

матеріалів, яка б усувала недоліки примусового ущільнення сипкого матеріалу у міжелектродному просторі, та внесення цих коефіцієнтів у результат вимірювання діелькометричним методом.

Методика досліджень. Були проведені експериментальні дослідження для визначення об'єму повітря в об'ємі робочої (вимірювальної) камери для зерна пшениці. Для цього взяли п'ять посудинок різного об'єму (від 50 мл до 1 л), провели по три вимірювання в кожній посудині, і встановили, що відношення об'єму повітря до об'єму посудини для зернини пшениці становить 1/3.

Тобто, якщо

$$\alpha = \frac{V_{нов}}{V_{камери}} = \frac{1}{3},$$

де $V_{нов}$, $V_{камери}$ – відповідно об'єм повітря та об'єм камери (міжелектродного простору); тоді

$$\frac{V_{зерна}}{V_{камери}} = 1 - \alpha,$$

де $V_{зерна}$ – об'єм зерна.

Увівши такі позначення і приймаючи співвідношення між геометричними параметрами перетворювача сталими, вираз для обчислення ємності первинного перетворювача буде:

$$C_X = C_0 + 2\varepsilon_0 K_{пер} \cdot V_{кам} \cdot \varepsilon_{CM} (1 - \alpha) + 2\varepsilon_0 K_{пер} \cdot V_{кам} \cdot \varepsilon_{нов} \alpha, \quad (1)$$

де C_X – вимірювальне значення ємності (показ приладу); C_0 – початкова ємність первинного перетворювача; $K_{пер}$ – коефіцієнт перетворювача, який визначається його конструктивними (геометричними) особливостями; ε_0 – діелектрична стала, ε_{CM} – діелектрична проникність сипкого матеріалу; $\varepsilon_{нов}$ – діелектрична проникність повітря.

Спростивши вираз (1) у такий спосіб:

$$C_X - C_0 = 2\varepsilon_0 K_{пер} \cdot V_{кам} [\varepsilon_{CM} (1 - \alpha) + \varepsilon_{нов} \alpha],$$

і враховуючи, що $\varepsilon_{нов}$ змінюється в межах 1,00029 ... 1,00059 [4, с. 303], $\varepsilon_{нов}$ можна прийняти константою, яка дорівнює 1. Тоді

$$\varepsilon_{CM} = \frac{C - C_0}{(2\varepsilon_0 K_{пер} \cdot V_{кам})(1 - \alpha)} - \frac{\alpha}{(1 - \alpha)}.$$

Висновок. Отже, знаючи так звані поправкові коефіцієнти α для будь-якого сипкого матеріалу (пшениця, рис, гречка тощо), які можна визначити експериментально для конкретної конструкції ємнісного первинного перетворювача зі сталими геометричними розмірами, та залежність діелектричної проникності сипкого матеріалу від вологості ($\varepsilon_{CM} = f(W)$), яка занесена в градувальні характеристики приладу, можна визначити значення вологості сипкого матеріалу.

Запропонована методика частково усуває перераховані вище недоліки примусового ущільнення сипкого матеріалу у міжелектродному просторі.

1. Форейт Й. Емкостные датчики неэлектрических величин / Пер. с чеш. В.И. Дмитриева. – М.–Л., 1966. 2. Івах Р., Дорожовець М., Питель І. Систематизація методів вимірювання вологості сипких матеріалів // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Вимірювальна техніка і метрологія”. – 2003. – № 62. – С. 97–101. 3. Івах Р. М. Вибір та оптимізація конструкції ємнісного первинного перетворювача діелькометричного вологоміра сипких матеріалів // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2005. – № 530. 4. Берлинер М.А. Измерения влажности. – М., 1973.

УДК 681.2.53.082:543.27

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ВИСОКОТОЧНИХ ДРОСЕЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРІВ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ

© Теплюх З.М., 2006

Розроблено принципи побудови синтезаторів, які забезпечують високу точність задання концентрацій компонентів і можуть бути використані в системах метрологічного забезпечення газоаналітичної апаратури.

In the article the principles of synthesizer construction for providing high accuracy of concentration components assignment and using in measurement assurance systems of gas-analytical apparatus are offered.

