

$$Q_{CCr} = K_{вх} \frac{T_c}{T} \frac{1}{K_{Cr}} \frac{P - P_{пв}}{P_c} \left( \frac{\Delta P}{\rho_{вг}} \right)^{0,5}; \quad (26)$$

$$Q_{CCr} = K_{вх} \frac{T_c}{T} \frac{1}{K_{Cr}} \left( \frac{P}{P_c} - \frac{\rho_{пв}}{\rho_{спв}} \frac{T}{T_c} K_{пв} \right) \left( \frac{\Delta P}{\rho_{вг}} \right)^{0,5}; \quad (27)$$

$$Q_{CCr} = K_{вх} \frac{T_c}{T} \frac{1}{K_{Cr}} \left( \frac{P}{P_c} - \varphi \frac{\rho_{пв}}{\rho_{спв}} \frac{T}{T_c} K_{пв} \right) \left( \frac{\Delta P}{\rho_{вг}} \right)^{0,5}, \quad (28)$$

де  $\rho_{вг}$  - густина вологого природного газу при РУВ методика розрахунку якої наведена в [6].

Розрахункові формули (6), (9), (13) ÷ (16) і (25) ÷ (28) можуть бути використані у новому нормативному документі з вимірювання витрати природного газу методом змінного перепаду тиску, що розробляється тепер на базі ISO 5167 - 2003.

1. Газы горючі природні, що подаються у магістральні газопроводи. Технічні умови ТУ У 320.00158764.007-95.-К: Український НДІ природних газів, 1995. - 12 с. 2. Повідомлення № 1-2000 про зміни ТУ У 320.00158764.007-95. Газы горючі природні, що подаються у магістральні газопроводи.-

К: Український НДІ природних газів, 2000. - 3 с. 3. Газы горючі природні, що подаються з родовищ в промисловість та окремим споживачам. Технічні умови ТУ У 320.00158764.008-95.-К: Український НДІ природних газів, 1995. - 12 с. 4. Газы горючі природні родовищ України для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови ТУ У 320.00158764.033-2000.-К: Український НДІ природних газів, 2000. - 9 с. 5. Крук І.С., Курило Я.В., Крук О.І. Методика розрахунку вологості природного газу при визначенні його кількості Методи та прилади контролю якості. - 2001. -№7- С. 100 - 102. 6. Крук І.С., Курило Я.В., Крук О.І. Методика визначення густини насиченого парами води природного газу при від'ємних температурах Методи та прилади контролю якості.- 2002. -№8- С. 55 – 57. 7. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия.-М.: Изд-во стандартов, 1987. -5 с. 8. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами.-М.: Изд-во стандартов, 1982. -319 с.

УДК 681.121

## ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ПРИРОДНОГО ГАЗА

© Мощенко И. А., 2005

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

*Наведено фізичний і математичний опис запропонованого автором високоточного безконтактного методу вимірювання витрати природного газу для трубопроводів великих діаметрів, оснований на оптичних принципах контролю газових потоків. Відомий оптичний метод удосконалений введенням у структурну схему пристрою зовнішнього локального джерела нагрівання, що дозволяє підвищити чутливість методу. Запропонована модель враховує розподіл температур і швидкостей у системі «трубопровід – газове середовище» при різних типах газових потоків. Описана схема експериментальної установки для практичної реалізації оптико-теплового методу*

Газотранспортная система Украины является одной из крупнейших в Европе. Объем транспортируемого по ней природного газа составляет около 240 млрд. м<sup>3</sup> в год. При этом значительная часть этого объема поступает в страны Европы, что вызывает необходимость повышать уровень метрологического обеспечения учета газа до мировых стандартов [1]. Наличие развитой газораспределительной сети на территории Украины, обслуживающей отечественных потребителей, также заставляет уделять

особое внимание точности измерения объема и объемного расхода природного газа. В качестве основных направлений развития газовой отрасли Украины можно выделить научно-техническое обеспечение достоверного учета передачи и распределения природного газа, повышение надежности работы технологического оборудования, разработку и внедрение энергосберегающих технологий.

В настоящее время подавляющее большинство расходомеров, включенных в Государственный ре-

естр України і допущених до комерційного учету газу, оснований на методі змінного перепаду тиску і тахометричному методі [2]. Первинні перетворювачі таких расходомерів вносять значительну погрешність в результат вимірювання за рахунок того, що надають активний вплив на фізичні процеси, що відбуваються при передачі газу по трубопроводу. Використання пристроїв, оснований на безконтактних методах контролю газових потоків, дозволяє мінімізувати збуршення газової середовища вимірним перетворювачем приладу.

