

УДК 681.121

В.М. Романів, С.І. Мельничук

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВИЩИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ КОМПОНЕНТ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ЗІ СТАТИСТИЧНИМ РОЗШИРЕННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БАЗИ

*Запропонована методика оперативного оцінювання концентрацій вищих вуглеводневих компонентів природного газу, яка ґрунтується на селективному фрагментарному опрацюванні статистичних даних сумісно із методом медіанних центрів з подальшим розрахунком функцій степеневого полінома.*

**Ключові слова:** компонентний склад, медіанні центри, фрагмент, природний газ.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Природний газ, який постачається споживачам має не постійний компонентний склад. Це обумовлено тим, що газ видобувається із різних родовищ, які відрізняються за вихідними умовами утворення суміші, а також в процесі транспортування його газопроводами та зберігання у підземних сховищах газу змішуються. В таких умовах зміна якісного складу впливає на енерговміст суміші газу і, як наслідок, на ефективність газо залежного виробництва, умови дотримання заданих параметрів технологічних процесів та якість кінцевого продукту. Оперативний контроль за компонентним складом природного газу є особливо важливим для великих металургійних, хімічних підприємств та підприємств із великим споживанням газу, що зумовлено необхідністю оптимізації технологічних схем та процесів, а також для проведення енергоаудиту та розроблення заходів з енергозбереження.

При контролі компонентного складу природного газу на виробництвах найбільш актуальним є визначення концентрацій таких основних вуглеводневих компонент як метан, етан, пропан, бутан та пентан, що орієнтовно складають 98% газової суміші та вносять найбільшу вагу в її теплотворну здатність.

В умовах ПАТ «Івано-Франківськгаз» аналіз якісних характеристик природного газу здійснюється шляхом відбору проб з подальшим визначенням на стаціонарному хроматографі кожні 10 діб. Вважається, що в період часу між вимірами теплотворна здатність природного газу суттєво не змінюється. Однак при експериментальному аналізі кожної доби компонентного складу газу, який проходить місцевими газопроводами встановлено, що має місце зміна компонентного складу і, як наслідок, теплотворна здатність газу коливається в межах до 160 ккал. Таким чином задача безперервного моніторингу компонентного складу природного газу є актуальним завданням в умовах зростання вартості енергоресурсів.

Для визначення компонентного складу природного газу в режимі реального часу поряд із хроматографічними методами перспективним є застосування оптичних методів, які мають такі переваги відносно інших, як селективність, високу чутливість, точність. А газоаналізатори, побудовані на основі цих методів, прості в обслуговуванні, не мають розхідних матеріалів, мають відносно не високу вартість і можуть застосовуватись у вибухонебезпечних приміщеннях. Тому подальший розвиток існуючих оптичних методів для визначення компонент природного газу залишається актуальним питанням.

Удосконалення оптичних методів та засобів, що базуються на цих методах, полягає у підвищенні швидкодії, чутливості та точності вимірювання концентрації компонент газів сумішей завдяки розробці нових підходів до вимірювальних схем оптичних каналів, застосування сучасної елементної бази та засобів опрацювання сигналів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Визначення компонент природного газу оптичними методами було розглянуто в роботі [1]. Де запропоновано проводити вимірювання вуглеводневих компонент на основі волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів. Недоліком такої реалізації є складна функціональна залежність компенсації впливу навколишнього середовища на покази вимірювання компонент, що не дозволило суттєво підвищити точність вимірювання. Інший підхід для вимірювання багатокомпонентної суміші реалізовано в роботі [2] де запропоновано проводити одночасне вимірювання 6 складових природного газу із застосуванням оптико-абсорбційної спектроскопії та подальшої обробки результатів вимірювання із застосуванням методу найменших квадратів. Це дозволило авторам значно підвищити чутливість вимірювання до 0,003% від об'єму. Однак залишилось невирішеним питання підвищення точності та швидкодії. У роботах [3,4] запропоновано удосконалення одного із оптичних методів інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії, яке полягає у застосуванні трикувет-

