

питного водопостачання". 4. Маляренко В.В., Гончарук В.В. // Химия и технология воды. 2002, Т. 24, №1. 5. Доан С., Бондаренко В. та ін. Характеристика вірусного забруднення водопровідної води // Стандартизація, сертифікація, якість. – №4. 2003. 6. *Studies in Environmental Science 12 Water supply and Health*. Edited by H. van Lelyveld, B.C.J. Zoeteman. ELSEVIER, 1981. 7. Twort A. C., Law F.M., Crowley F.W., Ratnayaka B.B. *Water supply*, 1996.

УДК 681.2.53.082:543.5:389.14

З.М. Теплох, І.В. Ділай

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

## ЗМІШУВАЧ ОСНОВНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ ПЕРЕВІРКИ ХРОМАТОГРАФІВ

© Теплох З.М., Ділай І.В., 2004

**Описаний змішувач побудований на дроселях з кратними значеннями газодинамічних опорів (провідностей) і призначений, зокрема, для градуювання і метрологічної перевірки хроматографів у системі контролю якості природного газу і визначення витрати (кількості) отриманої (відпущеної) з газом енергії. Описана також методика визначення впливу супутніх компонентів на вихідний сигнал аналізатора складу газу за допомогою цього змішувача.**

**The described mixer is build on the capillaries with divisible values of gas-dynamical resistances and is assigned, specifically, for chromatograph's calibration and metrological testing in system of natural gas quality control and flow rate (quantity) determination energy received with gas. The methods of determination attendant components influence on outlet signal of gas composition analyzer by that mixer is also described.**

**Вступ.** Питання обліку природного газу як основного енергоносія мають першочергове значення для України, яка займає одне з перших місць в Європі за обсягами його транспортування і споживання. Так, щороку у нас транспортується близько 200 млрд. куб. метрів газу, а довжина газотранспортної системи – понад 35 тис. км. і газорозподільної – 225 тис. км. Сьогодні природний газ практично увесь використовують як джерело теплової енергії з регламентованою нижньою межею калорійності, проте його облік зводиться до контролю витрати (кількості). Внаслідок цього взаємовідносини між постачальником і споживачем газу побудовані не на основі відпущеної (одержаної) енергії, а на основі відповідних об'ємів газу з частковим (одностороннім, періодичним) контролем якості природного газу, що не завжди забезпечує налагодження нормальних ринкових взаємовідносин між постачальником і споживачем. Так, теплотворна здатність газу в газогонях Львівтрансгазу, як правило, значно перевищує мінімально допустиму (наприклад, на 6 %) і змінюється в межах  $\pm 1$  %, що може призводити до неврахування значної кількості енергії, а, отже, і до неправильного визначення вартості відпущеного (одержаного) газу.

Визначати кількість відпущеної (одержаної) з природним газом енергії доцільно за допомогою автоматичного розрахунку за даними неперервного контролю витрати (кількості) газу з одночасним контролем його якості через концентрації компонентів. Для визначення компонентного складу природного газу найпоширенішим і визнаним методом в багатьох країнах світу є хроматографічний метод [1], проте впровадженню хроматографії в практику перешкоджає насамперед проблема метрологічного забезпечення. Крім того, у зв'язку з особливостями хроматографа як аналітичного приладу існує потреба постійного підтвердження його градуюваль-

них характеристик [2,3] за допомогою перевірювальних газових сумішей [4], зокрема, після кожного вимкнення/увімкнення. Реально таку перевірку здійснюють із значними інтервалами часу і за допомогою, як правило, однієї газової суміші в балоні. Водночас градування будь-якого аналітичного приладу в загальному випадку вимагає щонайменше трьох-чотирьох перевірювальних сумішей для кожного компонента аналізованої суміші з різним вмістом визначального компонента (в усьому діапазоні можливих змін його концентрації) [5] і одними й тими самими концентраціями супутніх компонентів, що є практично неможливим при градуванні хроматографа з використанням застосовуваних дотепер методів приготування перевірювальних газових сумішей. Крім того, використання цих методів не дає змоги якісно оцінити вплив зміни концентрацій супутніх компонентів, а відповідно, і враховувати такий вплив під час вимірювання. Природний газ містить щонайменше сім основних компонентів і тому для калібрування хроматографа за усіма компонентами потрібно близько тридцяти різних за вмістом визначального компонента перевірювальних сумішей, тобто цілий парк балонів, що на практиці нереально.