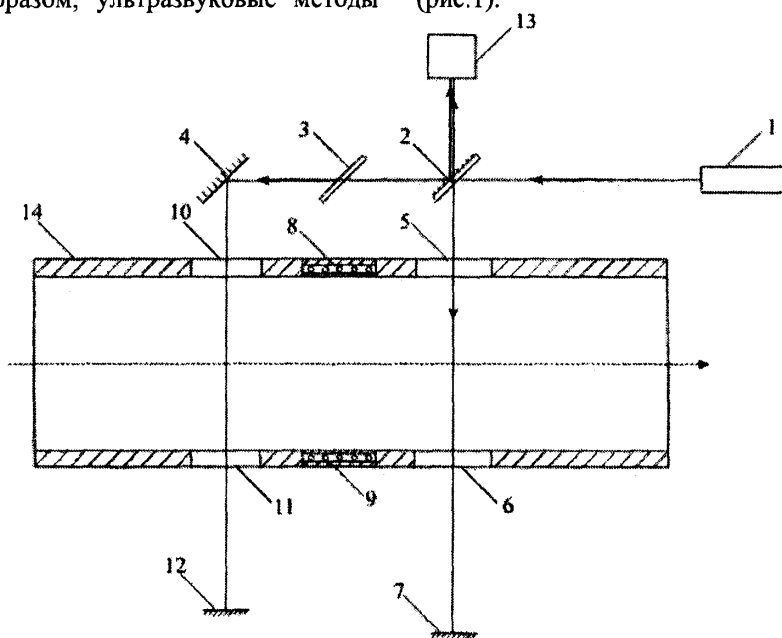
Аналіз проводимих на Україні наукових досліджень в області розробки безконтактних методів вимірювання расхода газу показує, що найбільш поширеними є ультразвукові методи контролю газових потоків і безконтактні теплові методи [3]. Однак при вимірюванні расхода газів з допомогою ультразвуку виникають додаткові труднощі, пов'язані з малою величиною акустичного опору газів, що перешкоджає передачі ультразвуковим коливанням якоїсь-небудь значительної енергії, і великим коефіцієнтом поглинання звуку, що практично виключає застосування високочастотних коливань. Таким чином, ультразвукові методи

целесообразно застосовувати при вимірюванні расхода агресивних серед, пульп, неелектропровідних рідин.

Безконтактні теплові методи, оснований на реєстрації теплового поля на поверхні трубопровода, не дозволяють враховувати фізичні процеси всередині газового потоку, що зменшує ступінь достовірності вимірювань.

Безконтактним методом, дозволяючим фіксувати критичні зміни фізичних параметрів газової середовища (конденсація, механічні включення), є оптичний інтерференційний метод. Дослідження, пов'язані з розробкою оптичних інтерференційних методів контролю газових потоків, активно проводилися в 60-70-х гг. [4], затрималися через відсутність необхідної технічної бази і методических труднощів, включаючихся в недостатню чутливість оптичного методу при вимірюванні расхода газу. Удосконалити оптичний метод з метою підвищення його чутливості пропонується введенням додаткового інформативного параметра – температури газової середовища.

Схема установки, що реалізує запропонований оптико-тепловий метод, представлена на рисунку (рис.1).



1 – джерело випромінювання; 2 – напівпрозора пластинка на шляху пучка; 3 – додаткова компенсаційна пластинка; 4 – дзеркало, 5, 6, 10, 11 – оптичні прозорі пластинки; 7, 12 – дзеркала; 8, 9 – нагрівач; 13 – вузол вимірювання оптичної різниці ходу пучків; 14 – трубопровід

Рис. 1. Схема експериментальної установки для вимірювання расхода газу оптичним методом

Физическая суть метода заключается в следующем: при наличии переноса газа по трубопроводу в двух разнесенных сечениях будет существовать разность давлений, что вызывает различие показателей преломления среды в этих сечениях. Вследствие этого будут различаться и фазовые скорости электромагнитных лучей, проходящих через исследуемые сечения. Возникающая разность фаз или оптическая разность хода лучей измеряется интерферометром. Определяя оптическую разность хода лучей, можно сделать вывод о разности давлений, т.е. о скорости или расходе газа в трубопроводе.