ної схеми визначення основних горючих складових природного газу на основі використання кільцевидної кювети для визначення частки одного компонента у газовій суміші. Для оперативного вимірювання основних горючих компонент природного газу і розрахунку його теплотворної здатності, безпосередньо у трубопроводі, без попередньої підготовки проб у роботі [4] запропоновано вимірювати такі основні компоненти ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) на основі прямих вимірювань. З отриманих значень концентрацій основних компонентів за допомогою запропонованої методики розраховується сумарна концентрація  $\text{C}_4\text{H}_{10+}$  і енерговміст газової суміші. Такий підхід дозволяє підвищити точність визначення компонентів їх швидкодію та селективність. Для реалізації запропонованого удосконалення розроблено методику визначення концентрації вищих вуглеводнів на підставі даних вимірювання основних вуглеводневих компонент природного газу [5,6]. Слід зазначити, що розроблена методика є громіздкою та порівняно складною для практичної реалізації, що зумовлює необхідність подальших наукових досліджень в цьому напрямку.

**Метою статті** є розробка методики для адаптивного оцінювання вуглеводневих компонент природного газу (бутану, пентану, гексану) на основі ви-

міряних компонент ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) та попередньо одержаних статистичних даних аналізу компонентного складу хроматографічним методом.

## Виклад основного матеріалу

Для підвищення достовірності визначення концентрації  $\text{C}_4\text{H}_{10+}$  було проведено, на протязі 2013-2014 років, аналіз паспортів на газ газопроводів, які проходять через Івано-Франківську область. Було встановлена кореляційна залежність між пропаном  $\text{C}_3\text{H}_8$  та бутанами, пентанами та гексанами в межах від 0,92 до 0,74. На рис. 1 подано функціональну залежність між пропаном та бутанами, пентанами і гексаном побудована на основі статистичних даних одержаних на замірному вузлі ГРС Угринів.

Як можна побачити із рис. 1 отримані дані характеризуються прийнятним кореляційними властивостями. Однак через значне розсіювання (дифузність) результатів спостережень та наявності точкових викидів робить застосування механізму апроксимації практично неможливим. В такій ситуації доцільно застосувати селективне фрагментарне опрацювання даних сумісно з методом медіанних центрів з подальшим розрахунком функцій степеневого полінома для отримання наближених значень вищих вуглеводневих компонент природного газу [7].

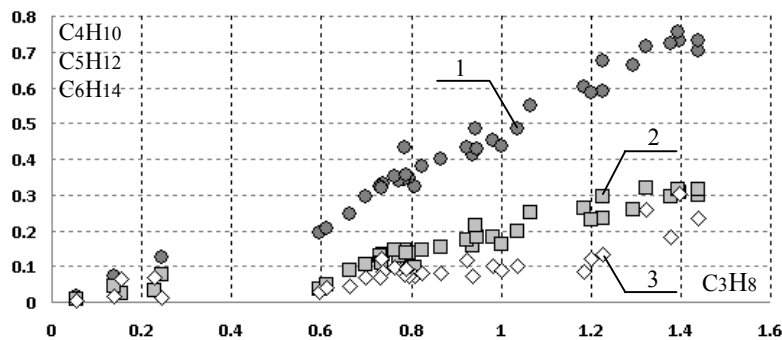


Рис. 1. Функціональні залежності між пропаном та бутанами, пентанами і гексаном

Запропонований підхід реалізується на основі статистичних даних, попередньо отриманих на основі експериментальних досліджень компонентного складу хроматографічним методом. Інформаційну структуру даних, яка необхідна для проведення обчислень можна подати у вигляді таблиці впорядкованих за зростанням (чи спаданням) концентрації пропану, див. табл. 1.