Недоліки застосовуваних методів приготування газових сумішей зумовили появу газодинамічних змішувальних пристроїв (синтезаторів), які доцільно використовувати для метрологічного забезпечення хроматографа, оскільки вони дають змогу градувати хроматограф за кількома точками діапазону зміни концентрації кожного компонента при постійних концентраціях інших компонентів, а також якісно оцінити вплив супутніх компонентів на градувальну характеристику кожного компонента. У цій роботі, яка є продовженням опублікованих раніше досліджень (див. напр. [7]), розглянуті питання побудови запропонованого нами газодинамічного дросельного синтезатора перевірювальних сумішей, побудованого на капілярних елементах з кратними газодинамічними опорами.

Метою роботи є розробка високоточного змішувача основних компонентів природного газу, концентрація яких відповідає реальному складу газу і може незалежно змінюватися в межах діапазону вимірювання хроматографа, а також розробка методик градування хроматографа і оцінювання впливу супутніх компонентів.

**Склад природного газу і забезпечення якості його визначення.** Метан, етан, азот, пропан, вуглекислий газ і бутани становлять основу природного газу, їх загальний вміст становить, як правило, більше ніж 99,9 % і наявність домішок інших компонентів (зокрема вищих вуглеводнів) практично не впливає на енергоємність відпущеного(одержаного газу), особливо на тлі сучасної точності визначення витрати газу.

Внаслідок багатьох різних причин концентрації компонентів природного газу в газогонах не є сталими. На базі аналізу складу газу в різних пунктах відбору проби у газогонах Львівтрансгазу для проектування синтезатора приймаємо діапазони концентрацій компонентів, вказані в табл. 1.

Таблиця 1

**Вміст основних компонентів у природному газі**

Компонент	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Вміст, %об.	96 ±3	1,5 ±1,5	0,8 ±0,8	0,1 ±0,1	0,1 ±0,1	1 ±1	0,5 ±0,5

Для забезпечення високої точності визначення хроматографом вмісту компонентів природного газу перевірювальні суміші за складом повинні відповідати аналізованому газу [1,8], тобто номінальні концентрації компонентів перевірювальних сумішей повинні бути такими, як вказано у табл. 1. З огляду на проблеми отримання перевірювальних сумішей нормативні документи (наприклад, [5]) рекомендують градування і метрологічну перевірку газоаналітичної апаратури здійснювати в трьох-чотирьох рівномірно розташованих точках діапазону зміни концентрації визначального компонента. Крім того, концентрації супутніх компонентів в таких

сумішах повинні відповідати номінальним і залишатися незмінними для кожної перевірюваної точки діапазону зміни концентрації визначального компонента. Застосування пропонованого нами змішувача вирішує всі ці проблеми.

**Змішувач основних компонентів природного газу.** Оскільки вміст основних компонентів газу практично є на рівні макроконцентрацій (див. табл. 1), такий синтезатор можна будувати за схемою одностадійного розчинення потоків усіх компонентів на дроселях із кратними значеннями газодинамічного опору. Газодинамічний опір  $R$  (і відповідна провідність  $S$  як величина, обернена до опору) дросельного елемента, що забезпечує концентрацію 1 %об., визначений як базовий (одиничний). Внаслідок значної відмінності (до кількох порядків) в концентраціях компонентів дозувальні дроселі компонентів малих концентрацій мають опори, цілочислово кратні за значенням до вибраного базового, а дроселі компонентів великих концентрацій мають провідності, цілочислово кратні за значенням до вибраної базової. Саме така побудова синтезатора дає змогу з високою точністю задавати склад синтезованої газової суміші.

