонента в газовій пробі, що аналізується, аналогічним чистим газом. Далі відбувається виділення перемінної складової вихідного сигналу вимірювального каналу, що залежить від амплітуди модуляції концентрації, порівнянням його із сигналом, що модулює, пропорційним ступені модуляції концентрації і, відповідно до результату порівняння, коригування коефіцієнта передачі підсилювача у вимірювальному каналі. Розглянемо функціональну схему автоматичного газоаналізатора з тестовою модуляцією (рис. 1).

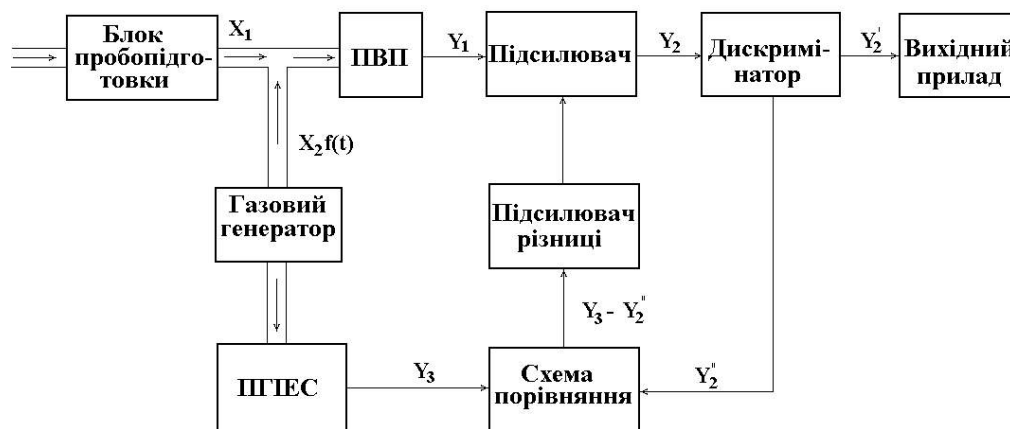


Рис. 1. Структурна схема газоаналізатора з тестовою модуляцією

Аналізована газова суміш, що містить вимірюваний газовий компонент з концентрацією  $X_1$ , з виходу блока пробопідготовки БПО надходить на газовий вхід ПВП, куди з газового генератора (ГГ) періодично надходять також нормовані порції чистого газу аналогічного тому, що вимірюється [1]. Форма газових імпульсів може бути колоколообразною чи прямокутною. Тестовий газовий імпульс газу, що вводиться, стосовно аналізованої газової суміші змінюється за законом  $f(t)$ .

Таким чином, концентрація аналізованого компонента на вході ПВП визначається виразом  $X_1 + X_2 f(t)$ , тобто відбувається модуляція концентрації досліджуваного газового компонента. Вихідний сигнал ПВП має вигляд

$$Y_1 = [X_1 + X_2 f(t) K_1], \quad (1)$$

де  $K_1$  — коефіцієнт передачі ПВП (диференціальна чутливість).

Після підсилення в підсилювачі з коефіцієнтом передачі  $K_2$  вихідний сигнал останнього описується таким співвідношенням:

$$Y_2 = Y_1 K_2 = K_1 K_2 X_1 + K_1 K_2 X_2 f(t) = Y_2' + Y_2'' . \quad (2)$$

В цьому виразі  $Y_2' = K_1 K_2 X_1$  несе вимірювальну інформацію про концентрацію  $X_1$ , а  $Y_2'' = K_1 K_2 X_2 f(t)$  — модуляційна складова, яка залежить від кількості введеного чистого газу. У дискримінаторі, ввімкненому після підсилювача, відбувається поділ цих двох складових. Вихідний прилад вимірює складову  $Y_2' = K_1 K_2 X_1$ , що повільно змінюється і, таким чином, його покази пропорційні вимірювальній концентрації  $X_1$ . Модуляційна складова  $Y_2'' = K_1 K_2 X_2 f(t)$  з дискримінатора надходить на один із входів схеми порівняння.

