

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КОНФІГУРАЦІЙ ВУЗЛІВ ОБЛІКУ ГАЗУ ТА ПУНКТИВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ ГАЗУ

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Розроблено метод визначення конфігурації вузлів обліку природного газу та пунктів вимірювання витрат газу, які використовуються для визначення обсягів отриманого або переданого природного газу в точках входу і виходу газотранспортної системи України. Наразі конфігурацію вузлів обліку газу та пунктів вимірювання витрати визначають виключно з урахуванням технічних та метрологічних характеристик засобів вимірювань. Запропоновано визначати вибір оптимальної кількості вимірювальних трубопроводів у складі вузлів обліку або пунктів вимірювання витрат газу з відповідними засобами обліку природного газу (вимірювальними пристроями): витратомірів змінного перепаду тиску, турбінних лічильників газу та ультразвукових витратомірів. Сформульовано задачу вибору оптимальної кількості вимірювальних пристроїв за критерієм їхньої сумарної вартості з урахуванням пропускної здатності вузла обліку газу, а також допустимих необлікованих витрат, зумовлених похибками вимірювань. Визначено, що задачу вибору оптимальної кількості вимірювальних пристроїв можна віднести до задач лінійного цілочислового програмування. Для розв'язання сформульованої задачі вибору оптимальної кількості вимірювальних пристроїв у складі вузла обліку природного газу (пункту вимірювання витрат газу) використано програмне забезпечення в середовищі MatLab.

Результати роботи запропонованого методу і розробленого програмного забезпечення проілюстровано на конкретних прикладах, що враховують реальні умови експлуатації вузлів обліку газу та пунктів вимірювання витрати. Використання запропонованого методу дасть змогу визначити оптимальну конфігурацію вузлів обліку газу (пунктів вимірювання витрат газу), що потенційно дозволить компаніям-власникам знизити витрати на їхнє будівництво, реконструкцію або ремонт.

**Ключові слова:** природний газ, облік газу, вимірювальний пристрій, похибки вимірювань.

### Вступ

Підвищення точності та достовірності обліку природного газу в точках отримання та передачі газу до або з газотранспортної системи України є однією з найважливіших задач, які стоять перед газовидобувними та газотранспортними підприємствами. Підвищення точності обліку газу досягається, зокрема за рахунок встановлення на вузлах обліку газу та пунктах вимірювання витрати газу сучасних високоточних засобів вимірювання обсягів природного газу.

Над питанням дослідження методів та засобів вимірювання на точність і достовірність процесів визначення обсягів природного газу працювала ціла плеяда вітчизняних науковців, зокрема Є. П. Пістун, Л. В. Лесовий, Ф. В. Матіко [1], [2], Й. Й. Білинський [2], М. П. Андрійшин [3], І. С. Кисіль [4], О. С. Середюк [5] та інші.

Разом з тим, в процесі будівництва, реконструкцій або переоснащення вузлів обліку природного газу та пунктів вимірювання витрат газу, постає питання вибору методів і засобів вимірювання для кожного окремого випадку. Рішення щодо такого вибору ухвалюється в переважній більшості випадків представниками служб метрології відповідних підприємств з урахуванням положень Кодексу газотранспортної системи [7] та Кодексу газорозподільних мереж [8]. При цьому, враховуючи суттєву різницю у вартості окремих вимірювальних пристроїв, доцільно вирішувати завдання оснащення вузлів обліку газу та пунктів вимірювання витрат газу з урахуванням не тільки технічних та метрологічних характеристик засобів вимірювання, а також і з урахуванням їхньої вартості.

### Результати дослідження

Припустимо, що необхідно оснастити вузли обліку газу (ВОГ) засобами вимірювання, у розпорядженні компанії є  $n$  пристроїв різних типів для вимірювання кількості газу. Кількість приладів кожного типу позначимо як  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Вартість кожного з цих пристроїв становить  $c_1, c_2, \dots, c_n$ .

