

Середні квадратичні відхилення визначимо за формулами

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{1i}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{апр1}} - P_{\text{експ}})^2}{n(n-1)}}; \quad (4)$$

$$S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta_{2i}^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{апр2}} - P_{\text{експ}})^2}{n(n-1)}}, \quad (5)$$

де $P_{\text{апр1}}$ та $P_{\text{апр2}}$ – значення атмосферного тиску для певного обласного центру України, які обчислені за формулами (1) та (3) відповідно; $P_{\text{експ}}$ – експериментальні значення тиску для того ж обласного центру [2]; n – кількість точок вимірювання (обласних центрів України).

Обчислені за формулами (4) і (5) значення середніх квадратичних відхилень відомої (формула (1)) та розробленої (формула (3)) моделей від експериментальних даних становлять 64 та 31 Па відповідно.

Таким чином розроблена модель описує зміну

атмосферного тиску в різних регіонах України в залежності від висоти їх розміщення над рівнем моря і може служити основою для розрахунків при приведенні облікованого в побуті газу до стандартних умов [4]. Для цього необхідно знати тільки географічну висоту над рівнем моря населеного пункту, в якому проводиться облік газу. Дані про висоти розташування населених пунктів є відомими, оскільки вони наводяться в багатьох довідниках та географічних картах.

1. Савельев И.В. Курс физики: Учеб.: В 3-х т. Т.1: Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 352 с. 2. Архівні дані Українського гідрометеорологічного центру середньорічних значень атмосферного тиску за 1960-1990 р.р. 3. Семенов Л.А., Сирая Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерений. М.: Изд-во стандартов, 1986, – 128 с., ил. 4. ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объема.

УДК 681.121

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДУ ТА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЦЕНТРУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НАК „НАФТОГАЗ УКРАЇНИ”

© Власюк Я. М., 2004
НАК “Нафтогаз України” (м. Київ)

© Кісіль І. С., 2004
Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Описаний комплекс для перевірки засобів вимірювання витрати газу на метрологічному центрі НАК “Нафтогаз України” в м. Боярка (Київська обл). Приведені метрологічні характеристики вказаного комплексу а також структурна схема відтворення, визначення та передачі еталонних значень витрати газу

Кількість природного газу при відпуску споживачам вимірюється відповідними засобами виміральної техніки. Точність вимірювання кількості газу і достовірність обліку продиктована його вартістю та рівнем розвитку техніки. За тривалий час використання (купівлі – продажу) природного газу розроблено багато різноманітних засобів його обліку та витрати. На території України через вузли обліку проходить в рік більше 240 млрд. км³ природного газу.

Біля 90% газу обліковується системами, що базуються на використанні методу перемінного пере-

паду тиску, похибка обліку яких є не меншою 1%.

Впровадження сучасних точних лічильників природного газу стримується кількома факторами, серед яких один із основних – це відсутність належного метрологічного забезпечення. Україна – це держава, через яку проходить найбільше в світі транзитного природного газу. Пункти вимірювання витрати газотранспортної системи в основному побудовані з використанням замірних дільниць діаметром 500 - 700 мм [1]. Перевірка одного лічильника такого діаметра коштує від 15 до 25 тисяч дол. США (співрозмірна з вартістю лічильника). В Україні

міжповірочний інтервал для промислових лічильників становить два роки, тому на утримання необхідних ста лічильників великого діаметру при відсутності власних повірочних пристроїв і установок необхідно витрачати щорічно майже мільйон доларів США.

Концепцією створення єдиної системи обліку природного газу України, схваленої постановою КМУ від 21 серпня 2001 р., передбачається:

- впровадження на газовимірювальних, газорозподільних станціях та витратовимірювальних пунктах сучасних високоточних лічильників;

- створення еталонів об'єму та об'ємної витрати природного газу в метрологічному центрі, що створюється в м. Боярка (Київська обл.)

НАК "Нафтогаз України" буде метрологічний центр в м. Боярці, який стане структурою, що дозволить реалізувати концепцію створення єдиної системи обліку газу, забезпечить якісний перехід на сучасний рівень газотранспортного сектора України, стане центром впровадження стандартів ISO щодо природного газу в Україні, СНД та країнах Східної Європи.