Газові імпульси з ГГ крім впливу ПВП одночасно діють на перетворювач газового тестового імпульсу в електричний сигнал (ПГЕС), причому цей перетворювач формує електричні сигнали, що є пропорційними копіями газових імпульсів, які подаються на вхід ПВП. Отже сигнал  $X_2 f(t)$ , що надходить на ПГЕС і після перетворення в ньому прийме вигляд

$$Y_3 = K_3 X_2 f(t), \quad (3)$$

де  $K_3$  — коефіцієнт передачі ПГЕС.

Сигнал  $Y_3$  надходить на другий вхід схеми порівняння і порівнюється з  $Y_1$ . Схема порівняння побудована таким чином, що при коефіцієнті передачі вимірювального каналу, рівному номінальному значенню, ці сигнали рівні, тобто  $Y_3 = Y_2''$  або  $K_1 K_2 = K_3$ . Таким чином, у межах статички системи

авторегулювання коефіцієнт передачі вимірювального каналу (комплектна чутливість) підтримується на рівні значень  $K_3$  і може бути високостабільним.

Якщо  $K_1$  чи  $K_2$  зміниться, тобто виникне похибка вимірювань, то порушиться умова  $K_1 K_2 = K_3$ . У цьому випадку на виході системи порівняння сигнал відхилиться від свого встановленого значення, у результаті чого з виходу підсилювача різниці на вхід підсилювача ПОІ надійде корегуючий сигнал, що змінює коефіцієнт підсилення  $K_2$  до значення, при якому  $K_1 K_2 = K_3$ . Таким чином, комплектна чутливість газоаналізатора відновлюється до свого номінального значення. Оскільки вихідний вираз  $Y_2' = X_1 K_1 K_2$  при цьому визначається добутком  $K_1$  і  $K_2$ , то зміну коефіцієнта  $K_1$  до значення  $K_1'$  можна компенсувати відповідною зміною  $K_2 \rightarrow K_2'$ , тобто відбудеться стабілізація коефіцієнта передачі газоаналізатора і тим самим автоматично і безупинно компенсуються похибки вимірювань.

Розглянемо ряд принципових особливостей, які відрізняють методологію застосування тестового модуляційного сигналу в електричних і магнітних вимірах від тестового сигналу в газоаналітичних вимірюваннях. В електричних вимірюваннях загальний сумарний сигнал під час дії тестового сигналу будь-якої тривалості визначається виразом

$$X_{\text{сум}} = X_1 + \Delta X_1, \quad (4)$$

де  $X_1$  — вимірювальна величина,  $\Delta X_1$  — величина тестового сигналу.

У газоаналітичних вимірюваннях цей вираз справедливий при ваговому представленні  $\text{мг/м}^3$  концентрації газу. При об'ємному представленні концентрації газів важливе значення має тривалість тестового сигналу і об'єм резервуара (камери), куди вводиться тестовий сигнал. При впливі на аналізовану газову суміш тестового сигналу однорідного з одним з аналізованих компонентів, загальна сумарна концентрація  $X_1$  цього компонента зростає, але не на величину  $X_1 + \Delta X_1$ , а на деяке менше значення, визначене обсягом порожнини (резервуара), куди вводиться тестовий сигнал, і тривалістю тестового сигналу, тобто

$$X_{\text{сум}} = X_1 + \Delta X_1 / K_0, \quad (5)$$

де  $K_0$  — коефіцієнт, що характеризує об'єм порожнини.

Одним з основних питань при розробці газоаналізаторів з тестовим сигналом є вибір тривалості тестового сигналу і частоти його повторення. Очевидно, що час тривалості тестового сигналу повинний бути достатнім для того, щоб вихідний сигнал газоаналізатора мав стає значення, яке визначається концентрацією вимірюваного газового компоне-

нта і дією тестового сигналу. В ході експериментальних досліджень тестового сигналу на газоаналізаторах, які реалізують різні методи газового аналізу (термомагнітний (вимір  $O_2$ ), термокондуктометричний (вимір  $H_2$ ), інфрачервоної спектроскопії ( $CO$ ,  $CO_2$ ), хемілюмінесцентний (вимір  $NO_x$ ) тощо) встановлено, що для упевненої фіксації тестового сигналу необхідно, щоб його тривалість була не менш ніж в два рази більшою від часу перехідного процесу в ПВП [2].