Кожний з приладів може вимірювати  $a_{1j}, j = \overline{1, n}$  одиниць витрати газу. Сумарна пропускна здатність ВОГ повинна бути не менше  $b_1$  одиниць витрати.

Внаслідок наявності похибок вимірювань кожен з приладів несе необліковані втрати, що визначаються величиною  $a_{2j}, j = \overline{1, n}$ . Сумарні необліковані втрати газу через наявність похибок не повинні перевищувати величину  $b_2$ .

Сформулюємо таку задачу: сформувати парк вимірювальних пристроїв так, щоб фінансові затрати на їхнє придбання були б мінімальними за умови, що вони забезпечать вимірювання необхідної пропускної здатності ВОГ не менше ніж  $b_1$ , а необліковані втрати газу не повинні перевищувати величину  $b_2$ .

Формалізуємо поставлену задачу:

$$\min : R(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j ; \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \geq b_1 ; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{2j} x_j \leq b_2 ; \quad (3)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Задача (1)—(4) про комплектування парку вимірювальних пристроїв є задачею цілочислового лінійного програмування.

Сформовану задачу вибору парку вимірювальних пристроїв розв'яжемо на прикладі однієї з газорозподільних станцій. Необхідні дані для розрахунку подано в таблиці.

Вихідні дані для розрахунку

№	DN	Тип приладу	Вартість приладу, відносні одиниці	Макс. пропускна здатність, м <sup>3</sup> /год.	Максимальна похибка вимірювання, %
1	80	УЛГ	1,00	400	1,0 (0,5)
2	80	ТЛГ	0,20	400	2,0 (1,0)
3	80	ДКС	0,15	450	3,0 (1,5)
4	100	УЛГ	1,00	650	1,0 (0,5)
5	100	ТЛГ	0,24	650	2,0 (1,0)
6	100	ДКС	0,17	680	3,0 (1,5)
7	150	УЛГ	1,00	1600	1,0 (0,5)
8	150	ТЛГ	0,32	1600	2,0 (1,0)
9	150	ДКС	0,23	1530	3,0 (1,5)
10	200	УЛГ	1,00	2500	1,0 (0,5)
11	200	ТЛГ	0,32	2500	2,0 (1,0)
12	200	ДКС	0,31	2730	3,0 (1,5)
13	300	УЛГ	1,00	6500	1,0 (0,5)
14	300	ТЛГ	0,29	6500	2,0 (1,0)
15	300	ДКС	0,33	6150	3,0 (1,5)

Примітки: УЛГ — ультразвуковий лічильник газу; ТЛГ — турбінний лічильник газу; ДКС — витратомір змінного перепаду тиску; DN — умовний діаметр трубопроводу.

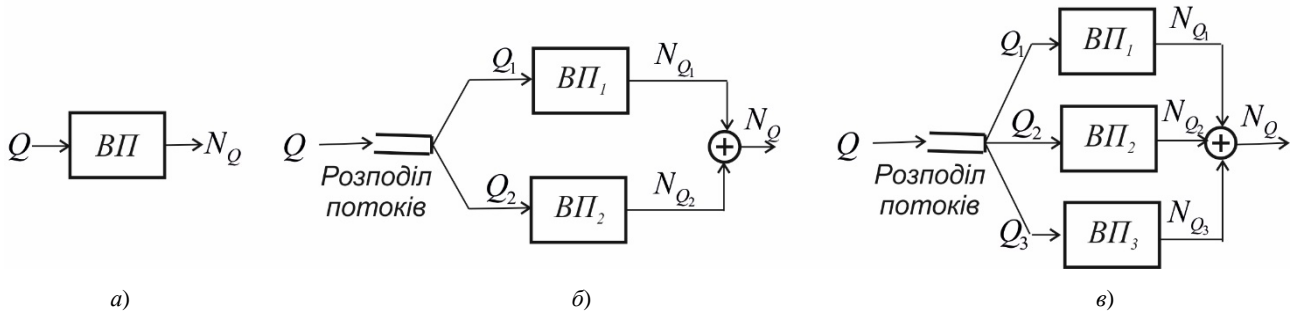
Для розв'язування задачі (1)—(4) вартості приладів (табл.) подані у відносних одиницях

$$C_i = \frac{c_i}{c_{i,\max}}, \quad i=1, 2, 3,$$

де  $c_{i,\max}$  — максимальна вартість  $i$ -го приладу для певного умовного діаметра DN.