До головних особливостей структури комплексу технічних засобів проекту Боярського метрологічного центру необхідно віднести наступне:

- наявність кількох різного типу первинних еталонних установок відтворення і передачі одиниці витрати природного газу;

- наявність ряду пересувних (мобільних) еталонів витрати, необхідних для гармонізації з іншими метрологічними центрами та здійснення повірки еталонних установок на місцях їх встановлення;

- наявність ряду стендів повірки та калібрування засобів вимірювання витрати природного газу (робочим середовищем яких є як природний газ, так і повітря), до складу яких включено різного типу робочі еталони;

- наявність високоточних лабораторій вимірювання супутніх фізичних величин (тиск, температура, густина, вологість, склад природного газу), що включають до свого складу первинні еталони.

Наявність серед складових комплексу технічних засобів метрологічного центру різнотипних еталонів витрати дає можливість підвищити надійність та достовірність виконання калібрування та повірки засобів вимірювальної техніки. Згідно законів математичної статистики (теорема складання дисперсій випадкових величин, принцип рандомізації) похибка відтворення витрати системою (комплексом), що складається з m первинних еталонів, в \sqrt{m} разів є меншою їхньої середньої похибки при умові відсутності кореляції між похибками еталонів [2]. Мінімізація кореляції між похибками досягається шляхом

використання первинних еталонів з різними методами вимірювання.

Якщо повірку (калібровку) робочих еталонів проводити на трьох різних первинних еталонах, то, об'єднавши результати трьох незалежних рядів спостережень, можна одержати більш достовірні значення вимірюваної величини. В загальному випадку ряди можуть мати різне число спостережень (n_j) та неоднакову дисперсію (σ_j^2). Для того, щоб було можливим об'єднати ряди спостережень в одну генеральну вибірку і при цьому можна одержати найбільш точну оцінку вимірюваної величини необхідно мати в наявності повну інформацію про похибки кожного методу вимірювання та виключити всі постійні систематичні похибки. При цьому по сукупності різних методів не виключені систематичні похибки можна вважати випадковими величинами.

Для оцінки вимірюваної величини на основі даних всіх рядів спостережень використовують поняття вагової функції ($\alpha_j = n_j / \sigma_j^2$), яка характеризує ступінь довіри до відповідного ряду спостережень [2,3]. Середнє зважене значення вимірюваної величини дорівнює:

$$\bar{x} = \sum_{j=1}^m (\alpha_j \bar{x}_j), \quad (1)$$

де m – число рядів спостережень, \bar{x}_j – середнє значення j -го ряду, α_j – вагова функція j -го ряду.

У відповідності з властивостями оцінок максимальної вірогідності дисперсія середнього зваженого значення дорівнює:

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = 1 / \sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{x_j}^2}, \quad (2)$$

де $\sigma_{x_j}^2$ – дисперсія середнього значення вимірюваної величини.

З цього слідує, що дисперсія середнього зваженого менша дисперсії будь-якого із вихідних середніх арифметичних окремих рядів спостережень і тому при об'єднанні результатів вимірювань кількох рядів спостережень достовірність вимірювань і їх точність підвищуються.

В конкретному випадку, якщо дисперсії вимірювань різних методів співрозмірні ($\sigma_{x_1}^2 = \sigma_{x_2}^2 = \dots = \sigma_{x_m}^2 = \sigma_{cep}^2$), тоді

$$\sigma_{\bar{x}}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m \sigma_{x_j}^2}{m} \text{ і } \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_{cep}}{\sqrt{m}}. \quad (3)$$

Принцип обліку природного газу на метрологічному центрі реалізується на базі комплексу засобів вимірювальної техніки, до складу якого входять первинні та робочі еталони, які в сукупності відтво-

рюють витрату природного газу в діапазоні до 2,4 млн. м³/год. під тиском від 0,1 до 7,5 МПа. Комплекс дає можливість здійснювати з мінімально можливою похибкою повірку та випробування всіх типів лічильників, що використовуються при обліку природного газу.

Як первинні еталони витрати на Боярському метрологічному центрі використовуються такі установки:

1) *установка повірки сопел критичного витоку*: робоче середовище – природний газ; робочий об'єм - 3,0 м³; витрата – 4 – 400 м³/год під тиском 2,0 – 4,0 МПа; витрата - 0,005 – 16 м³/год під тиском 0,1 МПа ; похибка - менше 0,15%;

2) *дзвонова установка*: робоче середовище – природний газ, повітря; робочий об'єм - 3,5 м³ ; витрата – 4–400 м³/год під тиском 0,1 МПа; похибка – менше 0,1%;

3) *поршнева установка*: робоче середовище – природний газ; витрата – 200 - 2000 м³/год під тиском 0,4 – 7,5 МПа; похибка – менше 0,15%.