Постановка проблеми. Газові суміші із заданими концентраціями компонентів потрібні у різноманітних технологічних процесах і системах життєзабезпечення [1–3], проте найбільша кількість сумішей потрібна для метрологічного забезпечення різної газоаналітичної апаратури [4, 5]. Дотепер газові суміші, переважно бінарні та рідше потрійні, готували передусім методом парціальних тисків в балонах, що далеко не задовольняє вимоги практики, зокрема щодо точності задання концентрацій та кількості компонентів [6, 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій та існуючого стану виробництва, транспортування, зберігання і споживання газових сумішей показує, що найперспективнішим є застосування газодинамічних змішувальних пристроїв (синтезаторів) [8]. Серед відомих газодинамічних синтезаторів найбільші переваги мають синтезатори, побудовані на базі дозування компонентів за допомогою дросельних елементів. Такі синтезатори запатентовані в індустріально розвинутих країнах і саме їх доцільно використовувати для перевірки газоаналітичної апаратури [9–12]. Відомі схеми і конструкції газодинамічних синтезаторів істотно відрізняються і тому потрібні рекомендації для їх побудови залежно від складу суміші та діапазонів концентрацій її компонентів, точності задання концентрацій, кількості продукованих сумішей, витрати і тиску суміші на виході синтезатора, можливих змін параметрів зовнішнього середовища і споживача тощо.

Метою цієї роботи, яка є розвитком виконаних раніше досліджень (див. напр. [13, 14]), є узагальнення принципів побудови газодинамічних дросельних змішувальних пристроїв для забезпечення оптимальних метрологічних і експлуатаційних характеристик синтезаторів.

Принципи побудови синтезаторів

Принцип 1 – будова генератора за схемою суматора потоків. Газодинамічний генератор доцільно будувати за схемою суматора потоків (рис. 1), в якому кожен з чистих газів (компонентів синтезованої суміші) 1, 2, ..., N дозується за допомогою окремого дроселя (чи сукупності дроселів пакета), D_1 , ..., D_N і всі потоки на виході дроселів сумуються з утворенням відповідної суміші. Застосування цього принципу дає змогу однаково і неперервно готувати як бінарні, так і, що дуже важливо, багатоконпонентні суміші.

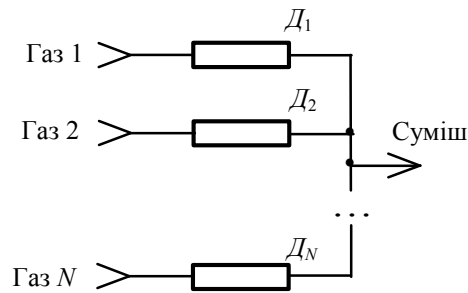


Рис. 1. Суматор газових потоків:
 D_1, \dots, D_N – дроселі

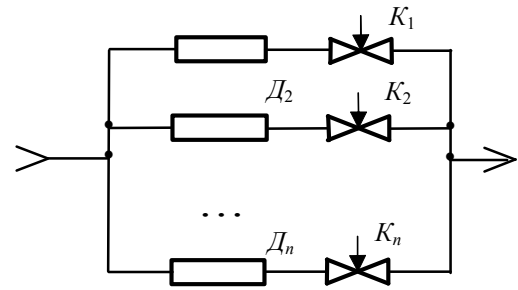


Рис. 2. Пакет дроселів із змінюваним опором:
 D_1, \dots, D_n – дроселі, $K_1 \dots K_n$ – клапани

Важливо зазначити, що така будова генератора дає змогу градувати його за вимірними значеннями витрат компонентів. Концентрацію r_i i -того компонента суміші можна визначити за формулою

$$r_i = \frac{Q_i}{Q_\Sigma} = \frac{Q_i}{\sum_{j=1}^N Q_j}; \quad (i, j = \overline{1, N}), \quad (1)$$

де Q_i, Q_j – витрата i -того, j -того компонентів відповідно; Q_Σ – витрата суміші.

Варто зауважити також, що суматор N -компонентної суміші уможливує одночасно отримувати і суміші з меншою кількістю ($N-1, N-2, \dots, 2$) компонентів. Так, наприклад, суматор чотирьох потоків різних компонентів дає змогу, крім чотирьохкомпонентної суміші, отримувати ще чотири види потрійних сумішей (суміші 1-2-3, 1-2-4, 1-3-4 і 2-3-4), а також шість видів бінарних сумішей (1-2, 1-3, 1-4, 2-3, 2-4, 3-4). Це значно розширює можливості газодинамічних синтезаторів. У загальному випадку синтезатор, побудований за схемою суматора, дає змогу отримувати $2^N - N - 1$ різних видів сумішей. Так, наприклад, за $N=5$ можливо отримати 26 видів сумішей.