Недостатком определения перепада давлений по показаниям интерферометра является недостаточная чувствительность метода. Например, перепад давлений на расстоянии 0,15 м при расходе 20000 м<sup>3</sup>/ч для трубопровода диаметром 300 мм составляет около 0,04 Па, возникающая разность показателей преломления не превышает 5·10<sup>-10</sup>, тогда как существующие рефрактометры измеряют разность показателей преломления с абсолютной погрешностью около 10<sup>-8</sup>.

Для повышения чувствительности метода между оптическими лучами на поверхности трубопровода предлагается ввести локальный источник нагрева, позволяющий искусственно увеличить разность показателей преломления в исследуемых сечениях.

Аналитически описанный процесс представляется следующим образом.

Расход газа связан с разностью давлений в двух сечениях трубопровода выражением

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{4\mu \cdot L} \pi R^4 \cdot \left(1 - \frac{1.5}{\chi_\varepsilon}\right), \quad (1)$$

где  $Q$  - расход газа;  $P_1 - P_2$  - разность давлений в двух сечениях трубопровода;  $\mu$  - динамическая вязкость газа;  $L$  - расстояние между сечениями;  $R$  - радиус трубопровода;  $\chi_\varepsilon$  - коэффициент, определяемый характером газового потока.

Формула, описывающая характер связи между точечным значением показателя преломления газа и его параметрами состояния при прохождении через газовую среду электромагнитной волны, имеет следующий вид [5]:

$$n^2 = 1 + \frac{p}{T} \cdot \frac{1}{k_0 \cdot \varepsilon_0} \cdot \sum_k \frac{e^2 / m_0}{\omega_{0k}^2 - \omega^2} = 1 + \frac{p}{T} K, \quad (2)$$

где  $n$  - показатель преломления газа;  $p$  - давление в газовой среде;  $T$  - абсолютная температура газовой среды;  $\varepsilon_0$  - электрическая постоянная;  $e$  - заряд электрона;  $m_0$  - масса электрона;  $\omega_{0k}$  - собственные частоты колебаний электронов;  $\omega$  - частота излуче-

ния;  $k_0$  - постоянная Больцмана.

Оптическая разность хода лучей, измеряемая интерферометром, определяется разностью интегральных показателей преломления по двум сечениям трубопровода таким образом:

$$\lambda_0 m = \int_0^{2R} \sqrt{1 + \frac{P_1}{T_1(r)} K} dr - \int_0^{2R} \sqrt{1 + \frac{P_2}{T_1(r)} K} dr = \quad (3)$$

$$= \alpha(P, z_1, R, \lambda, c, \rho) \cdot p_1 - \beta(P, z_2, R, \lambda, c, \rho) \cdot p_2,$$

где  $\lambda_0$  - длина волны излучения;  $m=0; 1; 2 \dots$  - определяется блоком измерения оптической разности хода лучей;  $r$  - переменный радиус;  $P$  - мощность источника нагрева;  $z$  - продольная координата;  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности газа;  $c$  - коэффициент теплоемкости газа;  $\rho$  - плотность газа.

Таким образом, расход газа связан с числом интерференционных полос  $m$  такой зависимостью:

$$Q = f(P, z_1, z_2, R, \lambda, c, \rho, \lambda_0, \chi_\varepsilon) \cdot m. \quad (4)$$

Аналитическое представление функции  $f$  в выражении (4) является затруднительным. Градуировочную характеристика устройства, реализующего предложенный метод, предполагается получить численными способами.

Предлагаемый оптико-тепловой метод имеет ряд преимуществ перед известными методами измерения расхода газа. Использование метода интерференции позволяет обеспечить малую погрешность измерений вследствие того, что не вносятся возмущения в исследуемую среду в отличие от других методов измерения расхода. При использовании оптико-теплого метода определения расхода осуществляется регистрация физических процессов внутри трубы без внесения возмущения в контролируемую среду. Метод не имеет ограничений при увеличении диаметра трубопровода.

Влияние локального нагрева поверхности трубопровода на температурное распределение внутри него проанализировано при исследовании физической и математической моделей системы "трубопровод - газовая среда" [6]. По результатам теоретических и экспериментальных исследований сделан вывод о том, что величина перепада температур до и после нагревателя при локальном нагреве внешней поверхности трубопровода является информативным параметром при контроле газовых потоков, что позволяет использовать результаты численного эксперимента при усовершенствовании методов теплового контроля газовых потоков и повысить чувствительность оптического метода измерения расхода газа.