У поданій структурі передбачено порядковий номер (індекс) виміряних значень концентрацій пропану і відповідних концентрацій бутану, пентану та гексану у відсотках. Дані одержані із відповідної кількості  $N$  паспортів на газ одержаних під час хроматографічного аналізу. Для випадків коли значення концентрації пропану, як основного компонента за яким буде проводитись оцінювання, співпадають розраховується середні значення для  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ,  $\text{C}_5\text{H}_{12}$

та  $\text{C}_6\text{H}_{14}$  відповідно. Для спрощення алгоритмічної реалізації індекс відповідної концентрації пропану використовується, як посилання на відповідний рядок запис даних, що будуть задіяні в обчисленнях.

Таблиця 1

Структура масиву даних для отримання наближених значень вищих вуглеводневих компонент

№	Пропан $\text{C}_{\text{C}_3\text{H}_8}^{\text{Tab}}$	Бутан $\text{C}_{\text{C}_4\text{H}_{10}}^{\text{Tab}}$	Пентан $\text{C}_{\text{C}_5\text{H}_{12}}^{\text{Tab}}$	Гексан $\text{C}_{\text{C}_6\text{H}_{14}}^{\text{Tab}}$
1	0,055	0,018	0,008	0,005
2	0,137	0,071	0,043	0,017
3	0,155	0,03	0,025	0,065
...	...	...	...	...
$N$	0,698	0,294	0,104	0,068

Для оцінювання проміжних значень вищих вуглеводневих компонентів на першому етапі проводиться вимірювання концентрації  $C_{C3H8}$  на основі удосконаленого оптичного методу запропонованого у роботі [4]. На наступному етапі здійснюється вибір  $k$ -го рядка даних з найближчим значенням  $C_{C3H8}^{Tab}$ , тобто  $\min \{abs(C_{C3H8}^{Tab}(k) - C_{C3H8})\}_{k=1, N}$ ,

після чого фіксується індекс  $k$  цього рядка.

Далі розраховують діапазон індексів селективного вікна даних масиву  $j$ , мінімальний розмір якого складає дев'ять рядків, для опрацювання за такими правилами:

$$\begin{cases} k + 4 \leq N \text{ і } k - 4 \geq 1, j = \overline{(k - 4, k + 4)}; \\ k + 4 > N \text{ і } k - 4 \geq 1, j = \overline{(N - 8, N)}; \\ k + 4 \leq N \text{ і } k - 4 < 1, j = \overline{(1, 9)}. \end{cases}$$

$$C_0 = \frac{C_{C4H10}^{Tab}(i_0)(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_1))(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_2))}{(C_{C3H8}^{Tab}(i_0) - C_{C3H8}^{Tab}(i_1))(C_{C3H8}^{Tab}(i_0) - C_{C3H8}^{Tab}(i_2))}; \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{C_{C4H10}^{Tab}(i_1)(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_0))(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_2))}{(C_{C3H8}^{Tab}(i_1) - C_{C3H8}^{Tab}(i_0))(C_{C3H8}^{Tab}(i_1) - C_{C3H8}^{Tab}(i_2))}; \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{C_{C4H10}^{Tab}(i_2)(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_0))(C_{C3H8} - C_{C3H8}^{Tab}(i_1))}{(C_{C3H8}^{Tab}(i_2) - C_{C3H8}^{Tab}(i_0))(C_{C3H8}^{Tab}(i_2) - C_{C3H8}^{Tab}(i_1))}; \quad (3)$$

$$C_{C4H10} = \sum_{m=0}^2 C_m. \quad (4)$$

Аналогічним способом реалізується розрахунок відповідних концентрацій  $C_{C5H12}$  пентану та  $C_{C6H14}$  гексану.

Доцільно зазначити, що використання операції вибору медіанного з групи трьох спостережень дозволяє уникнути впливу грубих похибок та промахів при незначних обчислювальних затратах у випадку програмної реалізації запропонованої методики.

З метою перевірки ефективності запропонованої методики проведено ряд досліджень в ході яких реалізовано розрахунок проміжних параметрів концентрацій вищих вуглеводневих компонентів, фрагмент такого розрахунку для інформаційних даних, рис. 2, а, отриманих за паспортами на газ замірного вузла ГРС Угринів подано нижче.