Принцип 2 – встановлення в каналах окремих компонентів пакетів дроселів з дискретно змінюваним опором (із змінною кількістю увімкнених дроселів). Такий пакет являє собою паралельне з'єднання дроселів D_1, \dots, D_n , кожен з яких можна вмикати/вимикати за допомогою відповідного клапана $K_1 \dots K_n$ (рис. 2). Змінюючи комбінацію увімкнених клапанів, можна дискретно змінити витрату газу через пакет, змінюючи тим самим на виході суматора потоків концентрацію компонентів суміші (з певною дискретністю). При цьому кількість комбінацій, а відповідно і кількість різних значень газодинамічного опору пакета залежить від кількості n дроселів в пакеті і становить $2^n - 1$ за умови, що опір кожного дроселя є інший. Так, наприклад, за $n=4$ кількість комбінацій становить 15. Це відкриває широкі можливості під час побудови газодинамічних дросельних генераторів, особливо під час синтезу багатоконцентних сумішей.

Якщо генератор багатоконцентної суміші (з кількістю компонентів – N) побудований за схемою суматора (рис. 1) і в каналі кожного компонента встановлено пакет з однаковою кількістю n дроселів (рис. 2), то такий генератор може готувати до $(2^n - 1)^N$ варіантів N -компонентних сумішей. Так, наприклад, за $N=3$ і $n=4$ існує можливість готувати 3375 варіантів потрійних сумішей з різними концентраціями компонентів, а також 675 варіантів бінарних сумішей трьох видів (1-2, 1-3, 2-3).

Кількість C усіх варіантів сумішей, що може готувати синтезатор на базі схеми суматора N потоків (компонентів) з однаковими пакетами ($n_1 = n_2 = \dots = n_N$) в усіх каналах компонентів, дорівнює

$$C = \sum_{i=0}^{N-2} [C_{N-i}^N (2^n - 1)^{N-i}], \quad (2)$$

де C_{N-i}^N – кількість видів (за видом компонентів) сумішей одного типу (за кількістю компонентів), яку згідно з правилами комбінаторики можна визначити так:

$$C_{N-i}^N = \frac{N!}{(N-i)! \cdot i!}, \quad (3)$$

де i – індекс виду суміші: $i=0$ для N -компонентної суміші; $i=1$ для $(N-1)$ -компонентної суміші; $i=N-3$ для потрійної суміші; $i=N-2$ для бінарної суміші.

Загалом, коли кількість n_j дроселів в каналі кожного компонента може бути різною, кількість C можливих варіантів N -компонентних сумішей з різними концентраціями компонентів визначається за формулою

$$C = \prod_{j=1}^N (2^{n_j} - 1) \quad (4)$$

Кількість можливих варіантів сумішей усіх типів та видів можна визначити так:

$$C = \sum_{i=0}^{N-2} \sum_{k=1}^{C_{N-i}^N} \prod_{\substack{\kappa=N-i \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,\dots,N\}_{N-i}}} (2^{n_j} - 1), \quad (5)$$

де $\{1, 2, \dots, N\}_{N-i}$ – вибірка неповторюваних наборів з кількістю $N-i$ цифр.

Приклад. Схема суматора трьох потоків різних компонентів містить пакети з такою кількістю дроселів: $n_1=2$, $n_2=3$, $n_3=4$. Згідно з формулою (5) загальна кількість можливих варіантів сумішей усіх типів (потрійної та бінарних) та видів (1-2-3, 1-2, 1-3, 2-3) дорівнює