Дальнейшая разработка предложенного метода предполагает количественное определение влияния, оказываемого введением внешнего нагрева и элек-

тромагнитных волн на измеряемую среду на молекулярном уровне, и сравнение степени этого воздействия с наиболее распространенными методами определения расхода. Также предполагается провести исследование функциональной зависимости в уравнении (4) с точки зрения влияния ее параметров на результат определения расхода газа.

1. Розгонюк В. В. Технічна політика НАК "Нафтогаз України" в галузі газомірювання // *Вимірювання витрати та кількості газу і нафтопродуктів: Матеріали конференції. Івано-Франківськ, Факел, 2003.* – С. 3-9. 2. Сухаревский О. И., Жартовский Д. Н. Математическое моделирование функционирования теплового массового расходомера МР-01 // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001.* № 6. С. 56-60. 3. Коновалов В. И., Орлов

В.С., Паракуда В. В. Система вимірювання потоку методом акустичного зондування // *Метрологія та вимірювальна техніка: Наукові праці конференції. Харків, 2004.* С. 217-219. 4. Катусь Г. П. Системы автоматического контроля полей скоростей и расходов. М.: Наука, 1965. 464 с. 5. Мощенко И. А. Применение оптического интерферометра для бесконтактного измерения расхода промышленного природного газа // *АСУ и приборы автоматизации. 2004.* № 126. С. 52-56. 6. Мощенко И.А., Егоров А. Б., Лысейко О.Ф. Моделирование тепловых процессов в системе «трубопровод – газовая среда» в рамках разработки оптико-теплового метода контроля газовых потоков // *Теория и техника передачи, приема и обработки информации: Сборник тезисов докладов. Харьков: ХНУРЭ, 2004.* С. 352-353.

УДК 621.317:681.121

## МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА СТИСЛИВОСТІ ПОВІТРЯ ПРИ ОПОСЕРЕДКОВАНОМУ МЕТОДІ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ

© Середюк О.Є., 2005

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

© Костинюк В.В., 2005

*ВАТ „Івано-Франківськгаз”*

© Середюк Д.О., 2005

*ДП „Івано-Франківськстандартметрологія”*

**Розглянуті питання розрахунку похибки коефіцієнта стисливості повітря при визначенні його значення за допомогою запропонованих апроксимаційних поліномів. Обґрунтована можливість оцінки коефіцієнта стисливості з похибкою  $\pm 0,1\%$ , що сприяє підвищенню точності вимірювання витрати і об'єму газу установками РVT-типу і витратомірами критичного витікання газу**

Серед випробувальних установок для повірки і діагностування лічильників газу останніми роками в Україні значної уваги набувають установки, які створюються на базі опосередкованого вимірювання об'єму і витрати газу [1,2]. Прикладом практичної реалізації цього методу є установки РVT-типу, які створюються на базі ємності високого тиску [3], дослідно-експериментальний зразок якої вже створений у ВАТ „Івано-Франківськгаз” і перебуває на стадії експериментальних та метрологічних досліджень. Алгоритм функціонування цих установок передбачає вимірювання тиску і температури робочого газу (повітря або природний газ) з наступним застосуванням рівняння стану цього газу для визначення його об'єму або маси, який витікає з резерву-

ара протягом певного проміжку часу через випробувальну ділянку з досліджуваним приладом (ДП) вимірювання витрати чи об'єму газу.

Математичний запис алгоритму функціонування таких установок згідно [1] має такий вигляд:

$$Q = \frac{V_0}{\Delta t} \left( \frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right) \frac{T_B \cdot K_B}{P_B}, \quad (1)$$

де  $Q$  – об'ємна витрата газу на ДП;  $V_0$  – об'єм каліброваної ємності;  $\Delta t$  – час протікання газу через ДП;  $P_{11}$ ,  $T_{11}$ ,  $Z_{11}$ , і  $P_{12}$ ,  $T_{12}$ ,  $Z_{12}$  – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу в ємності на початку і в кінці витікання газу відповідно;  $P_B$ ,  $T_B$ ,  $Z_B$  – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу у випробувальній ділянці перед ДП відповідно.