

УДК 006.91:681.122

І.С. Петришин д.т.н.  
Т.І. Присяжнюк**КАЛІБРАТОР ДЛЯ ПОВІРКИ ВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ  
В ДІАПАЗОНІ ВІД 0,001 ДО 0,016 М<sup>3</sup>/ГОД**

ДП «Івано-Франківськстандартметрологія», dcsms@if.ukrtel.net.

*Сформульовано основні проблеми відтворення малих витрат, представлено принцип побудови калібратора для повірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м<sup>3</sup>/год.**Ключові слова:* Калібратор, малі витрати, ламінарний витратомір, мікропроцесорна обробка результатів вимірювання, дзвонова установка.**Вступ**

Повірка витратомірів в діапазоні витрат від 0,001 до 0,016 м<sup>3</sup>/год, або від  $0,28 \times 10^{-6}$  до  $4,44 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с (далі малих витрат) характеризується певними труднощами, які зумовлені використанням на даний час ДСТУ 3383:2007. В ньому визначена мінімальна витрата для всіх типів еталонних ЗВТ та повірочних установок на рівні  $4,44 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с. Це значить, що витратоміри, розраховані на нижчі витрати, залишаються фактично неохопленими державною повірочною схемою для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу.

**Аналіз існуючого стану вимірювання малих витрат**

В колишньому СРСР існувала загальносоюзна повірочна схема для ЗВТ об'ємної витрати газу в діапазоні від  $1 \times 10^{-6}$  до  $1 \times 10^2$  м<sup>3</sup>/с [1], метрологічне забезпечення вимірювання малих витрат знаходилось в м. Казань. Повірка витратомірів малих витрат (в першу чергу ротаметрів) в Україні здійснюється за допомогою робочих еталонів з еталонними лічильниками барабанного типу, повірочних установок з еталонними критичними соплами, та наборами еталонних витратомірів, починаючи з витрати  $4,44 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с, або 0,016 м<sup>3</sup>/год.

Повірочна установка на критичних соплах фірми «Justur», а також дзвонова установка фірми «Темпо» мають нижню межу вимірювання 0,016 м<sup>3</sup>/год. Проте ротаметри та інші витратоміри малих витрат (в тому числі закордонного виробництва), які широко використовуються в народному господарстві (в газоаналітичних засобах вимірювальної техніки, при виготовленні газових сумішей, в медичній техніці, в технологічних процесах зварювання, напilenня та епітаксії, в хімічній промисловості, а також при повірці побутових лічильників газу для визначення їх порогу чутливості), в Україні метрологічно не забезпечені. Проте в інших країнах (Німеччина, Словаччина, Росія) існує метрологічне забезпечення вимірювання витрат газу до  $0,005 \times 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/год.

**Постановка завдання**

Для створення метрологічного забезпечення вимірювання малих витрат необхідно вирішити два важливі завдання: розробити робочий еталон малих витрат, і забезпечити його атестацію у діапазоні витрат від  $0,28 \times 10^{-6}$  до  $4,44 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с. ЗВТ малих витрат, у вигляді термокомпенсованого ламінарного витратоміра у комплексі з мікропроцесорним вторинним приладом, розроблений авторами і описаний в [2,3]. Питання ж його атестації вимагає створення нових методів і засобів вимірювання. Оскільки в державній повірочній схемі для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу не охоплено витрати нижче  $4,44 \times 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с, необхідно створити методи та засоби вимірювання таких витрат.

**Основний матеріал статті**

Для забезпечення можливості повірки витратомірів малих витрат (в першу чергу ротаметрів) сконструйований калібратор для повірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м<sup>3</sup>/год. Структурна схема його зображена на рис. 1. Оскільки повірка робочих ЗВТ вимагає використання джерела витрати повітря, його було включено у склад калібратора.

В якості джерела витрати застосовано двохкамерний компресор вібраційного типу, його вихідний тиск конструктивно обмежений значенням 10 кПа. Регулювання витрати здійснюється голкоподібним краном компресора.