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=0}^1 \sum_{k=1}^{C_{3-i}^3} \prod_{\substack{\kappa=3-i \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_{3-i}}} (2^{n_j} - 1) = \sum_{k=1}^{C_3^3} \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_3}} (2^{n_j} - 1) + \sum_{k=1}^{C_2^3} \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_2}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= \sum_{k=1}^1 \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}}} (2^{n_j} - 1) + \sum_{k=1}^3 \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(1,3),(2,3)\}}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2\}}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,3\}}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{2,3\}}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= (2^{n_1} - 1)(2^{n_2} - 1)(2^{n_3} - 1) + (2^{n_1} - 1)(2^{n_2} - 1) + (2^{n_1} - 1)(2^{n_3} - 1) + (2^{n_2} - 1)(2^{n_3} - 1) = \\ &= (2^2 - 1)(2^3 - 1)(2^4 - 1) + (2^2 - 1)(2^3 - 1) + (2^2 - 1)(2^4 - 1) + (2^3 - 1)(2^4 - 1) = \\ &= 315 + 21 + 45 + 105 = 486. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= \sum_{i=0}^1 \sum_{k=1}^{C_{3-i}^3} \prod_{\substack{\kappa=3-i \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_{3-i}}} (2^{n_j} - 1) = \sum_{k=1}^3 \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_3}} (2^{n_j} - 1) + \sum_{k=1}^2 \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(1,3),(2,3)\}_2}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= \sum_{k=1}^3 \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_3}} (2^{n_j} - 1) + \sum_{k=1}^2 \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(1,3),(2,3)\}_2}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= \prod_{\substack{\kappa=3 \\ \kappa=1 \\ j=\{1,2,3\}_3}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(1,3),(2,3)\}_2}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(1,3)\}_2}} (2^{n_j} - 1) + \prod_{\substack{\kappa=2 \\ \kappa=1 \\ j=\{(1,2),(2,3)\}_2}} (2^{n_j} - 1) = \\ &= (2^{n_1} - 1)(2^{n_2} - 1)(2^{n_3} - 1) + (2^{n_1} - 1)(2^{n_2} - 1) + (2^{n_1} - 1)(2^{n_3} - 1) + (2^{n_2} - 1)(2^{n_3} - 1) = \\ &= (2^2 - 1)(2^3 - 1)(2^4 - 1) + (2^2 - 1)(2^3 - 1) + (2^2 - 1)(2^4 - 1) + (2^3 - 1)(2^4 - 1) = \\ &= 315 + 21 + 45 + 105 = 486. \end{aligned}$$

Як бачимо з наведеного розрахунку, синтезатор, побудований за такою схемою, може забезпечити приготування 486 різних сумішей, з них: 315 потрійних; 21 бінарних виду 1-2; 45 бінарних виду 1-3 і 105 бінарних виду 2-3. Варто підкреслити, що таку кількість різних сумішей може приготувати синтезатор, побудований всього на дев'яти дроселях.

Принцип 3 – використання багатостадійного розчинення для одержання низьких концентрацій компонентів. Побудова дросельних синтезаторів для сумішей з малими концентраціями компонентів (наприклад, порядку 0,01%) вимагає або застосування дроселів з великою різницею в довжинах чи в діаметрах їх прохідних каналів (наприклад, в 10^4 разів), або використання надто великої кількості (наприклад, порядку 10^3) дроселів в каналах компонентів, концентрація яких має бути високою. Багатостадійне розчинення дає змогу уникнути великої різниці в конструктивних розмірах застосовуваних дроселів, а тим самим і у витратах компонентів синтезованої суміші, завдяки чому

підвищується точність задання концентрацій компонентів, а також застосовувати у каналах всіх компонентів помірну кількість дроселів (наприклад, до 10).

На рис. 3 показані схеми багатостадійного розчинення газу 1 газом 2. Як зрозуміло з рисунка, такі схеми являють собою комбінацію суматорів потоків (наприклад, D_{11} - D_{12} , D_{32} - D_{33}) і подільників потоків (наприклад, D_{21} - D_{22} , D_{31} - D_{32}). При цьому перша стадія розчинення (утворення суміші 1) побудована за допомогою дроселів D_{11} , D_{12} , друга (утворення суміші 2) – за допомогою дроселів D_{21} , D_{22} , D_{23} , а третя (утворення суміші 3) – за допомогою дроселів D_{31} , D_{32} , D_{33} . Подільники потоків (на другій стадії – D_{21} - D_{22}), на третій – D_{31} - D_{32} тощо) використовуються для зменшення витрати суміші (відповідно суміші 1, суміші 2 тощо), яка поступає на наступну стадію розчинення. Газодинамічний опір R дроселів суматорів і подільників відрізняється, як правило, на порядок в кожному (наприклад, у подільнику – $R_{21} \ll R_{22}$, а в суматорі – $R_{32} \gg R_{33}$), що уможливило істотне пониження концентрації газу 1 на кожній стадії розчинення (наприклад, на порядок), а також дає можливість одержати прийнятні конструктивні розміри застосовуваних дроселів.

a

б

в

Рис. 3. Схеми багатостадійного розчинення для одержання бінарних сумішей:

a – двостадійного; *б* – трістадійного; *в* – *N*-стадійного розчинення

Принцип 4 – забезпечення однакових умов дроселювання усіх компонентів синтезованої суміші.

Умови дроселювання газу визначаються формою і розмірами прохідного каналу дроселя, абсолютними тисками на вході та виході дроселя, температурою газу, а також формою і розмірами підвідного та відвідного каналів дроселя. Чим якісніше забезпечення тотожності цих умов, тим точніше задання концентрацій компонентів синтезованої суміші.