Для забезпечення градуювання хроматографа на вміст тільки одного компонента у продуковану синтезатором суміш введений як додатковий компонент гелій (у разі використання його як газу-носія у хроматографі). У такому разі необхідна одночасна зміна на однакову величину, але в протилежних напрямках вмісту досліджуваного компонента і вмісту гелію, що не впливає на розміри всіх піків хроматограми, крім піку досліджуваного компонента. Ця визначальна особливість синтезатора і пропонованої методики дає змогу градуювати хроматограф за кожним компонентом окремо при постійних значеннях вмісту всіх решти компонентів природного газу, тобто дає змогу позбавитись впливу супутніх компонентів під час градуювання і вимірювання.

На рис. 1 показана схема змішування чистих компонентів, на виході якої утворюється суміш, що за своїм складом і властивостями є аналогом природного газу і яка завдяки відомому з високою точністю складу придатна для градуювання хроматографів і одночасно для оцінювання впливу супутніх компонентів. На цій схемі показані тільки пакети 1 із змінною кількістю увімкнених дроселів (див. рис. 2), окремий дросель 2 і канали, що з'єднують ці елементи, з входами чистих компонентів і виходом готової суміші. На схемі не показано елементи, призначені для забезпечення високої точності синтезування, зокрема елементи систем термостабілізування і теплообміну, елементи стабілізування тисків тощо, які могли б затінити картину синтезу. Керовані електрично або іншим способом клапани пакетів (рис. 2) дають змогу дискретно міняти витрату компонентів, а тим самим і склад суміші на виході.

Для наведеної схеми найважливішими є питання забезпечення високої точності співвідношення між газодинамічними опорами дроселів у каналах компонентів, в той час як абсолютні значення цих опорів визначають лише витрату синтезованої суміші. Абсолютне значення цієї витрати може бути знайдене розрахунково і така точність його визначення є задовільною для цієї задачі. Витрата синтезованої суміші є стабілізована з точністю, аналогічною до точності задання складу суміші, що практично ліквідує один з чинників впливу під час дослідження метрологічних властивостей аналізаторів складу і є ще однією перевагою пропонованого синтезатора.

Точна підгонка кратних опорів здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв для встановлення рівності газодинамічних опорів на одному і на різних газах [9]. Ці пристрої дають змогу наблизити опір двох дроселів (або пакета і окремого дроселя) з дуже високою точністю, наприклад, відносна похибка відхилення газодинамічних опорів підібраних капілярних трубок може не перевищувати 0,001 % [10]. Таким способом встановлене співвідношення провідностей дроселів схеми визначає і точно встановлене співвідношення витрат компонентів синтезованої суміші, що дає змогу розрахунково точно визначати її компонентний склад.

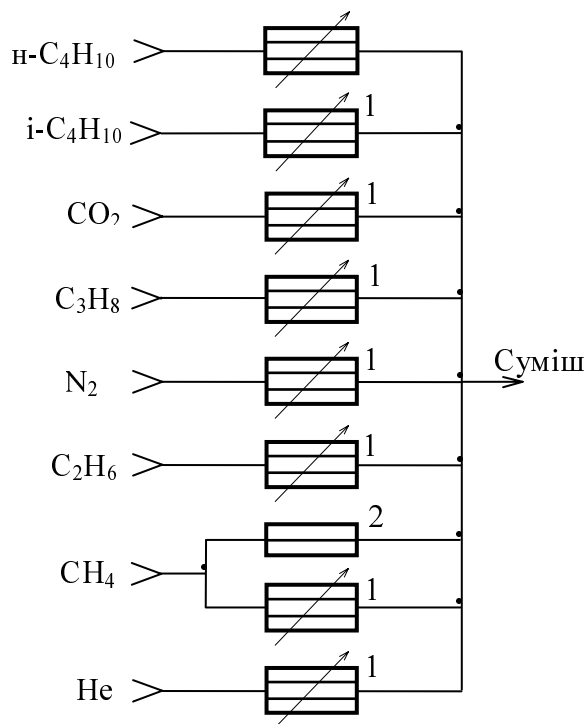


Рис. 1. Принципова схема синтезатора основних компонентів природного газу: 1 – пакет, 2 – дросель.

