

Як видно з графіків, чим менше значення  $\eta$  і більше значення  $\tau_0$ , тим більші похибки  $\delta_{\tau_0}$ ,  $\delta_{\eta}$ . Максимальна похибка визначення пластичної в'язкості  $\eta$  за наближеною статичною характеристикою не перевищує  $\delta_{\eta} = 1,34\%$ , а при визначенні граничного напруження зсуву максимальна похибка  $\delta_{\tau_0}$  досягає  $10,67\%$ .

Отже, якщо в діапазонах вимірювання граничного напруження зсуву і пластичної в'язкості в'язкопластичної рідини неможливо спроектувати вимірювальні перетворювачі  $\tau_0$  і  $\eta$  з похибками  $\delta_{\tau_0}$  і  $\delta_{\eta}$ , що не перевищують допустимі, то реологічні параметри необхідно визначати з точних статичних характеристик, застосовуючи для їх розрахунку рівняння витратної характеристики мостового перетворювача (1).

1. Пистун Е.П., Кулик М.П., Крых А.Б. Гидродинамические измерительные системы и преобразователи реологических параметров неньютоновских жидкостей // Пневматические и гидравлические устройства и системы управления: X Межд. конф. «Яблонна-86». – М., 1986. – С.112-115. 2. А.с. 1092379 СССР. Устройство для определения реологических характеристик вязкопластичных сред / Е.П. Пистун, А.Б. Крых // Открыт. Изобрет. – 1984. – № 18. 3. Пистун Е.П., Крых А.Б. Основы расчета катилляров гидродинамической системы для измерения реологических характеристик буровых растворов // Контрольно-измерительная техника. – Вып.34. – 1984. С.38-43.

УДК 543.271.3

Приміський В.

Науково-дослідний інститут аналітичного приладобудування

## ОСОБЛИВОСТИ ГАЗОАНАЛІТИЧНИХ ВИМІРІВ В БАГАТОКАНАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

©Приміський В., 2000

**Vector methods of processing of gas analytical systems measuring information have been investigated. Structural scheme of information processing is developed.**

Автоматизація і вдосконалення технологічних процесів у промисловості, енергетиці, на транспорті вимагають швидкого автоматичного аналізу багатоконпонентних газових сумішей, які утворюються в ході різних технологічних процесів. На основі безперервного автоматичного аналізу можливе створення автоматичних систем керування технологічними процесами, пов'язаними з утворенням і використанням газів. Такі процеси існують в чорній і кольоровій металургії, нафтохімії, теплоенергетиці, виробництві надчистих матеріалів, електронних технологіях.

Більшість газоаналітичних вимірів – результат опрацювання непрямих вимірів. Послідовність аналізу похибок має такий вигляд:

1. У результаті визначення окремих аргументів непрямого виміру одержують групи спостережень по кожному аргументу, з яких виключають відомі систематичні похибки.

2. Перевіряють результати в кожній групі на відповідність нормальному закону розподілу, попередньо відкинувши значення, що різко виділяються.

3. Вираховують оцінку вимірюваних аргументів і параметрів їхньої точності.

4. Перевіряють відсутність кореляції між результатами спостережень кожних двох аргументів.

5. Вираховують результат непрямих вимірів і оцінку параметра його точності.

6. Знаходять довірчу випадкову похибку, невиключену систематичну похибку і загальну похибку результату вимірів.

Внаслідок усіх цих операцій можна одержати найбільш загальну форму подання результату вимірів:

$$X; \alpha; \delta; \varepsilon, \quad (1)$$

де  $\delta$  – довірча межа невиключеної специфічної похибки, що відповідає довірчій можливості  $\alpha$ ;  $\varepsilon$  – оцінка параметра випадкової похибки.

Ефективність роботи газоаналітичних систем (ГАС) значною мірою залежить від оптимальності процесів опрацювання вимірювальної інформації. Під час опрацювання результатів газоаналітичних вимірів розв'язують ряд задач. Основними з них є:

1. Виключення впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників.

2. Зменшення впливу неінформативних компонентів.

3. Визначення функціональної залежності між окремими компонентами суміші або між характеристиками суміші і впливами на них.

Можливі два підходи до розв'язання задачі опрацювання вимірювальної інформації [1,2]:

а) визначення невідомих параметрів за мінімумом даних;

б) опрацювання надлишкових вимірів.

Розглянемо докладніше ці два способи.