Для забезпечення першої з вказаних умов необхідно, щоб усі дроселі синтезатора були однотипними, наприклад, виготовлені у вигляді циліндричного отвору в тонкій стінці, або у вигляді прямого циліндричного капілярного каналу з доволі великим співвідношенням довжина/діаметр.

Дотримання однакової температури дроселювання усіх компонентів синтезованої суміші є набагато складнішим завданням. Воно вимагає відповідної теплової підготовки чистих компонентів (наприклад, регламентованої витримки у приміщенні), вирівнювання температурного поля в корпусі, забезпечення достатньої інтенсивності теплообміну між чистими компонентами і повітрям всередині корпусу, компактного розміщення усіх дроселів (наприклад, у вигляді окремого блока) в незастійній зоні корпусу.

Не менш складним є завдання забезпечення однакових тисків на входах і виходах всіх дроселів кожної стадії приготування суміші. При цьому співвідношення тисків на входах і виходах всіх дроселів має забезпечити стабільний режим протікання газу в каналах дроселів (зокрема, ламінарний). Системи вирівнювання тисків на входах капілярів і створення умов рівності тисків на виходах капілярів тисків залежно від необхідної точності синтезування можуть бути побудовані з використанням стабілізаторів, повторювачів тисків, вирівнювачів тисків, а також лінійних подільників тиску в синтезаторах з багатостадійним розчиненням [15–17]. Форма і розміри підвідних та відвідних каналів дроселів безпосередньо біля них повинні бути однаковими, а їх відхилення не повинні впливати на умови входу (виходу) газу в каналі дроселя. Крім того, для усунення впливу опору з'єднувальних (підвідних та відвідних) каналів синтезатора діаметр їхнього прохідного перерізу має бути принаймні на порядок більший за діаметр прохідного перерізу дроселів.

Принцип 5 – забезпечення стабільних умов дроселювання компонентів синтезованої суміші. Цей принцип передбачає стабілізування температур і тисків усіх компонентів в дроселях синтезатора з метою уникнення впливу зовнішніх чинників і тим самим забезпечення високої стабільності концентрацій компонентів синтезованої суміші. Температура в приміщенні повинна підтримуватися постійною з амплітудою відхилень, що не перевищує ± 2 °С, а балони з чистими газами мають бути витримані у цьому приміщенні не менше доби. Температура повітря всередині корпусу синтезатора має бути стабілізована з точністю до $\pm 0, 2$ К і має бути забезпечений достатній для доведення температури чистих газів до рівня температури всередині корпусу синтезатора теплообмін між потоками компонентів та повітрям в синтезаторі. Система знешкодження впливу зовнішніх температур включає в себе високостабільний термометр з похибкою $\pm 0, 05$ К, позиційний регулятор температури повітря в синтезаторі, малоінерційний нагрівний елемент, вирівнювач температури в корпусі (вентилятор) і теплообмінники.

Знешкодження впливу зовнішніх тисків передбачає підтримання тисків з максимальним відхиленням на вході синтезатора до ± 100 кПа, а на виході – до ± 10 кПа, а також стабілізування тисків на входах і на виходах капілярів. Підтримання постійності тисків на входах і на виходах капілярів здійснюється за допомогою стабілізаторів надлишкового або абсолютного тиску (як типу “до себе”, так і “після себе”), наприклад, типу СДГ, САД, СПД [16].

Принцип 6 – застосування як дроселів капілярних елементів (скляних або металевих капілярних трубок). Перевагами капілярних елементів щодо інших типів дроселів є: можливість точної підгонки значення газодинамічного опору, зокрема шляхом зміни довжини капіляра; можливість зміни характеру витратної характеристики шляхом зміни співвідношення діаметр-довжина прохідного каналу; стабільність конструктивних розмірів прохідного каналу (особливо скляних, робоча поверхня яких є міцна, гладка і хімічно інертна); технологічність монтажу капілярів; висока точність математичного опису витратної характеристики капілярів. Для побудови високоякісних газодинамічних синтезаторів як дроселі слід використовувати скляні капілярні елементи.