Аналіз табл. показує, що вимірювальні вузли мають різні умовні діаметри. Тому вимірювачі витрати газу повинні підбиратись під умовні діаметри. Це означає, що задачу оптимізації (1)—(4) необхідно розв'язувати для кожного умовного діаметра DN.

У залежності від значення  $b_1$  можливі три варіанти вимірювання витрати природного газу на вимірювальному вузлі з вибраним умовним діаметром DN (рис.).



Варіанти вимірювання витрати для вибраного умовного діаметра

Перший варіант (рис. а) передбачає, що необхідна пропускна здатність забезпечується одним вимірювальним приладом  $BP_1$ .

У відповідності з другим варіантом (рис. б) необхідну пропускну здатність ВОГ неможливо забезпечити одним вимірювальним приладом. У такому випадку вимірювальна схема складається з двох паралельних ліній, по кожній і яких надходять потоки  $Q_1$ ,  $Q_2$  так, що загальна витрата природного газу:  $Q = Q_1 + Q_2$ . Результатом вимірювання потоків газу  $Q_1$  і  $Q_2$  є показання приладів  $N_{Q_1}$  і  $N_{Q_2}$ . Очевидно, що фіксація загальної витрати природного газу буде такою:  $N_Q = N_{Q_1} + N_{Q_2}$ .

Останній, третій варіант (рис. в) передбачає, що для вимірювання заданої пропускну здатності ВОГ необхідно мати три вимірювальні пристрої, які працюють у паралельному режимі. Загальний потік природного газу розділяють на три потоки. У результаті утворюють три вимірювальні лінії, у кожен з яких включають вимірювальні пристрої  $BP_1$ ,  $BP_2$ ,  $BP_3$ . Кожний з цих приладів вимірює значення потоків газу  $Q_1$ ,  $Q_2$  і  $Q_3$ . Очевидно, що сумарний потік природного газу:  $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ . Якщо  $N_{Q_1}$ ,  $N_{Q_2}$  і  $N_{Q_3}$  — це покази вимірювальних приладів  $BP_1$ ,  $BP_2$  і  $BP_3$ , то сумарне значення витрати за показами приладів  $BP_1$ ,  $BP_2$  і  $BP_3$  визначають за такою формулою:  $N_Q = N_{Q_1} + N_{Q_2} + N_{Q_3}$ .

Кожний з трьох приладів (див. табл.) характеризується максимальною похибкою вимірювання  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  і  $\delta_3$ . За значеннями максимальних похибок вимірювання можна обчислити необліковані витрати газу, тобто

$$b_2 = \sum_{j=1}^n \delta_j a_{1j}, \quad n=3. \quad (5)$$

Таким чином, для вибраного умовного діаметра DN задача (1)—(4) буде такою:

$$\min : R(\bar{x}) = \sum_{j=1}^n c_j x_j; \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{1j} x_j \geq b_1; \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n \delta_j a_{1j} x_j \leq b_2; \quad (8)$$

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad n = 3. \quad (9)$$

Задача (6)—(9) вибору кількості приладів для окремого ВОГ за критерієм мінімальної вартості (6) є задачею цілочислового лінійного програмування (ЦЛП).

Існує два методи [9] розв'язування задач ЦЛП — метод відтинання (метод Гоморі) і метод меж і гілок. Кожен з цих методів зводиться до розв'язання певної послідовності задач лінійного програмування, в яких обмеження на цілочисельність змінних знімаються.

У середовищі MatLab пошук оптимального розв'язку задачі ЦЛП здійснюється за допомогою вбудованої файл-функції `intlinprog`.

