

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. Моценко И. А. Применение оптического интерферометра для бесконтактного измерения расхода промышленного природного газа // *АСУ и приборы автоматизации. 2004.* № 126. С. 52-56. 6. Моценко 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; Δt – 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.

Незважаючи на те, що описаний алгоритм опосередкованого вимірювання витрати газу базується на застосуванні рівняння стану газу, яке на перший погляд уже достатньо вивчене, його новим аспектом практичного застосування є можливість реалізації алгоритму розрахунку витрати газу на ДП, який базується на його приведенні до умов градування чи повірки. При цьому необхідно коригувати значення коефіцієнта стисливості робочого середовища в різні моменти його витікання з резервуара і перед ДП. Останній аспект є також актуальним, так як немає чітко регламентованого метрологічного обґрунтування похибки визначення коефіцієнта стисливості. Відомі алгоритми розрахунку цієї похибки призначені перш за все для робочих засобів вимірювання, охоплюють великий діапазон зміни тиску і температури робочого середовища і, як наслідок, є завищеними і становлять $\pm(0,2 \div 0,3) \%$. Тому основною метрологічною проблемою, яка обмежує широкомасштабне створення і впровадження таких установок як робочих еталонів, є необхідність проведення досліджень похибки визначення коефіцієнта стисливості (КС) для робочого газу, яка не повинна перевищувати 0,1%. Ця похибка містить методичну похибку, яка може бути співрозмірною за значенням з допустимою похибкою еталонних випробувальних установок. Тому метою проведених досліджень є розроблення нового методичного підходу щодо метрологічного аналізу визначення КС повітря для конкретної прикладної задачі, яка пов'язана з функціонуванням випробувальних установок РVT-типу опосередкованого методу вимірювання витрати газу.

В [3, 4] на базі аналізу і досліджень відомих методик визначення КС повітря Z для діапазону тисків $(0 \div 1)$ МПа і температур $(250 \div 310)$ К запропоновані такі апроксимаційні залежності для його розрахунку:

$$Z = 1 - p \cdot (0,045955 - 0,000141 \cdot T); \quad (2)$$

$$Z = 1 - p(0,126127 - 0,00711T + 0,000001T^2), \quad (3)$$

де p, T – значення абсолютного тиску і температури повітря.

Проведений аналіз складових похибки згідно виразів (2) і (3) дозволяє записати таку формулу для визначення похибки δ_Z КС повітря:

$$\delta_Z = \Delta_{ZM} + \Delta_{ZA} + \sigma_Z, \quad (4)$$

де Δ_{ZM}, Δ_{ZA} – систематичні складові методичної похибки визначення КС і похибки від застосування апроксимаційної залежності відповідно; σ_Z – похибка розрахунку КС внаслідок похибки вимірювання вихідних даних.

Враховуючи, що значення коефіцієнта Z при зменшенні тиску p до нуля прямує до одиниці [4], то

похибку Δ_{ZM} можна розглядати як мультиплікативну. Водночас для обґрунтування границь її зміни будемо виходити із міркування, що найменше можливе значення похибки визначення КС повітря буде мати місце за стандартних умов ($T_c=293,15$ К; $P_c=0,1$ МПа), тобто при значенні $Z=0,9996$, яке подається у відповідних довідникових матеріалах [5]. Для цього значення КС згідно загальновідомих положень оцінки точності [6] похибка табличних значень становить половину останнього розряду, тобто $\pm 0,00005$ (в абсолютних одиницях) або $\pm 0,005\%$. Друге значення кількісної оцінки похибки визначення КС виберемо з умов відомих значень похибки його обчислення при фіксованих (табличних) значеннях тиску і температури. В [4] обґрунтовано, що згідно довідникових матеріалів [5] для інтервалу зміни температури повітря $(65 \div 873)$ К і тисків $(0,01 \div 228)$ МПа похибка табличних значень КС не перевищує $\pm 0,16\%$. Тому її можна вибрати як найбільше значення для відомого діапазону монотонного зменшення тиску повітря, який знаходиться в межах до $p_{max}=(4 \div 6)$ МПа в залежності від температури повітря [5]. Ці міркування дають підставу скористатися такою формою запису рівняння:

$$\frac{(p - p_{min})}{(p_{max} - p_{min})} = \frac{(\Delta z - \Delta z_{min})}{(\Delta z_{max} - \Delta z_{min})}, \quad (5)$$

де p_{max} і p_{min} – максимальне і мінімальне значення тисків, для яких відомими є похибки визначення КС повітря, що становлять Δz_{max} і Δz_{min} відповідно.