Попередній підбір капілярів для довільних газів (компонентів синтезованої суміші) здійснюють розрахунковим шляхом (похибка до 2 %) з витратної характеристики капіляра [18, 19], яку доцільно подати у вигляді

$$G = A \left(\sqrt{Z + 1} - 1 \right), \quad (6)$$

де G – масова витрата газу; $A = 4 \pi \mu L / m$ – коефіцієнт витрати капіляра; μ – динамічна в'язкість газу за температури T ; L – довжина прохідного каналу капіляра; m – коефіцієнт кінцевих ефектів; $Z = YB$ – комплекс розмірів прохідного каналу і параметрів газу; $Y = KX$ – комплекс розмірів каналу, параметрів виду газу і температури; $K = m d^4 / L^2$ – конструктивний комплекс; d – діаметр прохідного каналу капіляра; $X = 1 / (512 \mathcal{R} T \mu^2) = 2, 349085 \cdot 10^{-7} M / (T \mu^2)$ – параметричний комплекс газу; \mathcal{R} – газова стала; M – молекулярна маса газу; $B = P_{>}^2 - P_{<}^2$ – комплекс тисків; $P_{>}$ і $P_{<}$ – тиск газу на вході й на виході капіляра відповідно.

Принцип 7 – оптимізація конструкції капілярів суматора за критерієм мінімізування похибки

концентрації від основних чинників впливу. Стабілізація чинників впливу (тиски і температури) хоча й уможливило б будувати достатньо якісні синтезатори, проте вимагає прецизійного і дорогого обладнання, похибки якого все-таки спричиняють відчутні похибки концентрацій компонентів синтезованої суміші. У зв'язку з цим для побудови високоточних синтезаторів необхідно забезпечити компенсацію основних чинників впливу – тисків на виходах джерел чистих компонентів, барометричного тиску, навантаження синтезатора, температур компонентів і температури середовища. Така компенсація реалізується відповідним підбором геометричних розмірів капілярних елементів суматора. При цьому забезпечення однакових умов дроселювання усіх компонентів синтезованої суміші (тиски, температура) фактично лише створює умови для забезпечення компенсації, що дає змогу будувати якісні та порівняно недорогі синтезатори із застосуванням простих пристроїв стабілізації.

З метою забезпечення високої точності синтезу конструкція суматора потоків (тобто геометричні розміри капілярів – $d_1, d_2, \dots, d_N, L_1, L_2, \dots, L_N$) має бути оптимізована так, щоб внаслідок дії чинника впливу витрати усіх компонентів хоча й змінювалися, але їх співвідношення залишалися постійними. Індекси 1, 2, ..., N тут і далі відносять вказані параметри відповідно до першого, другого, ..., N -того дроселя суматора або відповідного компонента.

Для компенсації зміни тисків на входах і виходах капілярів суматора, а також барометричного тиску, необхідно, щоб

$$Z_1 = Z_2 = \dots = Z_N . \quad (7)$$

Умова (7) для суматора може бути забезпечена, якщо $Y_1 = Y_2 = \dots = Y_N$ і $B_1 = B_2 = \dots = B_N$, тобто якщо $K_1 X_1 = K_2 X_2 = \dots = K_N X_N$ і $P_{>1} = P_{>2} = \dots = P_{>N}$, $P_{<1} = P_{<2} = \dots = P_{<N}$, звідки випливає, що компенсація змін тисків можлива лише за відповідності конструктивних комплексів K капілярів параметричним комплексам X компонентів, а також однаковості тисків на входах і виходах капілярів.

Для забезпечення компенсації змін температури компонентів необхідно вирівняти їх температури, а геометричні розміри капілярів суматора необхідно підібрати так, щоб вони були зв'язані з параметрами, які визначають в'язкість компонентів, залежністю

$$D_i = (D_j v_j - 2 T \zeta_{ji}) / (v_i \delta_{\mu ji}), \quad ; \quad (i, j = \overline{1, N}; i \neq j), \quad (8)$$

де $D = 1 / \dot{Z} + 1$, $\dot{Z} = (Z + 1)^S$, $v = \mu + 2 \beta T$; β – коефіцієнт за T лінійної апроксимації в'язкості; $T = T_i = T_j$, $\zeta_{ji} = \beta_j - \beta_i \delta_{\mu ji}$, $\delta_{\mu ji} = \mu_j / \mu_i$.

Температурна компенсація однак зустрічається для порівняно малих змін температури внаслідок присутності в умові (8) параметра T .

Конструкції капілярів, розраховані за допомогою рівнянь (7) і (8), не збігаються, хоча можуть бути доволі близькими між собою. Це означає: а) неможливо побудувати суматор з повною компенсацією вказаних основних чинників впливу; б) конструкції, що належать інтервалу, визначеному умовами (7)–(8), є доцільними для побудови суматора.