Опрацювання за мінімумом даних передбачає упорядкування системи рівнянь:

$$X_i = f_i(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) + \gamma_i. \quad (2)$$

У цих рівняннях число невідомих параметрів  $n$  дорівнює числу рівнянь і сумарні похибки  $\gamma_i$  передбачаються нульовими, в ході опрацювання розв'язують систему нелінійних в загальному випадку рівнянь. Залежно від складу газової суміші, методів газового аналізу, реалізованих в ГА, можливі різноманітні спрощення й обмеження для зведення виразу (2) до лінійної системи рівнянь.

Задачу виділення незалежних компонентів суміші  $X_i$  за допомогою неселективних ПВП розв'язують в загальному випадку перетворенням вихідної множини  $X$  у допоміжну множини  $Y$ . Елементами цієї нової множини є – електропровідність, здатність поглинати інфрачервоне випромінювання та інші фізико-хімічні величини. Взаємооднозначну відповідність між множинами  $X$  і  $Y$  описують за допомогою функції  $Y_i = \psi(X_i)$ , де  $i = 1 \dots n$ . Складність розв'язання задачі зумовлена наявністю зв'язку  $X_i = \varphi(X_1 \dots X_n)$ . Нині існують два основні методи розв'язання задачі поділу і виміру залежних величин.

Перший пов'язаний із застосуванням моделі досліджуваного об'єкта, другий з упорядкуванням і розв'язанням системи рівнянь, що враховує відомі залежності. Перший метод заснований на створенні моделі газової суміші і наступному порівнянні моделі і аналізованої суміші на зовнішній вплив. Реакція моделі й аналізованої суміші зрівнюється доти, доки між контрольованими параметрами суміші і моделі не починає виконуватися визначене співвідношення. За міру близькості найчастіше беруть квадрат різниці сигналів. Цей метод не знайшов застосування в газовому аналізі через складність створення моделі – бага-

токомпонентної газової суміші визначеного складу. Така суміш повинна відповідати конкретному технологічному процесу і змодельовати її дуже складно.

Для другого методу заздалегідь експериментально визначаються функції, які зв'язують концентрації газу  $X_i$  і неоднорідні з ними за фізичною природою вимірювані властивості, що описуються множиною  $Y$  і потім складається система рівнянь:

$$\begin{aligned} Y_m &= \psi_m(X_n); \\ \sum_{i=1}^n X_i &= 1. \end{aligned} \quad (3)$$

У такому разі система лінійна.

Реалізація методу можлива за умови, коли число вимірюваних величин  $Y_i$ , що підлягають прямим вимірам, не менше від числа відомих  $X_i$ , тобто  $m \geq (n-1)$ ; залежності  $\psi_i$ , похідні  $\frac{\partial \psi_i}{\partial X_i}$  існують і неперервні на ділянці можливих розв'язків системи рівнянь; функціональний визначник (якобіан) системи не дорівнює нулю на ділянці можливих розв'язків:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial Y_1}{\partial X_1} \frac{\partial Y_1}{\partial X_2} \dots \frac{\partial Y_1}{\partial X_n} \\ &\frac{\partial Y_2}{\partial X_1} \frac{\partial Y_2}{\partial X_2} \dots \frac{\partial Y_2}{\partial X_n} \\ &\dots \dots \dots \\ &\frac{\partial Y_m}{\partial X_1} \frac{\partial Y_m}{\partial X_2} \dots \frac{\partial Y_m}{\partial X_n} \end{aligned} \neq 0 \quad (4)$$

По суті, це відповідає вимозі незалежності функцій  $\psi_i$  і різної чутливості  $Y_i$  від  $X_i$ . Якщо розмірність задачі не занадто велика, то  $X_i$  можна визначити за спеціальною номограмою. При автоматизованих вимірах доцільно використовувати засоби аналогової обчислювальної техніки.