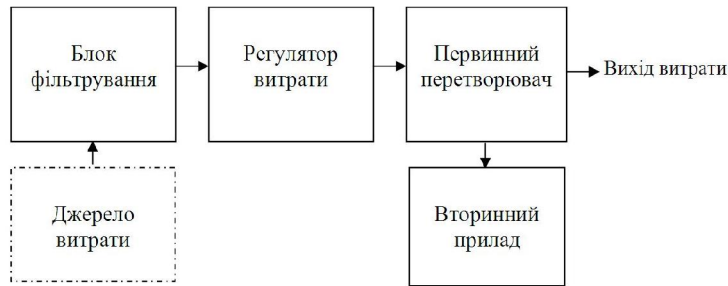


Рис. 1 Структурна схема калібратора

його кінематичної в'язкості. Фільтрування повітря, що проходить через чутливий елемент витратоміра, забезпечує стабільність його характеристик в часі, а також можливість застосування калібратора на місці експлуатації витратоміра, оскільки навколишнє повітря в приміщеннях промислових підприємств може містити велику кількість механічних домішок (пилу, металевих ошурок, частинок фарби). Первинним перетворювачем є термокомпенсований ламінарний елемент коаксимальної конструкції [3] (рис. 2), причому внутрішній скляний циліндр знаходиться у зовнішньому алюмінієвому циліндрі. Через кільцеву щілину між ними проходить вимірюваний потік, а температурна компенсація забезпечується зміною ширини щілини внаслідок різного коефіцієнта лінійного розширення циліндрів.

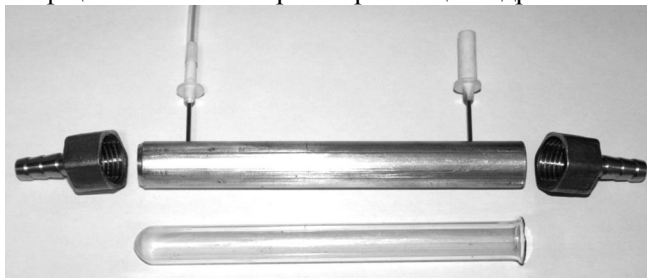


Рис. 2 Конструкція чутливого елемента ламінарного витратоміра з кільцевою щілиною і температурною корекцією

перетворювачем, основою якого є мікроконтролер фірми Atmel типу ATmega16, який працює на частоті 8 МГц. Багатоканальний АЦП даного мікропроцесора має розрядність  $2^{10}$ , забезпечуючи похибку квантування на рівні 0,1%. Мікроконтролер працює під управлінням внутрішньої програми, написаній на мові високого рівня C [4], що дало можливість забезпечити такі функції: перетворення аналогового вхідного сигналу перетворювача тиску в цифрове значення, що відображається на індикаторі; статистична обробка результатів вимірювання. Вимірювання по кожному каналу здійснюється з частотою 300 Гц, причому усереднюються дані 64 послідовних вимірювань, і при кожному вимірюванні перераховується середнє арифметичне значення минулих 64 вимірювань. Таким чином різко зменшується випадкова складова похибки, особливо в умовах високого рівня шумів і завад, а також високочастотних пульсацій вимірюваної величини; автоматична корекція нуля вимірювального перетворювача перепаду тиску.

В якості диференційного підсилювача вибрана мікросхема типу КР140УД17А, як апробоване рішення при проведенні науково-дослідних робіт з розроблення еталонної бази в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» для вимірювання електричних сигналів від перетворювачів тиску. Вхідний сигнал фільтрується від завад фільтром низьких частот. Перетворення аналогової величини в цифрову здійснюється мікроконтролером, який також забезпечує вивід вимірюваної величини на семисегментний індикатор. Конструкція вторинного приладу зображена на рис.3.

Загальний вигляд калібратора, укомплектованого первинним перетворювачем, електронним блоком та джерелом витрати зображено на рис. 4.

Метрологічне забезпечення калібратора розроблялося з урахуванням відсутності на даний момент методів і засобів повірки і калібрування ЗВТ малих витрат в державній повірочній схемі для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. Розробка вимірювального обладнання велася в двох напрямках:

1. Авторами запропоновано [5] розширення діапазону відтворюваних витрат вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08, шляхом виготовлення додаткового

В блоці фільтрування застосований автомобільний паливний фільтр типу Filtron PP905/2 з розміром частинок, що пропускаються, не більше 3 мкм. Використання фільтра, розрахованого для роботи з рідиною, забезпечує на повітрі мінімальний перепад тиску на фільтрі внаслідок значно меншої

Для вимірювання перепаду тиску у даній конструкції застосований вимірювальний перетворювач фірми Freescale. Зростаючі потреби щодо точності та достовірності даних, які отримуються при дослідженнях, вимагають використання вторинних приладів з цифровою обробкою даних. За відсутності серійних аналогів спроектовано та розроблено вторинний прилад для роботи з цим вимірювальним

контура малих витрат з стабілізацією витрати за допомогою посудини Маріотта та подальшого точного зважування еквівалентної маси витісненої рідини на тензOMETричній вазі. Оскільки метод еквівалентного витіснення не має принципового обмеження нижньої границі відтворюваних витрат, при забезпеченні точного вимірювання маси рідини можливо з високою точністю відтворювати мікровитрати, а стабілізація гідростатичного тиску рідини посудиною Маріотта виключає зміну витрати під час проведення вимірювання.