Принцип 8 – застосування лінійних дроселів. Для забезпечення компенсації змін зовнішніх тисків на входах і виходах синтезатора з багатостадійним розчиненням необхідним є забезпечення лінійності витратних характеристик усіх дроселів синтезатора, завдяки чому усі подільники (тисків та витрат) схеми є лінійними [17, 20]. Умова лінійності витратної характеристики капілярного елемента:

$$Y P_{<}^2 = 1 \quad (9)$$

Принцип 9 – застосування дроселів з однаковими опорами на одному та різних газах. З метою досягнення особливо високої точності приготування газових сумішей доцільно використовувати дросельні елементи з рівними газодинамічними опорами. Виготовити такі дроселі можна з точністю, яка набагато перевищує точність атестації газових сумішей відомими методами.

Капіляри з однаковими опорами на одному газі можна одержати підбором потрібної кількості капілярів з однаковими діаметрами d і довжинами L , застосувавши для визначення їх значення формулу (6) витратної характеристики капіляра. Попередній підбір капілярів для різних газів

(компонентів синтезованої суміші) здійснюють розрахунковим шляхом, враховуючи умову

$$A_1 = A_2 = \dots = A_N . \quad (10)$$

Точно підігнати (проградувати) дросельні елементи можна за допомогою високоточного плівкового витратоміра [21], сумарна похибка вимірювання якого може не перевищувати 0, 06 %, зокрема для газів під тиском, близьким до атмосферного.

Найдосконаліший метод градування дросельних елементів полягає у встановленні відповідного співвідношення газодинамічних опорів дроселів у каналах. Точна підгонка співвідношення здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв для встановлення рівності газодинамічних опорів [22]. Ці пристрої дають змогу підігнати опір двох дроселів (кожен з яких може бути окремим капіляром або пакетом кількох паралельно з'єднаних капілярів) з дуже високою точністю. Так відносна похибка відхилення газодинамічних опорів підібраних капілярних трубок може не перевищувати 0, 001 % [23]. В такий спосіб встановлене співвідношення провідностей дроселів схеми визначає і точно встановлене співвідношення витрат компонентів, а тим самим і їх концентрацій.

Використання таких дроселів дає можливість атестувати суміш за співвідношенням кількостей дроселів в каналах компонентів. Наприклад, для розрахунку концентрації компонентів бінарної суміші на виході суматора двох газів використовуємо такі формули:

$$r_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} ; \quad r_2 = 1 - r_1 . \quad (11)$$

де r_1, r_2 – відповідно концентрації визначуваного газу та газу-розчинника; m_1, m_2 – кількості дросельних елементів з рівними газодинамічними опорами в каналах компонентів.

Принцип 10 – застосування еквівалентних дроселів з кратним значенням опору (провідності). Побудова генераторів на дроселях з рівними газодинамічними опорами для сумішей з концентраціями компонентів, які значно відрізняються між собою, вимагає встановлення в каналах окремих компонентів суматора значної кількості дроселів. В таких випадках доцільно застосовувати замість багатьох дроселів один дросель, газодинамічний опір R (і відповідна провідність S як величина, обернена до опору) якого еквівалентний сумарному опору замінюваних дроселів, що істотно полегшує конструювання пристрою. Відносну провідність S_e еквівалентного дроселя, який замінює m однакових за провідністю дроселів, можна визначити за формулою

$$S_e = m S_0 , \quad (12)$$

де S_0 – відносна провідність базового дроселя (окремого із замінюваних дроселів).

Застосування еквівалентних дроселів дає змогу градувати синтезатор за співвідношенням опорів (провідностей) дроселів в каналах компонентів.

Висновок. Розроблені принципи побудови газодинамічних синтезаторів багатокомпонентних газових сумішей із наперед заданим складом, які забезпечують можливість генерувати в динамічному режимі високоточні суміші, дають змогу незалежно змінювати концентрації окремих компонентів і атестувати суміші за співвідношенням газодинамічних опорів дроселів синтезатора.

1. Санкин Я.Л. и др. Устройство приготовления и подачи газовой смеси в культиватор клеток // Пневматические системы управления биологическими процессами. – М., 1987. – С. 99. 2. Бурлаков Р.И., Трушин А.И. Современное состояние применения пневмоавтоматики в медицинской наркозно-дыхательной аппаратуре. Т. 1 // Пневмоавтоматика. – Львов, 1985. – С. 83–84. 3. Теплюх З. Синтезаторы проверяющих сумішей приладів контролю ефективності горіння палива // Транспортування, контроль якості, облік енергоносіїв. – Львів, 1998. – С. 179–184. 4. Коллеров Д.К. Организация метрологического контроля за газоанализаторами // Измерительная техника. – 1970. – № 10. – С. 70–74. 5. Коллеров Д.К. Метрологические основы газоаналитических измерений. (Теория и

практика получения градуировочных и поверочных газов и газовых смесей). – М., 1967.