Згідно запропонованої методики визначення значення  $C_{C4H10}$  для  $C_{C3H8} = 0,33$  реалізується на основі виділення найближчого  $C_{C3H8}^{Tab} = 0,245$ , рис. 2, б (точка з індексом 5), далі вибирають діапазон індексів селективного вікна даних масиву  $j = 1..9$ .

Перед проведенням розрахунків здійснюють попереднє опрацювання даних селективного вікна, яке передбачає розділення на послідовні фрагменти по три значення:

$$\text{median}\{C_{C3H8}^{Tab}(j_1), C_{C3H8}^{Tab}(j_2), C_{C3H8}^{Tab}(j_3)\},$$

$$\text{median}\{C_{C3H8}^{Tab}(j_4), C_{C3H8}^{Tab}(j_5), C_{C3H8}^{Tab}(j_6)\},$$

$$\text{median}\{C_{C3H8}^{Tab}(j_7), C_{C3H8}^{Tab}(j_8), C_{C3H8}^{Tab}(j_9)\}.$$

З подальшим вибором медіанного послідовно для кожного з фрагментів. Результатом такої операції є масив індексів  $i = \overline{(0, 2)}$ , що використовуються як посилання на відповідні рядки інформаційної таблиці 1.

В результаті, розрахунок наближеного значення  $C_{C4H10}$  концентрації бутану здійснюється з використанням формул:

Отриманий діапазон розділяють на фрагменти по три значення, після чого визначають для кожного з них медіанне значення, рис. 2, б.

Результатом такої операції є масив індексів  $i = \overline{(0, 2)}$ , що використовуються як посилання на відповідні рядки інформаційної табл. 2, а саме:

$$C_{C3H8}^{Tab}(i_0) = 0,137, C_{C3H8}^{Tab}(i_1) = 0,245,$$

$$C_{C3H8}^{Tab}(i_3) = 0,663, C_{C4H10}^{Tab}(i_0) = 0,071,$$

$$C_{C3H8}^{Tab}(i_1) = 0,127, C_{C3H8}^{Tab}(i_2) = 0,245.$$

Проведемо розрахунок наближеного значення  $C_{C4H10}$  концентрації бутану згідно формул(1-4):

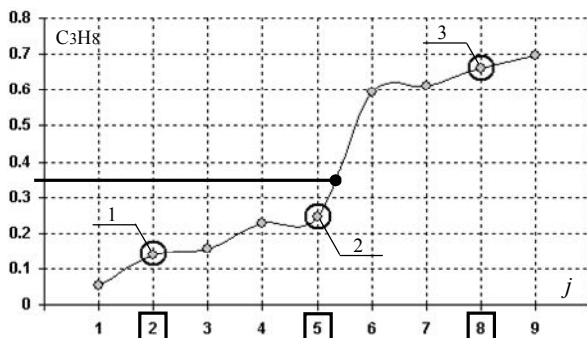
$$C_{C4H10} = \sum_{m=0}^2 C_m =$$

$$= -0,0354 + 0,1808 + 0,0183 = 0,1637.$$

Точність визначення концентрації бутану для вимірюного значення пропану 0,33 склала 1,3%. За результати ряду розрахунків оцінок концентрацій вищих вуглеводнів природного газу для 16 замірних ділянок, що проходять через Івано-Франківську область встановлено, що запропонований підхід дозволяє отримати похибку, що не перевищує для бутану - 2,4%, пентану - 2,7% та гексану - 5,8%.

№	Пропан $C_{C3H8}^{Tab}$	Буган $C_{C4H10}^{Tab}$	Пентан $C_{C5H12}^{Tab}$	Гексан $C_{C6H14}^{Tab}$
...	...	...	...	...
1	0,055	0,018	0,008	0,005
2	0,137	0,071	0,043	0,017
3	0,155	0,03	0,025	0,065
4	0,229	0,037	0,031	0,07
5	0,245	0,127	0,076	0,012
6	0,595	0,193	0,035	0,027
7	0,611	0,208	0,048	0,039
8	0,663	0,245	0,089	0,044
9	0,698	0,294	0,104	0,068
...	...	...	...	...