Кожна з перерахованих установок забезпечує максимальну достовірність при певних оптимальних параметрах витрати та тиску. Наприклад, принцип роботи установки повірки сопел критичного витоку базується на використанні каліброваної ємності, яка заповнюється робочим середовищем (природним газом) через сопло. В процесі повірки вимірюється час заповнення, тиск, температура і густина робочого середовища. Досвід використання аналогічних установок показує, що для відтворення необхідної витрати (10 – 400 м³/год) оптимальним є використання ємності об'ємом 3 м³, максимальну достовірність можливо досягти під тиском більше 2,0 МПа. Дзвонові установки дають можливість відтворювати витрату газу з найбільшою відомою достовірністю, але вони функціонують тільки при атмосферному тиску. Витрату 400 м³/год з похибкою біля 0,1% можливо досягти при робочому об'ємі дзвона 3,5 м³.

Параметри роботи первинних еталонів витрати газу вибираються оптимальними для конкретного методу вимірювання, враховуючи можливість реалізації взаємного звірення (гармонізації). Гармонізація первинних еталонів здійснюється мобільними еталонами (роторні та турбінні лічильники, сопла критичного витоку). Кожен мобільний еталон використовується у вузькому діапазоні витрат, що дає можливість збільшити достовірність гармонізації.

Як мобільні еталони використовуються такі засоби вимірювальної техніки:

1) *лічильник роторний* – номінальна витрата 4 – 400 м³/год; тиск 0,1–8,0 МПа; кількість – 6 шт.;

2) *лічильник турбінний* – номінальна витрата 400 – 2000 м³/год; тиск 0,1–8,0 МПа; кількість – 2 шт.;

3) *лічильник турбінний* – номінальна витрата 1600 – 8000 м³/год; тиск 0,1–8,0 МПа; кількість – 1 шт.;

4) *сопла критичного витоку* – максимальна витрата 400 м³/год; тиск 4,0 МПа.

При кратному збільшенні (зменшенні) величини витрати в процесі гармонізації використовується паралельно-послідовне з'єднання мобільних еталонів. Звірення (гармонізацію) еталонів раціонально проводити в певних реперних точках, наприклад: витрата 200 м³/год, 400 м³/год, 2000 м³/год, 8000 м³/год під тиском 0,1 МПа, 0,4 МПа, 1,2 МПа, 4,0 МПа, 7,5 МПа.

Як робочі засоби повірки при реалізації методу використовуються такі установки:

1) *стенд № 1 (Сопілка)*: робочі еталони – сопла критичного витоку; робоче середовище – природний газ; витрата 4 - 16000 м³/год під тиском 4,0 МПа; похибка – менше 0,2 %.

2) *стенд № 2 (Пула)*: робочі еталони – роторні та турбінні лічильники; робоче середовище – повітря; витрата 4 - 24000 м³/год під тиском 0,1 - 1,2 МПа; похибка – менше 0,2%.

3) *стенд № 3 (Плай – Трембіта)*: робочі еталони – роторні, турбінні та ультразвукові лічильники; робоче середовище – природний газ; витрата 4 - 64000 м³/год під тиском 4,0 МПа; витрата 4 - 16000 м³/год під тиском 0,1 - 7,5 МПа; похибка – менше 0,2 %.

4) *малий стенд*: робочі еталони – сопла критичного витоку; робоче середовище – природний газ; витрата 0,005 - 16 м³/год під тиском 0,1 МПа; похибка – менше 0,3 %.

На похибку відтворення та передачі еталонних значень фізичної величини впливають похибки як основних (відправних) фізичних величин (ОФВ), так і похибки супутніх фізичних величин (СФВ).

Наприклад, процедура відтворення, визначення (розрахунку) та передачі витрати газу на класичних первинних еталонах базується на використанні значень ОФВ (часу, маси, довжини) з врахуванням СФВ (температури, тиску та вологості робочого і навколишнього середовища, густини та складу газу та ін.).

ОФВ процедури відтворення витрати газу (тобто вага, час, довжина) на даний момент вимірюються з достатньою точністю. Сумарна додаткова похибка від СФВ в багатьох випадках вагоміша від похибки ОФВ.

Для всіх засобів вимірювальної техніки регламентується окрім основної похибки ще і довгочасова стабільність (з часом загальна похибка збільшується). Більшість первинних перетворювачів краще калібрувати на місці їх установки (без демонтажу).