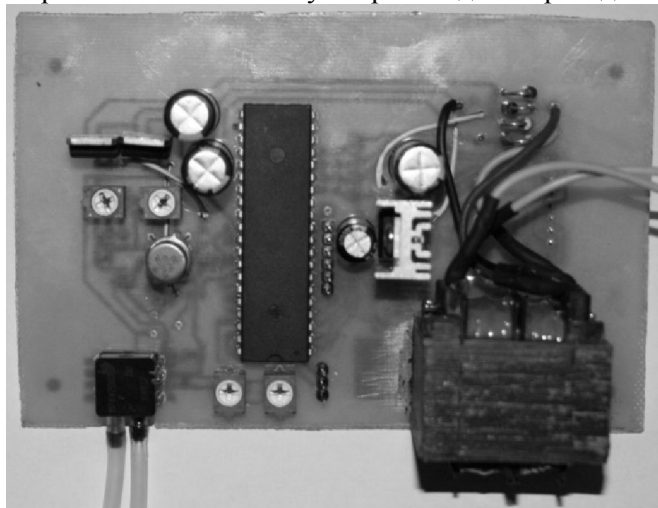


Рис. 3. Електронний блок вторинного приладу (вимірювальний перетворювач тиску та мікроконтролер)



Рис. 4. Калібратор для повірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год

Рівняння вимірювання установки еквівалентного витіснення рідини описується наступним виразом [6, 7]:

$$V = \frac{P_C}{T_C} \cdot \frac{T_D}{P_D} \cdot \frac{m}{\rho_{0M} + \alpha(T_M - 273,15)} \cdot \left( \frac{1 - \rho_{н.л.}/\rho_S}{1 - \rho_{н.л.}/(\rho_{0M} + \alpha(T_M - 273,15))} \right), \quad (1)$$

де  $P_C, T_C$  – тиск, температура та коефіцієнт стисливості повітря в проміжній ємності;  $P_D, T_D$  – тиск, температура та коефіцієнт стисливості повітря в дослідній ділянці;  $T_M$  – температура робочої рідини;  $\rho_{0M}$  – густина масла при 20 °С,  $\alpha$  – коефіцієнт теплового розширення масла;  $\rho_S$  – густина стандартних зважуваних об’єктів (8000 кг/м³);  $\rho_{н.л.}$  – густина навколишнього повітря.

Оскільки всі канали вимірювання контура малих витрат аналогічні застосованим в основному контурі, і всі складові сумарної похибки відповідають таким же в основному контурі, сумарна похибка передавання об’єму і об’ємної витрати відповідає цьому ж показнику основного контура (0,15%). На даний час додатковий контур установки еквівалентного витіснення знаходиться в процесі реалізації.

2. Як альтернативу гравіметричному методу авторами розроблений також метод сумування потоків еталонної витрати, відтворюваної дзвономірним мірником вторинного еталона ВЕТУ 03-01-01-08, та досліджуваної витрати, відтворюваної калібратором витрати, з подальшим вимірюванням витрати робочим еталоном високої точності. (рис. 5).

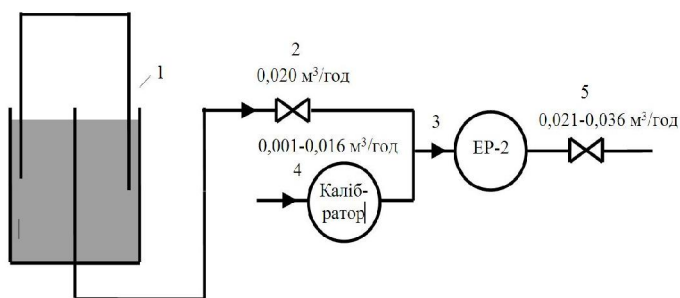


Рис. 5 Схема установки для повірки ЗВТ вимірювання малих витрат методом сумування витрат

Дзвонова установка 1 використовується як засіб відтворення витрати з похибкою 0,15% в діапазоні від 0,023 до 0,036 м³/год. Витрата регулюється регулятором 2. Оскільки нижня границя діапазону вимірювання для еталонного витратоміра типу EP-2 (похибка вимірювання витрати ±0,2%) рівна 0,02 м³/год, через нього проходить повітря з витратою, яка рівна сумарній витраті повітря, що надходить з дзвонової установки і