Істотним аспектом побудови газоаналізаторів з тестовим сигналом є вирішення питання про існування, форму і тривалість тестового газового імпульсу-сигналу в різних газопроводах. Відповіддю на нього може служити рішення рівняння поширення тестового сигналу як домішки по газопроводах, що може бути представлено рівнянням дифузії такого виду:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + V(x, y, z) \frac{\partial c}{\partial z} = D \left[ \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] \quad (6)$$

з відповідними початковими і граничними умовами при ламінарному русі газу (тут вісь  $Z$  збігається з віссю газового каналу),  $c = c(t, x, y, z)$  — концентрація тестового сигналу,  $V(x, y, z)$  — швидкість потоку газу,  $D$  — коефіцієнт молекулярної дифузії.

Зокрема, при розгляді циліндричного газового

каналу (як найбільш поширеного) в припущенні симетричності дії тестового сигналу щодо циліндричної осі газопроводу, рівняння (6) у циліндричній системі координат буде мати такий вигляд:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V(z) \frac{\partial c}{\partial z} = D \left[ \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right] \quad (7)$$

із граничною умовою

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0} = \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=R},$$

де  $R$  — радіус труби газопроводу

При розв'язку виразу (7) наближеними методами рішення може бути зведене до одномірної задачі поширення середньої концентрації, яке описується рівнянням

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + U_0 \frac{\partial Q}{\partial z} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial z^2}, \quad (9)$$

де  $\mu = D \cdot \left( 1 + \frac{R^2}{48D^2} \right)$  — ефективний коефіцієнт дифузії, а  $U_0$  є середня швидкість потоку газу,  $Q$  - витрата газу.

Результати чисельного розв'язку на ЕОМ рівняння (8) приведені на рис. 2.

