

# ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТРОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИКО-ТЕПЛОВОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Мощенко І.О., Сергієнко М.П., Єгоров А.Б.

Харківський національний університет радіоелектроніки  
inna.moshchenko@nure.ua

Нафтогазова промисловість України як окрема галузь паливно-енергетичного напрямку економіки держави є сьогодні однією з найбільш перспективних й інтелектуально насичених галузей народногосподарського комплексу. Забезпечення високоточного обліку й ощадливого використання природного газу є сьогодні найважливішим науковим і практичним завданням науки і техніки України.

Проблема полягає в тому, що технічне та метрологічне забезпечення нафтогазового комплексу в Україні знаходиться на недостатньо високому рівні. Це пов'язано в першу чергу з тим, що переважна більшість загального об'єму газу обліковується системами, заснованими на методі змінного перепаду тиску (за ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009) [1]. Також використовуються турбінні, вихорові, ультразвукові, роторні, мембранні та інші витратоміри [2, 3]. Застосування контактних первинних перетворювачів призводить до виникнення значної складової похибки вимірювання, яка обумовлена впливом датчика на середовище. Серед безконтактних найбільше розповсюдження отримали ультразвукові витратоміри. Але вони теж мають ряд суттєвих недоліків, що обмежують їх застосування на практиці [4]. Тому перспективною бачиться розробка та дослідження безконтактних витратовимірювальних пристроїв, зокрема заснованих на безконтактному оптико-тепловому методі вимірювання витрати природного газу [5].

На базі розробленої математичної моделі оптико-теплогового методу вимірювання витрати газу [5] проаналізовано метрологічну модель цього методу. Рівняння, що описує оптико-тепловий метод:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi R^4}{\mu \cdot l \cdot K \cdot \left( \int_0^{2R} \frac{dr}{T_1(r)} - \int_0^{2R} \frac{dr}{T_2(r)} \right)} \cdot \left( 1 - \frac{3,75}{\xi} \right) \cdot \lambda_0 \cdot m, \quad (1)$$

де  $Q$  – витрата газу;  $R$  – внутрішній радіус трубопроводу;  $\mu$  – коефіцієнт в'язкості газу;  $l$  – відстань між досліджуваними перетинами;  $K$  – коефіцієнт, що визначається як  $K = \frac{e^2 / m}{\varepsilon_0 \cdot k_0} \cdot \sum_{k=1}^{N_k} \frac{1}{\omega_{0k}^2 - \omega^2}$  з матеріалів [5];  $K_1$  та  $K_2$  – абсолютна температура в перетинах трубопроводу;  $r$  – поточний радіус;  $\xi$  – коефіцієнт, визначається як функція Ламберта;  $m$  – кількість інтерференційних смуг;  $\lambda_0$  – довжина хвилі в вакуумі.

Проаналізовано вплив параметрів функціональної залежності формули (1) на відносну стандартну сумарну невизначеність вимірювання  $Q$ , яка становить  $\pm 0,2$  % для діаметрів трубопроводу до 700 мм для витрат газу більших за  $0,35 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Аналіз проведений відповідно матеріалам досліджень в галузі прикладних аспектів теорії невизначеності, розглянутих в публікації [6]. На основі складеного бюджету невизначеності виявлено, що домінуючими складовими сумарної невизначеності є невизначеності обчислення кількості інтерференційних смуг ( $6,0035 \cdot 10^{-8} \text{ м}^6/\text{с}^2$ ), вимірювання міжпроменевої відстані ( $1,3589 \cdot 10^{-8} \text{ м}^6/\text{с}^2$ ), визначення характеру розподілу швидкостей ( $1,1686 \cdot 10^{-8} \text{ м}^6/\text{с}^2$ ). Для діапазону діаметрів трубопроводів від 700 мм до 1400 мм домінуючою стає невизначеність, пов'язана з температурою нагрівання ( $5,9016 \cdot 10^{-7} \text{ м}^6/\text{с}^2$ ), і стандартна сумарна невизначеність вимірювання  $Q$  знаходяться на рівні  $\pm 0,4 \%$ .

Аналіз параметрів рівняння вимірювання (1) дозволив виявити кореляційну залежність між геометричними параметрами трубопроводу ( $R, \delta, l$ ) та теплофізичними параметрами газового потоку і матеріалу трубопроводу ( $\mu, c, \lambda, \rho$ ), які визначаються температурою нагрівання. Кількісна оцінка показала, що наявність кореляції між визначеними вхідними параметрами [6], не впливає значною мірою на стандартну сумарну невизначеність вимірювання  $Q$ .

**Висновки.** Здійснені дослідження невизначеності витрати природного газу оптико-тепловим методом обґрунтовують можливість і перспективність його практичного застосування для трубопроводів великих діаметрів.

Подальший розвиток і перспективи досліджень у даному напрямку повинні бути скеровані на підвищення точності методу шляхом введення поправок при зміні складу газового середовища; дослідження впливу на результат визначення витрати присутності механічних домішок, конденсату в газовому потоці, вібрації; розширення можливості використання методу для вимірювання витрати швидкозмінних і пульсуючих потоків.

### Список літератури

1. ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Ч. 5. Методика виконання вимірювань. Київ : Держстандарт України, 2009. 198 с.
2. Щупак І.В., Чернишенко О.М., Андрієшин Н.М., Негреба Р.З. Сучасні підходи до вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу. *Нафтогазова галузь України*. 2014. № 5. С. 39-41.
3. Мощенко І.О., Єгоров А.Б. Розробка та дослідження оптико-теплогового методу вимірювання витрати газу. *Стандартизація, сертифікація, якість*. Харків, 2005, №3 (34). С. 33-35.
4. Стеценко А.А. Удосконалення ультразвукового методу і засобів вимірювання витрати текучого середовища у закритих каналах. 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.01.02. Харків, 2015. 171 с.
5. Мощенко И.А. Повышение чувствительности оптического метода измерения расхода природного газа. *Методи та прилади контролю якості*. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2005, № 13. С. 53-56.
6. Zakharov, I.P. Estimating measurement uncertainty on the basis of observed and logical correlation // *Measurement Techniques*, 2007, Vol. 50, No. 8, p. 808-816.