6. Хацкевич Е.А., Попова Т.А. Хроматографический метод определения компонентного состава природного газа // Газовая промышленность. – М., – 1999. – №4. – С. 28–29. 7. Грязина Л.И. Проблема хранения чистых газов и поверочных газовых смесей // Измерительная техника. – 1975. – № 6. – С. 82–85. 8. Коллеров Д.К. Газоанализаторы. Проблемы практической метрологии. – М., 1980. 9. United States Patent № 4915123. Int. Cl.⁴ G01D 11/03; U.S. Cl. 137/599; 137/606. Apparatus for preparing gas mixtures from constituents taken in a given proportion / G. A. Morgovsky, E.P. Pistun, Z. N. Tepljukh, Y. L. Sankin. – Appl. No.: 189, 471; Filed: May 2, 1988. Date of Patent: Apr. 10, 1990. 10. Patent France № 2630660. Int. Cl.⁴ B01F 3/02, 13/06, 15/04. Dispositif pour la preparation de melanges gazeux a concentration predeterminee des composants. / G. A. Morgovsky, E. P. Pistun, Z. N. Tepljukh, Y. L. Sankin. – №88 05694; Date de depot 28.04.88. 11. Patent BRD № 3812645. Vorrichtung zur Herstellung von Gasgemischen mit einer vorgegebenen Komponenten-konzentration / Morgovsky G.A., Pistun E.P., Tepljukh Z.N., Sankin Ya. L. 12. Patent of GB № 2216816. Apparatus for preparing gas mixtures from constituents taken in a given proportion / Morgovsky G.A., Pistun E.P., Tepljukh Z.N., Sankin Ya. L. 13. Теплох З.М., Ділай І.В. Змішувач основних компонентів природного газу для метрологічної перевірки хроматографів // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2004. – №500. – С. 123–130. 14. Теплох З.М. Синтезатори газових сумішей для перевірки аналізаторів складу димових газів // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ. – 2002. – № 8. – С. 83–85. 15. Теплох З.М., Ділай І.В. Експериментальне дослідження вирівнювача тисків // Вісник ДУ “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”. – 1997. – № 318. – С. 72–75. 16. Прохоров В.А. Основы автоматизации аналитического контроля химических производств. – М., 1984. 17. Пістун Є.П., Теплох З.М., Друль Я.Г., Ділай І.В. Лінійні подільники тиску та їх використання в контрольно-вимірювальній техніці // Контрольно-вимірювальна техніка: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Львів, 1993. – Вип. 50. – С. 45–48. 18. Пістун Є.П., Стасюк І.Д., Теплох З.Н. Исследование расходных характеристик дроссельных элементов измерительных устройств // Контрольно-измерительная техника: Респ. межведомственный научно-техн. сборник. – Львов, 1985. – Вып. 38. – С. 44–46. 19. Теплох З.М. Розрахунок ламінарного подільника тиску // Вісник ДУ “Львівська політехніка” “Теплоенергетичні системи та пристрої”. – 1993. – №273. – С. 42–44. 20. Пістун Є.П., Теплох З.Н., Ділай І.В., Друль Я.Г. Линейные газодинамические дроссели и их применение в газоаналитической технике // Контрольно-измерительная техника: Респ. межведомственный научно-техн. сборник. – Львов, 1990. – Вып. 47. – С. 58–61. 21. Теплох З.М., Парнета О.З. Високоточний плівковий витратомір // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація”. – 2004. – №506. – С.275–282. 22. Теплох З., Пістун Є., Ділай І. Пристрої для встановлення рівності опору дроселів синтезатора газових сумішей // Вимірювальна техніка та метрологія: Міжвідомчий наук.-техн. збірник. – 2002. – Вип. 59. – С.178–182. 23. Івахів О.В., Теплох З.М. Підгонка опору дроселів за допомогою газодинамічного моста // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Автоматика, вимірювання та керування”. – 2003. – № 475. – С. 15–21.

УДК 621.568

О.П. Чабан, В.М. Юзевич

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра метрології, стандартизації та сертифікації

ЯКІСТЬ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ СИГНАЛУ І ЗВ’ЯЗОК З КОРЕЛЯЦІЙНИМ АНАЛІЗОМ

© Чабан О.П., Юзевич В.М., 2006

Розглянуто методику оцінки якості системи обробки сигналів на прикладі взаємодії