Опрацювання надлишкового числа вимірів є універсальним методом. Якщо залежності  $f_i(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)$  адекватні до об'єкта вимірів  $i$ , що особливо важливо, інваріантні відносно часу експерименту, опрацювання надлишкових даних дозволяє ефективно боротися з випадковими похибками вимірів. Використання цієї методики в умовах спільних вимірів дозволяє істотно підвищити точність вимірів. Відомо [3], що при спільних спостереженнях величин  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  їх значення можна знайти за результатами  $n$  прямих вимірів  $X_1, X_2, \dots, X_n$  що функціонально зв'язують ці величини:

$$f_i(Y_1, Y_2, \dots, Y_n, X_1, X_2, \dots, X_n) = \Delta_i. \quad (5)$$

Якщо у результаті прямих вимірів отримують випадкові похибки, то результати вимірів  $Y_j$  також будуть їх мати. Щоб позбутися випадкових похибок, варто багаторазово збільшувати число вимірів  $i = m \gg n$ , отримавши надлишкову систему (5), опрацювати отриману інформацію з метою усереднення, тобто часткової компенсації випадкової похибки  $\Delta_i$ . Як показано вище, в багатьох сучасних автоматичних ГА існує лінійна залежність між вимірюваною концентрацією газу і вихідним сигналом. Це дає можливість використовувати лінійну регресивну модель залежності вихідного сигналу від складу аналізованої суміші.

Одним з видів алгоритму опрацювання вимірювальної інформації за мінімумом даних є уявлення сукупності концентрацій, що вимірюються ГАС, як векторів відповідно вхідних

і вихідних сигналів [4]:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= (X_j) \quad (j=1,2, \dots, i); \\ \bar{Y} &= (Y_j) \quad (j=1,2, \dots, j),\end{aligned}\quad (6)$$

де  $\bar{X}$  – вектор концентрації;  $\bar{Y}$  – вектор вихідних сигналів;  $j$  – номер ГА в ГАС.

При цьому ГАС можна уявити у вигляді перетворювача, який переводить вектор  $\bar{X}$  у вектор  $\bar{Y}$  за допомогою деякого перетворення, оператор якого позначимо  $A$ . Тоді в прийнятих позначеннях:

$$\bar{Y} = A(\bar{X}). \quad (7)$$

Завдання полягає в тому, щоб за відомими вихідними сигналами (7) визначити концентрацію  $\bar{X}$ , тобто знайти таке перетворення  $U$ , протилежне до  $A$ , яке мало переводити вектор  $\bar{Y}$  у вектор  $\bar{X}$ :

$$\bar{X} = U(\bar{Y}). \quad (8)$$

У пропозиції лінійності перетворень  $A$  та  $B$  вираз (6) можна подати в такому вигляді:

$$(Y_i) = (Y_{i0}) + [\alpha_{ij}] \cdot (X_j), \quad (i=1,2, \dots, j), \quad (9)$$

де  $Y_i$  – вектор вихідних сигналів;  $Y_{i0}$  – вектор деяких постійних, які враховують початкові сигнали газоаналізаторів (нульовий зсув);  $\alpha_{ij}$  – матриця коефіцієнтів перетворення, що подають чутливості  $i$ -го газоаналізатора  $j$ -му компоненту;  $X_j$  – вектор концентрацій.

На рис.1 наведена апаратурна реалізація за допомогою ВУ виразу (8). Цей вираз також можна подати у вигляді лінійної системи:

$$\begin{aligned}Y_1 &= Y_{10} + \alpha_{11} \cdot X_1 + \alpha_{12} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{1j} \cdot X_j; \\ Y_2 &= Y_{20} + \alpha_{21} \cdot X_1 + \alpha_{22} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{2j} \cdot X_j; \\ Y_i &= Y_{i0} + \alpha_{i1} \cdot X_1 + \alpha_{i2} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{ij} \cdot X_j; \\ Y_j &= Y_{j0} + \alpha_{j1} \cdot X_1 + \alpha_{j2} \cdot X_2 + \dots + \alpha_{jj} \cdot X_j;\end{aligned}\quad (10)$$