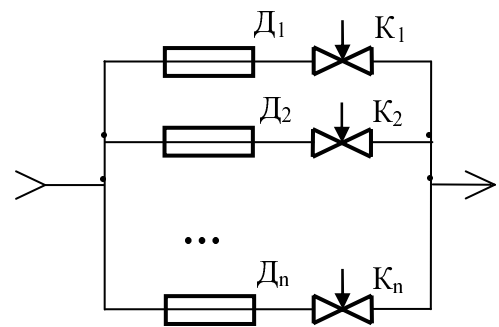


Рис. 2. Пакет дроселів з дискретно змінюваним опором: Д – дросель, К – клапан.

Концентрацію  $r_i$   $i$ -го компонента суміші можна визначити за формулою

$$r_i = \frac{S_i}{S_{\Sigma}} = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^N S_j}; \quad (i, j=1, \dots, N), \quad (1)$$

де  $S_i$ ,  $S_j$  – сумарна провідність всіх увімкнених дроселів  $i$ -го,  $j$ -го компонента відповідно;  $S_{\Sigma}$  – сумарна провідність всіх увімкнених дроселів у каналах усіх компонентів;  $N$  – кількість компонентів суміші (для цієї схеми  $N=8$ ).

Відповідно до даних табл. 1 і вибраної одиничної провідності за допомогою формули (1) можна розрахувати необхідні провідності встановлених дроселів у каналах компонентів щодо провідності базового дроселя (див. табл. 2). У такому разі внаслідок вибраної, як вказано вище, величини базової провідності числові значення всіх провідностей та відповідних концентрацій збігаються.

Визначені провідності дроселів дають змогу задавати різні концентрації компонентів синтезованої суміші відповідно до вказаних у табл. 1. У цьому разі номінальна провідність, вказана у табл. 2, задає суміш із середнім очікуваним вмістом компонентів згідно з табл. 1, а діапазони зміни провідностей задані в табл. 2 найменшими і найбільшими провідностями дроселів відповідних каналів. Так, наприклад, пакет у каналі етану складено з трьох дроселів з провідностями  $S_1=0,5$ ,  $S_2=1$ ,  $S_3=2$ , а пакет у каналі  $\text{CO}_2$  – з провідностями  $S_1=0,25$ ,  $S_2=0,25$ ,  $S_3=0,5$ . Провідності дроселів пакетів показані в табл. 3 в круглих дужках. У каналі метану, крім пакета, встановлено дросель постійного опору з провідністю  $S=93$ .

Змішувач дає змогу отримувати перевірювальні суміші з різним вмістом визначального компонента при різних провідностях відповідного пакета змінного опору. В табл. 3 і 4 для прикладу показані деякі склади перевірювальних сумішей на виході синтезатора, з яких зрозуміло, що при змінній концентрації визначального компонента концентрації супутніх компонентів у перевірювальних сумішах є сталими і відповідають аналізованам сумішам.