Наявність в складі одного метрологічного

центру разом з еталонами витрати газу еталонів СФВ дає можливість суттєво зменшити похибку первинних перетворювачів СФВ (зменшення міжкалібрувального періоду; виключення процедури транспортування; при необхідності, на відміну від традиційної процедури, злічення з еталонами більшої точності).

Існуюча в Україні на даний момент схема повірки засобів вимірювання витрати газу дає можливість метрологічної підтримки на місцях первинних перетворювачів тиску похибка, яких 0,1%; температури – 0,1%; густини – 0,2%; вологості – 1°C точки

роси. Реалізація запропонованої структури дає можливість зменшити похибку вимірювання СФВ еталонної установки відтворення та передачі витрати газу в 2 - 10 разів, тобто суттєво підвищити точність установки в цілому.

Створюваний метрологічний центр (рис.1,2) реалізує можливість повірки, звіряння та випробувань всіх типів лічильників, що використовуються при обліку природного газу з використанням робочого середовища, параметри якого максимально приближені до робочих.

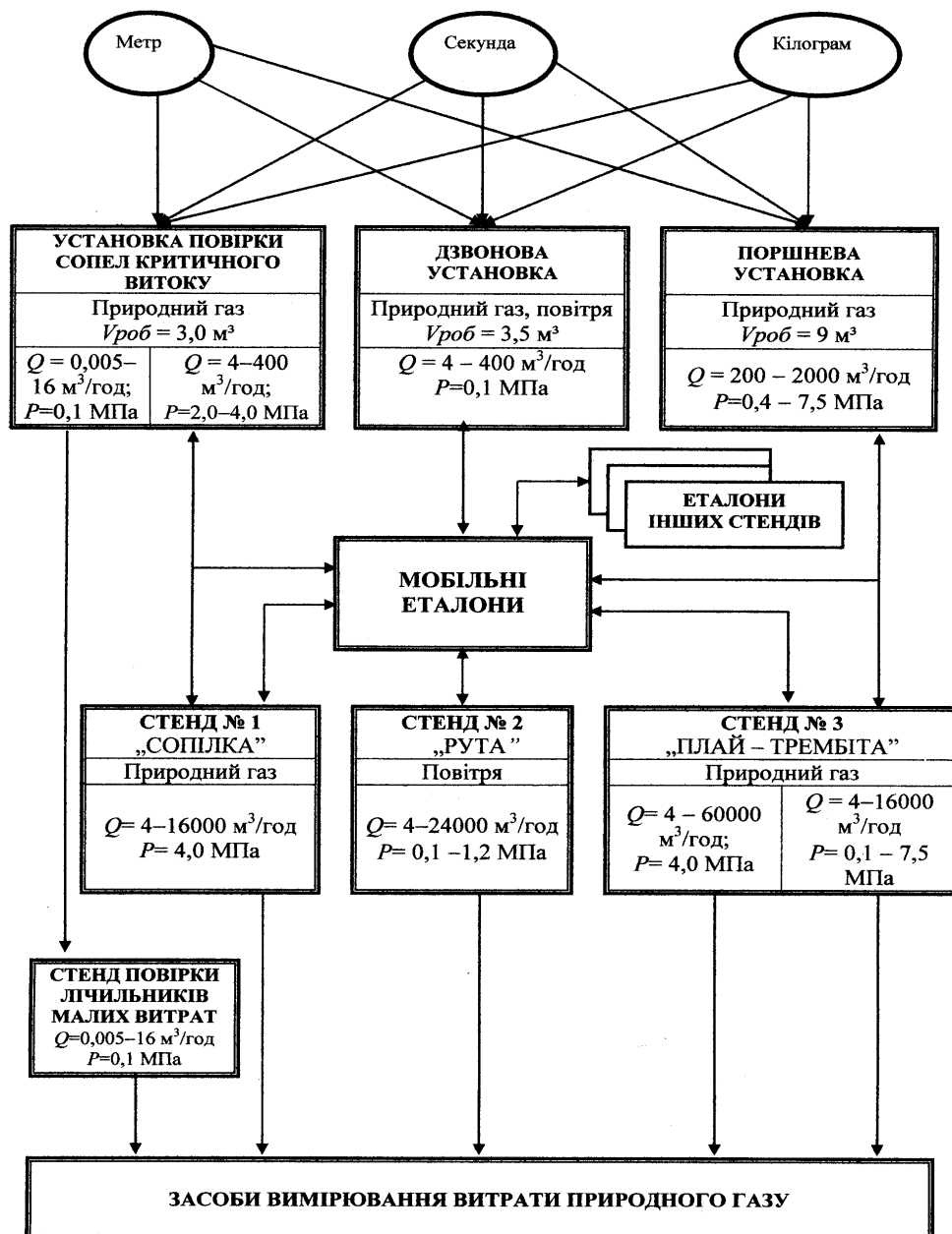


Рис. 1. Комплекс для повірки лічильників природного газу (метрологічний центр м. Боярка, Київська обл.)