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

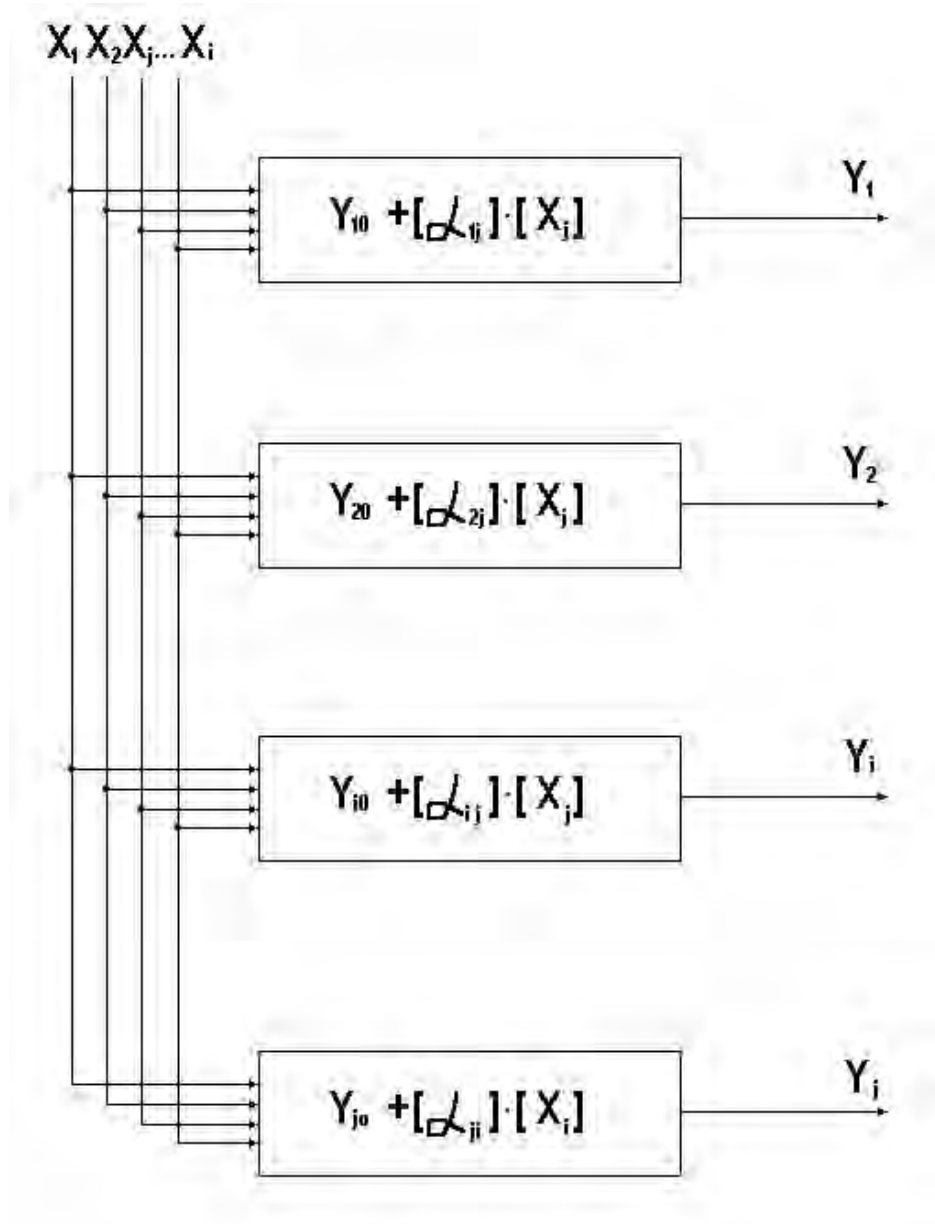
Для того, щоб знайти  $X_j$  за відомим  $Y_i$  необхідно розв'язати системи (8) або (9) щодо  $X_j$ . Проте слід застерегти, що система буде визначеною і матиме єдиний розв'язок тільки у випадку  $j = i$ , тобто число вимірюваних компонентів повинно дорівнювати числу компонентів, що заважають.

Для розрахунку параметрів моделі може слугувати метод найменших квадратів. Позначимо  $(X_j^n)$  вектор вимірюваних у традиційний спосіб концентрацій газової суміші в  $n$ -експерименті,  $(Y_j^n)$  – вектор відповідних вихідних сигналів. Тоді компоненти вектора квадрата відхилення  $\varepsilon_j^n$  вимірюваних значень концентрацій від значень, знайдених за допомогою регресійної моделі, у  $n$ -експерименті можна записати в такий спосіб:

$$\varepsilon_j^n = [X_j^n - (X_{i0} + \sum_{i=1}^i \beta_{ji} \cdot Y_i^n)]^2, \quad (j=1, 2, \dots, i). \quad (11)$$

Метод найменших квадратів, як відомо, полягає в мінімізації суми  $\varepsilon_j^n$  для всіх  $n$  експериментів, тобто:

$$\varepsilon_j = \sum_{i=1}^n \varepsilon_j^n \quad (j=1, 2, \dots, i). \quad (12)$$