а



б

Рис.2. Фрагмент інформаційної таблиці даних замірного вузла ГРС Угринів: а – таблиці  $C_{C3H8}^{Tab}$  для розрахунку наближеного значення  $C_{C4H10}$ ; б – медіанні значення 1, 2, 3 послідовних фрагментів вікна даних

## Висновки

Для оперативного контролю компонентного складу природного газу запропоновано застосувати удосконалений оптичний метод, який полягає у безпосередньому вимірюванні частки метану, етану та пропану за допомогою інфрачервоної спектроскопії, а оцінку частки вищих вуглеводневих компонент  $C_4H_{10}$  здійснювати із використанням селективного фрагментарного опрацювання даних сумісно

з методом медіанних центрів та з подальшим розрахунком степеневих функцій. Описаний підхід дозволяє підвищити точність визначення концентрацій бугану та пентану, однак потребує проведення додаткових досліджень щодо підвищення визначення концентрації гексану.

## Список літератури

1. Смішний С. М. Засіб вимірювального контролю концентрації газу на основі волоконно-оптичних вимірювальних перетворювачів: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення складу речовин»/ Сергій Миколайович Смішний. – Вінниця, 2013. – 24 с.
2. Патент 2441219 Россия МПК (2006) G 01 № 21/31. Способ определения компонентного состава природного газа в реальном масштабе времени/ Киреев С.В., Шнырев С.Л., Подоляко Е.М., Симановский И.Г. – № 2010130047/28; заявл. 19.07.2010 ; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.
3. Романів В.М. Математична модель для визначення енерговмісту природного газу / В.М. Романів // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2007. – Вип. 33. – С. 76-84.
4. Романів В.М. Удосконалення оптичного методу контролю визначення енерговмісту природного газу / В.М. Романів // Науковий вісник Івано-Франківського національного університету нафти і газу. – 2013. – № 1 (34). – С. 179-187.
5. Ващишак С.П. Сучасні підходи до створення інфрачервоних газоаналізаторів для аналізу природного газу / С.П. Ващишак, В.М. Романів, С.А. Чеховський // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 4(5). – С. 70-75.
6. Романів В.М. Цифрова система оцінювання енергетичних параметрів природного газу за поглинаючою здатністю ІЧ-випромінювання його компонентами / В.М. Романів, С.І. Мельничук // Сборник научных трудов SWorld. – Вып. 3, Т. 6. – Иваново: Маркоза АД, 2013. – ЦИТ:313-1121. – С. 87-97.
7. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ / Дж. Тьюки ; [пер. с англ. А. Ф. Кушнина, А. Л. Петросяна, Е. Л. Резникова ; под ред. В. Ф. Писаренко]. – М.: Мир, 1981. – 696 с.

Надійшла до редколегії 1.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Є. Середюк, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОЇ ОЦЕНКИ ВИСШИХ УГЛЕВОДОРОДНИХ КОМПОНЕНТ ПРИРОДНОГО ГАЗА СО СТАТИСТИЧЕСКИМ РАСШИРЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ

В.М. Романів, С.І. Мельничук

Предложена методика оперативного оценивания концентраций высших углеводородных компонентов природного газа, основанная на селективной фрагментарной обработке статистических данных совместно с методом медианных центров с последующим расчетом функций степенного полинома.

**Ключевые слова:** компонентный состав, медианные центры, фрагмент, природный газ.

## ADAPTIVE METHOD OF EVALUATION OF HIGHER HYDROCARBON COMPONENT OF NATURAL GAS FROM THE STATISTICAL EXPAND THE KNOWLEDGE BASE

V.M. Romaniv, S.I. Melnychuk

In the article the technique of rapid assessment of higher concentrations of hydrocarbon components of natural gas, which is based on the selective processing of fragmentary statistics together with the median method centers followed a power calculation functions polynomial is proposed.

**Keywords:** component composition, median centers fragment natural gas.