Таблиця 2

## Провідності дроселів у каналах компонентів відносно провідності базового дроселя

Канал	Провідності встановлених дроселів	Найменша провідність	Номінальна провідність	Найбільша провідність
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	(0,05; 0,05; 0,1)	0	0,1	0,2
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	(0,05; 0,05; 0,1)	0	0,1	0,2
CO <sub>2</sub>	(0,25; 0,25; 0,5)	0	0,5	1
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	(0,1; 0,2; 0,5; 1)	0	0,8	1,8
N <sub>2</sub>	(0,5; 0,5; 1)	0	1	2
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	(0,5; 1; 2)	0	1,5	3,5
CH <sub>4</sub>	93; (0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 3)	93	96	99,8
He	(0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 3)	0	-	7,1

Таблиця 3

Перевірювальні суміші для градування хроматографа на вміст C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

Провідність пакета в каналі	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	He	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0
Концентрація компонента у перевірювальній суміші, % об.	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1						
	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1						
	CO <sub>2</sub>	0,5						
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,8						
	N <sub>2</sub>	1						
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	CH <sub>4</sub>	94,5						
	He	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0

Для унаочнення можливостей і переваг синтезатора в табл. 5 показані основні перевірювані точки градуювальних кривих хроматографа. Кількість цих точок для кожного компонента однозначно визначається кількістю комбінацій провідностей дроселів відповідного пакета, тобто їх кількістю і значеннями опорів. У такому разі для забезпечення якісного відтворення градуювальних кривих кількість К перевірювальних точок вибрана з умови К 4, тобто більшою, ніж прийнято дотепер в газовому аналізі, та з урахуванням вимог нормативних документів щодо розміщення перевірюваних точок в діапазоні вимірювання. Кількість точок для основних енергосмних компонентів (CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) є набагато більшою.

Таблиця 4

Перевірювальні суміші для калібрування хроматографа на вміст n-C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>

Провідність пакета	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0,05	0,1	0,15	0,2
	He	0,2	0,15	0,1	0,05	0
Концентрація компонента у перевірювальній суміші, % об.	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0	0,05	0,1	0,15	0,2
	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,1				
	CO <sub>2</sub>	0,5				
	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,8				
	N <sub>2</sub>	1				
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1,5				
	CH <sub>4</sub>	95,9				
	He	0,2	0,15	0,1	0,05	0

## Основні перевірювані точки градувальних кривих хроматографа

№ точки	n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	CO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	N <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	CH <sub>4</sub>
1	0	0	0	0	0	0	93
2	0,05	0,05	0,25	0,1	0,5	0,5	94
3	0,1	0,1	0,5	0,5	1	1	95
4	0,15	0,15	0,75	0,8	1,5	1,5	96
5	0,2	0,2	1	1,2	2	2	97
6	-	-	-	1,5	-	2,5	98
7	-	-	-	1,6	-	3	99

На значення концентрацій компонентів приготованої за допомогою запропонованого синтезатора газової суміші істотний вплив можуть чинити температура і тиск компонентів у змішувачі.

Температура компонентів у змішувачі залежить від температури довкілля і чистих газів у балонах. Тому температура в приміщенні повинна підтримуватися постійною, наприклад, на рівні  $22 \pm 2$  °С, балони з чистими газами мають бути витримані у приміщенні не менше ніж добу, температура всередині корпусу синтезатора має бути стабілізована з точністю  $\pm 0,2$  К, має бути забезпечений достатній для доведення температури чистих газів до рівня температури всередині корпусу синтезатора теплообмін між потоками компонентів та повітрям в синтезаторі. Система термостабілізації містить високостабільний термометр з похибкою  $\pm 0,05$  К, позиційний регулятор температури, нагрівний елемент, вирівнювач температури (вентилятор) і теплообмінники.

До основних чинників впливу належать також зміни тисків живлення кожного компонента, навантаження і тиску на виході синтезатора, а також барометричного тиску. Проблема знешкодження цих чинників вирішена за допомогою системи стабілізування тисків на входах чистих компонентів і виході синтезованої суміші, побудованої на базі стабілізаторів абсолютних тисків та повторювачів тисків.

Крім вказаних систем стабілізування температури і тисків потоків компонентів, у прохідних каналах дроселів відповідним вибором геометричних розмірів капілярів забезпечені умови компенсації цих чинників [10].