Структурна схема математичної моделі ГАС

Для мінімізації частинні похідні від  $\epsilon_j$  по величинах  $X_{j0}, \beta_{ji}$  дорівнюють нулю і з отриманої системи знаходять  $X_{j0}, \beta_{ji}$ . У такому разі система нормальних рівнянь має вигляд:

$$n_{X_{j0}} + \sum_{i=1}^i \left( \sum_{n=1}^n Y_i^n \right) \cdot \beta_{ji} = \sum_{n=1}^n X_j^n ; \quad (13)$$

$$X_{j0} \sum_{n=1}^n Y_t^n + \sum_{i=1}^i \left( \sum_{n=1}^n Y_i^n \cdot Y_t^n \right) \beta_{ji} = \sum_{n=1}^n X_j^n \cdot Y_t^n ; \quad (t, j, i = 1, 2, \dots, i).$$

Розв'язуючи систему при цій умові, одержуємо розв'язок у такому вигляді:

$$[X_j] = [\alpha_{ji}]^{-1} (Y_i - Y_{i0}) = (X_{j0}) + [\beta_{ji}] (Y_i); \quad (14)$$

де  $[\beta_{ji}]$  – матриця, протилежна матриці  $[\alpha_{ij}]$ ,  $[\beta_{ji}] = [\alpha_{ij}]^{-1}$ ;  $X_{j0}$  – вектор постійних, що характеризує зону нечутливості ГАС і враховує вплив концентрації компонентів, що не вимірюється комплексом, на вихідні сигнали ( $X_{j0} = -Y_{i0}$ ).

Подамо (14) у вигляді суми:

$$X_j = X_{j0} + \sum_{i=1}^i \beta_{ji} \cdot Y_i, \quad (j = 1, 2, \dots, i). \quad (15)$$

З (15) випливає, що задача газового аналізу при такому формулюванні питання зводиться до визначення невідомих коефіцієнтів  $X_{j0}$ ,  $\beta_{ji}$ , що є параметрами лінійної регресивної моделі. Для їх визначення проводять паралельно й одночасно газовий аналіз ГАС якими завгодно традиційними методами. При наборі достатньо великої кількості таких аналізів, невідомі коефіцієнти визначають статистичними методами. Оцінити необхідне число експериментів можна з виразу (15). Так, є усього  $i_2 + i$  невідомих  $X_{j0}$ ,  $\beta_{ji}$  потрібно  $i_2 + i$  рівнянь типу (15) для їхнього знаходження. У такий спосіб  $N_{\min}$  число експериментів дорівнює  $N_{\min} = i_2 + i$ . Для коректного використання статистичних методів необхідно, щоб  $N > N_{\min}$ . З розглянутих структурних схем ГАС очевидно, що одним із найбільш відповідальних і визначальних вузлів ГАС є засоби обробки вимірювальної інформації. Саме вони дозволяють забезпечити виконання різноманітних алгоритмів роботи ГАС, які проаналізовані вище. Тому доцільно детальніше досліджувати особливості побудови УОВІ в ГАС [4,5,6].

1. Примиский В.П. Структурные схемы построения газоаналитических систем // Сборник научных трудов ВНИИАП. – К., 1984. – С.19-24. 2. Кравченко А.А., Максимова Ф.С., Примиский В.Ф. Коррекция погрешностей от неселективности датчиков в газоаналитических измерениях // Приборы и системы управления. – 1981. – № 11. С.12-13. 3. Герасимов Б.И., Глинкин Е.И. Микропроцессорные аналитические приборы. – М., 1989. 4. Примиский В.Ф. Структурные схемы и методы обработки информации в газоаналитических системах // Измерения, контроль, автоматизация. – 1985. – № 4. – С.12-18. 5. Пат. України № 9825. Хемілюмінісцентний газоаналізатор оксидів азоту. Опубл. 30.09.96. 6. Примиский В.Ф., Михальчевский В.Г., Цуканова Л.А. Автоматический газоанализатор 334 КПИ03 // Приборы и системы управления. – 1991. – № 1. С.29-30.

УДК 53.089.68:543.27

Теплюх З., Леськів Г.

ДУ “Львівська політехніка”, кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

## ЗАДАЧІ ПОБУДОВИ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ДРОСЕЛЬНИХ ЗМІШУВАЧІВ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ АНАЛІТИЧНИХ ПРИЛАДІВ

© Теплюх З., Леськів Г., 2000

**This article contains the directions of solving the problems of calculation of throttle mixer schemes with equal and linear gas-dynamic resistances. They help to simplify building such apparatus and optimize its scheme.**