калібратора, і є більшою від його нижньої межі вимірювання. В результаті витрата через зразковий витратомір знаходиться в межах його діапазону робочих витрат. Таким чином,

досліджувана витрата, відтворювана калібратором, є різницею еталонних витрат, одна з яких виміряна за допомогою еталонного витратоміра типу ЕР-2, а друга відтворена дзвоновим мірником. Витрата на вході калібратора обчислюється через баланс витрат за формулою:

$$Q_k = Q_d \frac{p_d}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_d} - Q_b \frac{p_b}{p_k} \cdot \frac{T_k}{T_b} \quad (2)$$

де  $Q_k$  – витрата газу через калібратор за стандартних умов;  $Q_d$  – витрата газу на виході дзвонової установки;  $Q_b$  – витрата газу через еталонний витратомір типу ЕР-2;  $p_k$  – абсолютний тиск на вході калібратора;  $p_d$  – абсолютний тиск на виході дзвонової установки;  $p_b$  – абсолютний тиск на виході еталонного витратоміра типу ЕР-2;  $T_k$  – абсолютна температура газу на вході калібратора;  $T_d$  – абсолютна температура газу на виході дзвонової установки;  $T_b$  – абсолютна температура газу на вході еталонного витратоміра типу ЕР-2;

Цим методом було здійснено атестацію калібратора, конструкцію чутливого елемента якого зображено на рис. 2. Основна похибка відтворення витрати дзвоною установкою не перевищує 0,15%, похибка вимірювання витрати еталонним витратоміром типу ЕР-2 – не перевищує 0,2%. Відповідно, сумарна похибка відтворення витрати установкою не перевищує 0,35%.

Похибка вимірювання температур в процесі вимірювання не перевищує 0,1 К, похибка вимірювання барометричного тиску – 10 Па. Оскільки зміна температури на 1 К спричиняє додаткову похибку вимірювання витрати 0,37% [8], а зміна барометричного тиску на 100 Па спричиняє додаткову похибку вимірювання витрати 0,1% [8], сумарна додаткова похибка не перевищує 0,05%.

Калібратор дозволяє проводити відтворення витрати діапазоні від 0,001 до 0,016 м<sup>3</sup>/год з похибкою в діапазоні 0,01-0,016 м<sup>3</sup>/год – 0,5%, в діапазоні 0,003-0,01 м<sup>3</sup>/год – 1,0%, що дає можливість здійснювати повірку більшості типів ротаметрів малих витрат, похибка яких складає ±4%. Також за допомогою калібратора можна відтворювати витрати, рівні порогу чутливості побутових лічильників газу з метою перевірки цього показника при їх випробуваннях.

### Висновки

Розроблений метод калібрування витратомірів малих витрат дає можливість знизити границю відтворюваних витрат нижче від мінімальної границі вимірюваної витрати зразкових витратомірів, що забезпечує відтворення витрат нижче від значення, визначеного державною повірочною схемою для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу, при використанні витратомірів, що охоплюються цією схемою.

Розроблений калібратор для повірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м<sup>3</sup>/год не має аналогів в Україні і, завдяки компактності конструкції, дає можливість проводити атестацію і повірку витратомірів газу у вказаному вище діапазоні на місці їх експлуатації.

### Список літературних джерел

1. І.С. Петришин. Науково-методологічні та технічні засади забезпечення точності вимірювань витрати газу. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.01 – Прилади і методи вимірювання механічних величин. – Національний університет "Львівська політехніка", Львів, 2007.
2. І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк. Метрологічний аналіз термокомпенсованих ламінарних витратомірів – Методи та прилади контролю якості, №22 2009
3. І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк. Вдосконалення конструкції та підвищення точності ламінарних витратомірів – Український метрологічний журнал, №2 2008. Т.І. Присяжнюк. Термокомпенсований витратомір з мікропроцесорним вторинним приладом – Метрологія та прилади, №4 2010
4. Ю.А. Шпак - Программирование на языке С для AVR и PIC микроконтроллеров –, К.: «МК Пресс», 2006 – 400 с.
5. І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, Н.І. Петришин. Розширення діапазону відтворюваних витрат вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08 – Методи та прилади контролю якості, №24 2010
6. Вторинний еталон одиниці об'єму та об'ємної витрати газу. Програма та методика державної метрологічної атестації. Івано-Франківськ, 2007
7. Grinten J.G.M.: The primary standard for gas flow measurement in the Netherlands, The Flomeko '93 conference 26-28 October 1993, Seoul, Korea
8. Р 50-071-98 Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки – К., Держстандарт України, 1998