Методику розв'язання задачі (6)—(9) продемонструємо на прикладі вибору оптимальної кількості вимірювальних пристроїв для ВОГ з умовним діаметром  $DN = 80$  (табл.).

Задача (6)—(9) розв'язана за допомогою розробленого в середовищі MatLab програмного забезпечення.

Програма вибору кількості ВП працює в ітеративному режимі. Значення максимальних пропускних здатностей ВП, їхня вартість та максимальні похибки вимірювань сформовані окремим файлом у відповідності до таблиці.

Відмітимо, що необліковані втрати неможливо вибирати довільно. Значення  $b_2$  повинно бути таким, щоб виконувалась умова (8). У тому випадку коли вибране значення необлікованих втрат газу менше  $b_2$  розв'язку задачі (6)—(9) не існує, тоді на екрані дисплея з'являється таке повідомлення: «*No feasible solution found (жодного рішення не знайдено)*».

До того ж, розроблена програма дає змогу порівнювати різні варіанти компоновки вимірювальних схем (рис.) і вибрати найраціональніший.

Як приклад, розглянемо процес вибору оптимальної кількості ВП для умовних діаметрів  $DN = 80$  і  $DN = 300$ . Процедура введення початкових даних і результати розрахунків подані на list 1 list 2.

«Введіть вибране значення умовного діаметра: 80,100,150,200, 300»

$DN=80$

«Введіть значення сумарної пропускної здатності ВОГ»

$b1=300$

«Введіть значення необлікованих втрат газу»

$b2=7$

«ВИБРАНІ ТИПИ ЛІЧИЛЬНИКІВ»

«ДКС-витратомір змінного перепаду тиску»

«Кількість лічильників  $k=1$ »

«Оптимальна сумарна вартість приладів, відносні одиниці»

« $C= 0.1452$ »

«Необліковані втрати газу, куб.м/год.»

« $B2= 6.7500$ »

List 1. Процедура введення даних і результати розрахунку, якщо  $DN=80$

«Введіть вибране значення умовного діаметра: 80,100,150,200, 300»

$DN=300$

«Введіть значення сумарної пропускної здатності ВОГ»

$b1=9500$

«Введіть значення необлікованих втрат газу»

$b2=100$

«ВИБРАНІ ТИПИ ЛІЧИЛЬНИКІВ»

«УЛГ-ультразвуковий лічильник»

«Кількість лічильників  $k=1$ »

«ТЛГ-турбінний лічильник»

«Кількість лічильників  $k=1$ »

«Оптимальна сумарна вартість приладів, відносні одиниці»

« $C= 1.2947$ »

«Необліковані втрати газу, куб.м/год.»

« $B2=97.5000$ »

List 2. Процедура введення даних і результати розрахунку, якщо  $DN=300$ .

У першому випадку (list 1) для вибраних значень  $DN = 80$  і  $b_1 = 300 \text{ м}^3/\text{год}$  програмою витратомір змінного перепаду тиску — схема підключення рис. а, тоді як у другому випадку (list 2), коли  $DN = 300$  і  $b_1 = 9500 \text{ м}^3/\text{год}$  програма рекомендує два ВП типів УЛГ і ТЛГ, які утворюють паралельну схему вимірювань (рис. б).