Загалом весь вказаний комплекс заходів практично ліквідує вплив температур і тисків на склад синтезованої суміші.

Оцінювання похибок синтезатора було виконане з урахуванням похибок підгонки опорів дроселів однакового опору, похибок впливу завод, а також чистоти газів у балонах [11,12]. Так, зокрема, відносна похибка концентрацій компонентів з найменшим вмістом у синтезованому газі не перевищує 0,1 %, а компонентів, вміст яких є на рівні великих концентрацій – 0,01 %.

**Методики градування хроматографів і оцінки впливу супутніх компонентів.** Змішувачі, побудовані на базі капілярних дозувальних елементів з кратними опорами (провідностями) дроселів у каналах чистих компонентів, дають змогу істотно підвищити якість метрологічного забезпечення хроматографії та довести її до рівня сучасних вимог. Методики застосування цього синтезатора в загальних рисах є такими.

Градування хроматографа виконують окремо для кожного компонента, щоб уникнути можливого впливу супутніх компонентів.

Провідність пакета дроселів визначального компонента встановлюють такою, що відповідає найменшій, а пакета дроселів у каналі гелію – відповідною до різниці між значеннями верхньої та нижньої границь діапазону вимірювання концентрацій визначального компонента. Провідність пакета метану (коли метан не є визначальним компонентом) установлюють такою, що дорівнює номінальній мінус номінальна провідність каналу визначального компонента. Провідності пакетів

усіх решти компонентів дорівнюють номінальній. Отримана у такий спосіб суміш на виході синтезатора дає змогу перевірити першу точку градувальної кривої (нижню межу діапазону).

Після подання цієї суміші в хроматограф фіксують площу піка (або висоту) визначального компонента.

Збільшують провідність пакета дроселів визначального компонента до значення, що відповідає другій перевірювальній точці градувальної кривої, а також зменшують на таку саму величину провідність пакета у каналі гелію так, що сума провідностей (концентрацій) визначального компонента і гелію залишається такою самою, як і для попередньої точки. Очевидно, що концентрації всіх решти компонентів залишаться сталими. Внаслідок цього одержують більшу площу піка визначального компонента, яка відповідає збільшеній концентрації. Вказані операції градування проілюстровані вище у табл. 3 і 4.

У такий самий спосіб отримують всі площі піків прямого і зворотного ходу для усіх перевірюваних точок.

Залежність концентрації визначального компонента від площі піка апроксимують поліномом 2-го або 3-го порядку.

Описану процедуру повторюють аналогічно для всіх компонентів природного газу, одержуючи градувальну характеристику для кожного компонента у вигляді відповідного полінома.

У програмі обробки хроматограми вказують коефіцієнти полінома, які й будуть використовуватися для розрахунку концентрацій компонентів.

Внаслідок багатьох причин [13] детектор хроматографа сприймає неідеальні бінарні суміші компонент-носій і тому можуть відзначитись взаємовпливи концентрацій компонентів досліджуваної суміші. Наявність впливу супутніх компонентів на площу піка визначального компонента можна помітити вже під час градування хроматографа. Під час перевірки всіх точок градувальної кривої визначального компонента (як при прямому, так і при зворотному ході) концентрації супутніх компонентів синтезованої суміші залишаються постійними і тому площі їхніх піків на хроматограмі також повинні залишатися постійними. Якщо ж ці площі закономірно змінюються із зміною концентрації визначального компонента, то це свідчить про наявність взаємовпливу концентрацій компонентів.

Суть методики кількісного оцінювання впливу супутніх компонентів така.