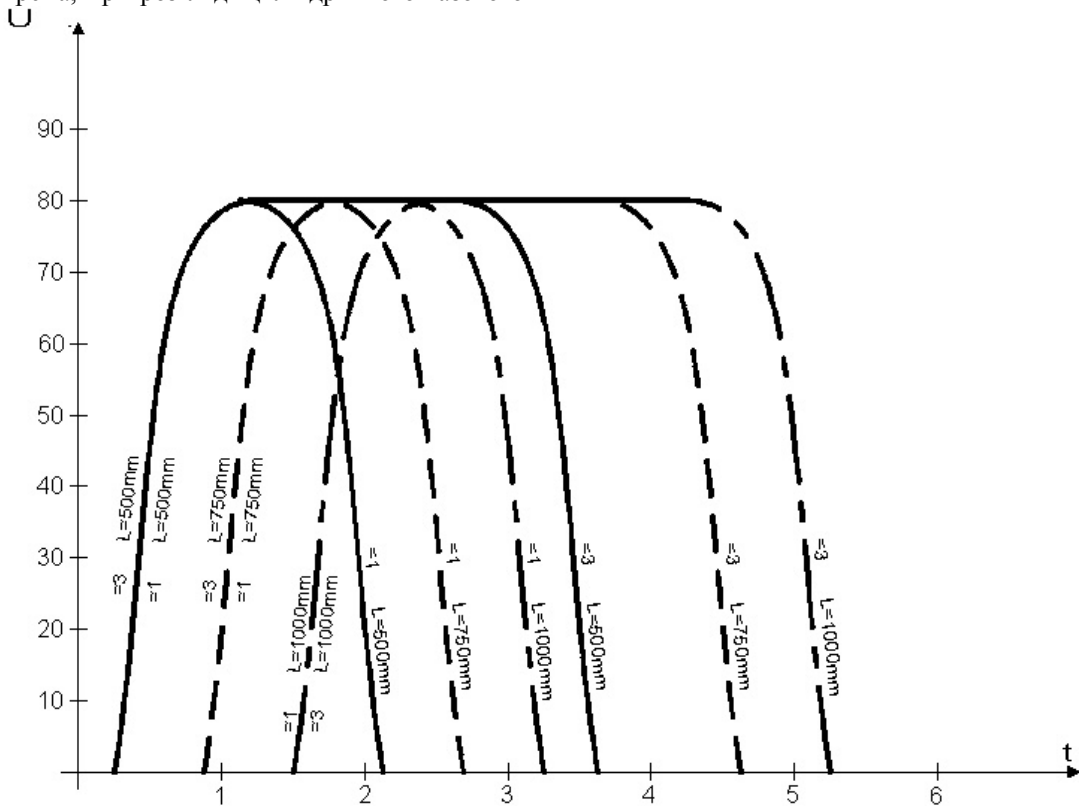


Рис. 2. Графіки дії тестового сигналу

При розрахунку передбачалося, що тестовий сигнал вводиться в газовий канал в точці  $Z_0$  (тобто по поздовжній осі газопроводу) протягом часу  $T_k$ . Урахування довжини газопроводу  $L$  для значень часу 1...3 с. тестового сигналу не привів до істотних змін результатів, що пояснюється ефективною дифузійною за рахунок розходження швидкостей тестового сигналу і аналізованої суміші у газовому потоці і наявність молекулярної дифузії. Це дозволяє зробити висновок, що циліндрична форма газопроводу для введення тестового сигналу зонда є найбільш оптимальною.

Аналіз рис. 2 наочно показує, що на визначеному відрізку газопроводу каналу можна говорити про тестовий сигнал як про інформаційно і метрологічно достовірний. За цим відрізком тестовий сигнал у значній мірі розмивається і не може служити як інформаційний [3].

Запропонована методологія побудови газоаналізаторів з тестовим сигналом не компенсує адитивну похибку. Однак, приймаючи до уваги той факт, що адитивна похибка газоаналізаторів, як правило, не перевищує мультиплікативну похибку і визначається процесами в ПВП (що змінюються повільно), адитивну похибку перевіряти і коректувати треба набагато рідше, ніж мультиплікативну. Таким чином, з метою компенсації адитивної похибки ПГС необхідна, але в значно менших кількостях, чим для газоаналізаторів, побудованих за традиційною схемою прямого перетворення

Таким чином основними перевагами побудови газоаналізаторів з тестовим сигналом є:

1) підвищення метрологічних характеристик газоаналізаторів за рахунок автоматичної корекції коефіцієнта передачі газоаналізатора;

2) відсутність необхідності відключення на значний час газоаналізатора для проведення калібрування по ПГС, що для ряду технологічних процесів, в яких безперервно контролюється газове середовище, є недопустимим;

3) покращення техніко-економічних показників експлуатації газоаналізаторів за рахунок значного зменшення кількості ПГС.

У даній статті розглянуті лише основні принципи побудови газоаналізаторів з тестовим сигналом. Питання вибору частоти, потужності і форми тестового сигналу вимагають більш детальних аналітичних і експериментальних досліджень. Можливі різні варіанти електронних пристроїв у вимірювальному каналі газоаналізатора, а також пристроїв компенсації нестабільності коефіцієнтів передачі пристроїв, що входять у вимірювальний канал. Попередній аналіз показує, що такі схеми підвищують селективність газоаналізаторів, зменшують похибки вимірювань, дозволяють суттєво зменшити використання ПГС.

1. Локотюш Б. Н., Петренко В. П., Кисиль І. С., Дранчук М. М. Пневматический генератор с автоматически изменяющейся скважностью / Республиканский межведомственный научно-технический сборник "Приборостроение". - К.: Техніка, 1980. - № 28. - С. 3-5. 2. Ровенский А. Я., Михальчевский В. Г., Примиский В. Ф., Цуканова Л. А. "Устройство для поверки газоанализаторов" Б.И. 1987. - № 43. - А.с. СССР № 1354059. 3. Примиский В. Ф. Особенности построения самонастраивающихся газоаналитических систем. Сб. научных трудов ВНИИ-АП - К., 1979. - С. 75-78.