### Висновки

Для відомого парку вимірювальних пристроїв витрати природного газу і заданих умовних діаметрів, сформована задача вибору оптимальної кількості таких пристроїв за критерієм сумарної вартості за умови відомої пропускну здатності вузла обліку газу і допустимих непродуктивних затрат, зумовлених похибками вимірювань. Поставлена задача є задачею лінійного цілочислового програмування і розв'язана за допомогою програмного забезпечення, створеного в середовищі MatLab. Ефективність розробленого методу і програмного забезпечення проілюстровано на конкретних прикладах.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] С. П. Пістун, і Л. В. Лесовой, *Нормування витратомірів змінного перепаду тиску*. Львів, Україна: вид-во ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006, 576 с.
- [2] С. Пістун, та ін., «Дослідження похибки ультразвукових витратомірів за умов спотвореної структури потоку на основі CFD-моделювання», *Метрологія та прилади*, № 4, с. 13-23, 2014.
- [3] Й. Й. Білинський, М. О. Стасюк, і М. В. Гладишевський, «Аналіз методів і засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ і класифікація на їх основі», *Наукові праці ВНТУ*, № 1, 2015.
- [4] М. П. Андрійшин, *Вимірювання витрати та кількості газу. Довідник*. Івано-Франківськ, Україна: ПП «Сімік», 2004, 160 с.
- [5] Я. М. Власюк, І. С. Кисіль, і О. Є. Середюк, «Реалізація концепції створення єдиної системи обліку природного газу в Україні», *Методи та прилади контролю якості*, № 13, с. 61-65, 2005.
- [6] О. Є. Середюк, і Т. В. Лютенко, «Експериментальні дослідження вузлів обліку природного газу різних принципів дії», *Метрологія та прилади*, 2015.
- [7] Постанова НКРЕКП від 30.09.2015 №2493, *Кодекс газотранспортної системи*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1378-15#Text>.
- [8] Постанова НКРЕКП від 30.09.2015 №2494, *Кодекс газорозподільних систем*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1379-15#Text>.
- [9] М. І. Горбійчук. *Математичні методи оптимізації*, навч. посіб. Івано-Франківськ, Україна: ІФНТУНГ, 2018. 302 с.

Рекомендована кафедрою інформаційних радіоелектронних технологій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 6.11.2024

**Горбійчук Михайло Іванович** — д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, e-mail: [mi\\_profgorb@ukr.net](mailto:mi_profgorb@ukr.net) ;

**Скрипка Олександр Анатолійович** — канд. техн. наук, докторант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, e-mail: [skripkaoleksandr2020@gmail.com](mailto:skripkaoleksandr2020@gmail.com) .

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

**M. I. Gorbichuk<sup>1</sup>**

**O. A. Skripka<sup>1</sup>**

## Method of Determining the Optimal Configuration of Gas Metering Nodes and Measurement Points of Gas Consumption

<sup>1</sup>Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

*In this article, the authors consider the method of determining the configuration of natural gas metering nodes and gas consumption measurement points, which are used to determine the volume of received or transmitted natural gas at the*

entry and exit points of the gas transportation system of Ukraine. Currently, the configuration of gas metering nodes and flow measurement points is determined exclusively taking into account the technical and metrological characteristics of the measuring devices. It is proposed to determine the choice of the optimal number of measuring pipelines as part of gas flow metering nodes or gas flow measurement points with appropriate natural gas metering devices (measuring devices): variable pressure drop flowmeters, gas turbine meters, and ultrasonic flowmeters. The problem of choosing the optimal number of measuring devices based on the criterion of their total cost, taking into account the throughput of the gas metering unit, as well as permissible unaccounted for losses caused by measurement errors, is formulated. It was determined that the problem of choosing the optimal number of measuring devices can be classified as a problem of linear integer programming. Software in the MatLab environment was used to solve the formulated problem of choosing the optimal number of measuring devices in the natural gas accounting node (gas flow measurement point).

The results of the proposed method and the developed software are illustrated on specific examples that take into account the real operating conditions of gas metering units and flow measurement points. The use of the proposed method will make it possible to determine the optimal configuration of gas metering nodes (gas consumption measurement points), which will potentially allow companies-owners to reduce the costs of their construction, reconstruction or repair.

**Keywords:** natural gas, gas accounting, measuring device, measurement errors.

**Gorbiychuk Mykhailo I.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies, e-mail: mi\_profgorb@ukr.net ;

**Skripka Oleksandr A.** — Cand. Sc. (Eng.), Doctoral Student of the Chair of Automation and Computer-Integrated Technologies, e-mail: skripkaoleksandr2020@gmail.com