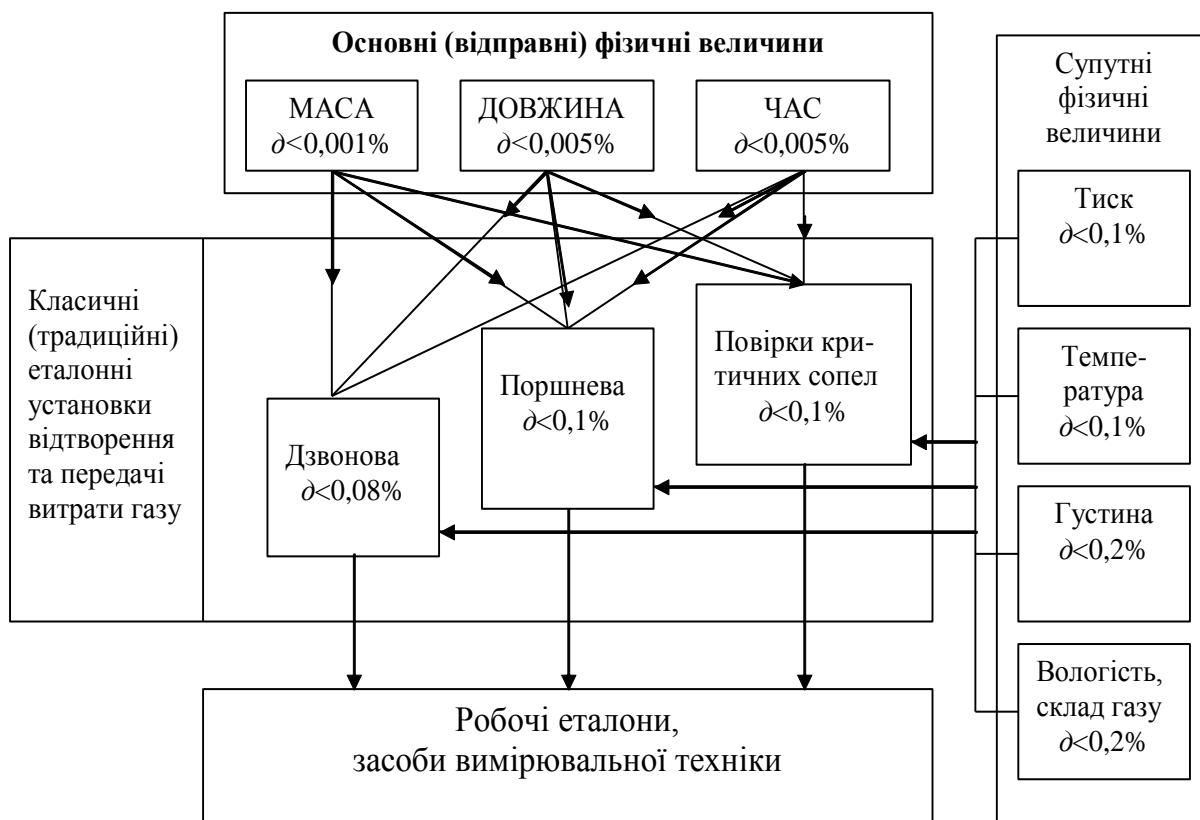


Рис.2. Структурна схема відтворення, визначення (підрахунку) та передачі еталонних значень витрати газу

При реалізації комплексу використовуються кращі відомі засоби вимірювальної техніки та методики. Це дає можливість на об'єктах купівлі - продажу здійснювати облік газу з похибкою менше $0,3 \pm 0,5\%$.

№ 11. - С. 62-64. 2. Кісіль І. С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань. - Івано-Франківськ, вид-во "Факел", 2002. - 400 с. 3. Новицький П. В., Зограф І. А. Оцінка погрешностей результатів измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1991. - 304 с.

1. Власюк Я. Н. Лічильники природного газу на сучасних спеціалізованих газо вимірюваних станціях // Методи та прилади контролю якості. - 2003. -