В результаті підстановки вищеобґрунтованих чисельних значень в (5) отримуємо, що

$$\frac{(p - 0,1)}{(p_{max} - 0,1)} = \frac{(\Delta z - 0,005)}{(0,16 - 0,005)}. \quad (6)$$

Алгебраїчні перетворення останнього виразу дають можливість отримати таку формулу для розрахунку методичної похибки Δ_{ZM} визначення КС повітря для діапазону $(0,1 - p_{max})$ МПа:

$$\Delta_{ZM} = \frac{0,155p + 0,005p_{max} - 0,016}{p_{max} - 0,1}, \quad (7)$$

де p_{max} – максимальний тиск повітря, для якого є відомою методична похибка визначення КС повітря, МПа.

При цьому діапазон можливих значень похибки Δ_{ZM} буде знаходитися в межах $\pm(0,005 \div 0,16)\%$ і визначається діапазоном робочих тисків і режимом роботи установки РVT-типу.

Похибка Δ_{ZA} визначається видом вибраного апроксимаційного полінома (2) або (3), технічними характеристиками установки і режимом її роботи.

Чисельне значення цієї похибки знаходиться в межах $\pm(0,013\div 0,037)\%$ і вибирається згідно поданої нижче табл. 1 [3].

Таблиця 1 – Значення СКВ (у відсотках) похибки апроксимації коефіцієнта стисливості повітря в залежності від виду апроксимуючого полінома і температури повітря.

Вид апроксимуючого полінома	Температура повітря, К			
	250	270	290	310
Лінійний	0,077	0,083	0,062	0,007
Нелінійний	0,091	0,037	0,013	0,026

Рівняння (2) і (3) дають можливість здійснити оцінку похибки σ_z як при опосередкованих вимірюваннях [6]:

$$\sigma_z = \frac{1}{z} \sqrt{\frac{\partial z}{\partial p} \Delta p + \frac{\partial z}{\partial T} \Delta T}, \quad (8)$$

де $\frac{\partial z}{\partial p}$, $\frac{\partial z}{\partial T}$ – частинні похідні (коефіцієнти вагомості) непрямих вимірювань КС; Δp , ΔT – абсолютні похибки вимірювання тиску і температури повітря відповідно.

Таким чином проведені дослідження, математичне моделювання і чисельний аналіз похибки визначення КС показали, що похибка визначення КС повітря при відповідному виборі вимірювальних засобів тиску і температури, а також правильному виборі робочого діапазону установки може не перевищувати $\pm(0,05\div 0,08)\%$. Це дозволяє підвищити точність метрологічної атестації випробувальних установок РVT-типу і, як наслідок, дає змогу більш точно оцінювати похибку лічильників і витратомірів газу, які досліджуються на цих установках.

Запропонований метрологічний аналіз щодо визначення КС повітря може знайти застосування при оцінці точності вимірювання витрати газу за допомогою критичних сопел, що буде сприяти підвищенню точності оцінки їх метрологічних характеристик і побудові на їх базі робочих еталонів і повірочних установок [7,8]. Крім того, описаний методологічний підхід може бути застосований для визначення КС інших видів газоподібних середовищ, наприклад, природного газу, що буде сприяти покращенню обліку енергоносіїв в Україні.

1. Пат. 54463 Україна, МКВ G01F25/00. Спосіб градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / В.О.Козак, Б.І.Прудніков, О.Є.Середюк, І.С.Петришин, Я.С.Федоришин (Україна). - №99052563; Заявл. 06.05.99; Опубл. 17.03.03. -3с. 2. Деклараційний пат. 62268 А Україна, МКВ G01F25/00. Спосіб градування та вивіряння витратомірів і лічильників газу / О.Є. Середюк, (Україна). - №2003021415; Заявл. 18.02.03; Опубл. 15.12.03. - 3с. 3. Середюк О.Є. Вдосконалення витратовимірювальних повірочних установок на базі емності високого тиску // Методи та прилади контролю якості.-2004.-№12.-С.51-56. 4. Середюк О., Воциньський В. Аналіз точності визначення коефіцієнта стисливості повітря в комерційному обліку енергоносіїв // Проблеми економії енергії №2: Вісник ДУ „Львівська політехніка”.-Львів.-1999.-С. 157-161. 5. ГСССД 8-79. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость жидкого и газообразного воздуха при температурах 70 – 1500 К и давлениях 0,1 – 100 МПа: Табл. стандартных справочных данных. - М.: Изд-во стандартов, 1980. 6. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: Навчальний посібник.-Івано-Франківськ: Факел, 2002.-400с. 7. Деклараційний пат. 54316 А Україна, МКВ G01F25/00. Перевірочна установка / І.С. Петришин, О.Є. Середюк (Україна). - №2002076003; Заявл. 19.07.02; Опубл. 17.02.03. - 3с. 8. Эталон объемного расхода воздуха для калибровки критических сопел / Я.М.Власюк, С.Г.Нетесин, В.Л.Лагно, Л.П.Новгородцева // Вимірювання витрати та кількості газу: Матеріали конференції.- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, Факел, 2005.-С.70.