Для однієї з вибраних точок діапазону вимірювання досліджуваного визначального компонента змінюють значення концентрації досліджуваного супутнього компонента в діапазоні його змін і компенсують ці зміни концентрацією гелію, так, щоби сума цих трьох концентрацій залишалась постійною і дорівнювала сумі верхніх границь вимірювання досліджуваних визначального і супутнього компонентів. Це забезпечує постійність концентрацій всіх решти компонентів суміші. Концентрації всіх недосліджуваних компонентів (крім метану) встановлюють такими, що дорівнюють номінальним. Якщо метан не є досліджуваним компонентом, його концентрацію встановлюють такою, що дорівнює номінальній мінус сума номінальних концентрацій досліджуваних компонентів. У разі, коли метан є досліджуваним компонентом (визначальним або супутнім), верхня межа його змін в дослідженні не може перевищувати значення, що дорівнює номінальній концентрації метану мінус номінальна концентрація другого досліджуваного компонента.

Вказані дослідження виконують для тих пар компонентів, для яких можливі взаємовпливи на вихідний сигнал хроматографа, фіксуючи площу піка (або висоту) визначального компонента і концентрацію супутнього компонента. Апроксимація одержаних табличних даних дає змогу отримати функції впливу у вигляді відповідних поліномів, які використовують для коригування результатів вимірювання.

Змішувач дає змогу також якісно оцінити за відомими методиками статичні та динамічні похибки вимірювання [8, 14].

**Висновки.** Запропонований синтезатор штучного природного газу із точно заданими концентраціями компонентів має високі метрологічні та експлуатаційні властивості і може бути використаний, зокрема, для градування хроматографів у системі визначення кількості відпущеної/одержаної енергії. Крім того, він дає змогу ефективно визначати похибки вимірювання хроматографа, а також позбутись впливу супутніх компонентів.

Визначальною особливістю змішувача є його побудова на базі дроселів з кратними значеннями газодинамічних опорів (провідностей).

Застосування синтезатора дає змогу точніше визначити реальний склад і якість природного газу, а тим самим сприяє поліпшенню нормальних ринкових взаємовідносин між постачальником і споживачем.

1. Хацкевич Е.А., Попова Т.А. Хроматографический метод определения компонентного состава природного газа // Газовая промышленность. №4. 1999. С.28–29. 2. Коллеров Д.К. Организация метрологического контроля за газоанализаторами // Измерительная техника № 10, 1970. С. 70–74. 3. Коллеров Д.К. Газоанализаторы. Проблемы практической метрологии. – М., 1980. 4. Коллеров Д.К. Метрологические основы газоаналитических измерений. (Теория и практика получения градуировочных и поверочных газов и газовых смесей). – М., 1967. 5. ГОСТ 20220-74. Приборы газоаналитические промышленные автоматические непрерывного действия. – М., 1976. 6. Грязина Л.И. Проблема хранения чистых газов и поверочных газовых смесей // Измерительная техника. № 6. 1975. С. 82-85. 7. Теплюх З.М., Ділай І.В. Метрологічне забезпечення хроматографа контролю складу природного газу // Методи та прилади контролю якості, №7, 2001, С. 142–146. 8. Заец Е.А. Статические погрешности промышленных хроматографов // Измерительная техника № 6, 1975, С. 82–85. 9. Теплюх З., Пістун Є., Ділай І. Пристрої для встановлення рівності опору дроселів синтезатора газових сумішей // Вимірювальна техніка та метрологія. Вип. 59. – 2002, С.178–182. 10. Теплюх З.М. Синтезатори газових сумішей для перевірки аналізаторів складу димових газів // Методи та прилади контролю якості. - № 8, -2002, Ів.-Франківськ, С.83-85. 11. Івахів О.В., Теплюх З.М. Підгонка опору дроселів за допомогою газодинамічного моста // Вісник НУ № 475. 2003, С. 15–21. 12. Бобылев А.В. Требования к чистым газам как исходным компонентам образцовых газовых смесей // Измерительная техника. №5. 1986, С. 54-55. 13. Измерения в промышленности: Кн. 3. Способы измерения и аппаратура: Пер. с нем./ Под ред. П. Профоса – М., 1990. 14. Липавский В.Н. Оценка динамической погрешности промышленных хроматографов // Измерительная техника № 9, 1976, С. 81–83.