

006.91(043)
П44

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

Присяжнюк Тарас Ігорович

УДК 006.91:681.122

**ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ЗАСАД
ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВІДТВОРЕННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ
В ДІАПАЗОНІ ВІД 0,001 ДО 0,016 М³/ГОД**

Спеціальність 05.01.02 -
"Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення"

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Петришин Ігор Степанович,

Державне підприємство «Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації», генеральний директор, м.Івано-Франківськ

Офіційні опоненти:

доктор тех. наук, професор,

Середюк Орест Євгенович,

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, професор кафедри методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції, м. Івано-Франківськ

доктор тех. наук, професор,

Теплюх Зеновій Миколайович,

Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри автоматизації теплових та хімічних процесів, м.Львів

Захист відбудеться «21» лютого 2013 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий « 18 » січня 2013 р.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради Д20.052.03

кандидат технічних наук, професор

М.М. Дранчук



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Вимірювання витрат газів в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год (далі мікровитрат) необхідно при проведенні метрологічної атестації газоаналітичних засобів вимірювальної техніки, при виготовленні газових сумішей, в технологічних процесах напilenня та епітаксії, при повірці та калібруванні ротаметрів, а також при повірці побутових лічильників газу з метою визначення порогу їх чутливості. Малі витрати газів контролюються при автоматизації технологічних процесів в хімічній, фармацевтичній та електронній галузях промисловості. Крім того, має місце тенденція до використання мікропроб на етапі науково-дослідних робіт для контролю і управління потоками речовини в процесах, що протікають на мікро- та нанорівневих структурах.

Одним з факторів енергетичної безпеки є і точний облік природного газу в побутовій сфері, де існує тенденція до поступової заміни централізованого опалення на індивідуальне. Враховуючи це, комунально-побутова сфера обліку природного газу буде мати тенденцію до збільшення частки споживання природного газу, особливо враховуючи тенденції до заміни газу як палива у централізованих котельнях на інші види палива, а також зменшення споживання природного газу промисловістю України. Цей факт, а також постійно зростаюча вартість природного газу сприяє постійному підвищенню вимог до ЗВТ та їх метрологічного забезпечення для оцінювання метрологічних характеристик побутових лічильників газу при повірці, що неможливо без дослідження їх на мікровитратах.

В умовах глобалізації економіки за умови відсутності ЗВТ мікровитрат власного виробництва відбувається насичення ринку приладами закордонного виробництва. Це спричиняє погіршенню торгівельного балансу України та виникненню залежності споживачів приладів від закордонних виробників, а також збільшенню виробничих витрат, оскільки на даний момент існує об'єктивна необхідність у таких приладах при відсутності їх власного виробництва. Крім того, такі прилади на даний момент метрологічно не забезпечені. Питання вимірювання мікровитрат є предметом дослідження як в Україні, так і за кордоном. Такими дослідниками, як Теплох З.М., Пісгун Є.П., Ділай І.В., Парнета О.З., Альвестеффер В., Делажу П., Жерар М. активно розробляються нові методи та прилади, а також оптимізуються існуючі для підвищення їх точності і динамічного діапазону вимірювання. Разом з тим аналіз сучасних закордонних та вітчизняних методів і засобів вимірювання мікровитрат показав, що незважаючи на значне розмаїття застосовуваних принципів, вони, як правило, не забезпечують сукупності високих метрологічних та технічних характеристик, що дозволило б їх застосування в якості еталонного обладнання.

Таким чином, розв'язання завдання метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат газів у діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год підвищить точність та достовірність вимірювань, дозволить конструювати прилади з

високими метрологічними характеристиками, які можуть використовуватися в якості еталонних.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких знайшли відображення в дисертаційній роботі, виконувались відповідно до плану навчання в аспірантурі на кафедрі "Інформаційно-вимірювальної техніки" Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) та на державному підприємстві "Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації" згідно з тематикою науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері метрології еталонної бази за темами: "Державна програма розвитку еталонної бази на 2006-2010 роки" (ДРН 0106U006782), "Створення вторинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні витрат від $1,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,77 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ ", "Створення вторинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні витрат від $1,38 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,94 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ ". Автор був відповідальним виконавцем цих робіт.

Мета роботи полягає у вирішенні важливого завдання у галузі метрології – підвищення точності і забезпеченні єдності та достовірності вимірювання мікровитрат газу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Проаналізувати сучасний стан та тенденції розвитку засобів вимірювання мікровитрат, оцінити можливості підвищення їх метрологічних характеристик, розробити витратомір для діапазону витрат від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ з класом точності 0,5.

2. Удосконалити існуючі методи відтворення мікровитрат газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$.

3. Розробити математичні моделі похибок вимірювання та відтворення мікровитрати за допомогою вдосконаленого витратоміра як складову наукової основи метрологічного забезпечення вимірювання та відтворення мікровитрат газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$.

4. Розробити та впровадити в практику робочі еталони як технічну основу метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$.

5. Розробити нормативну базу метрологічного забезпечення вимірювання та відтворення мікровитрат газу (методики державної метрологічної атестації витратомірів газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$)

6. Розробити зміну до ДСТУ 3336:2007 для розширення нижньої межі діапазону охоплених витрат до $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$.

Об'єктом дослідження є процес вимірювання та відтворення мікровитрат газу.

Предметом дослідження є наукова, нормативна і технічна база метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат газу.

Методи досліджень. Для встановлення взаємозв'язків між витратою, зовнішніми факторами та результатом вимірювання використовувалась теорія ламінарного руху середовищ у капілярах Гагена-Пуазейля, статистичні методи,

метод регресійного аналізу, методи математичного моделювання, теорія планування експерименту. Розробка вторинного приладу здійснювалась з використанням схемотехніки та методів програмування мікроконтролерів. Для розробки метрологічного забезпечення відтворення мікровитрат застосовувалися математичні моделі еталонних установок еквівалентного витіснення.

Наукова новизна одержаних результатів визначається тим, що:

- вперше запропоновано спосіб компенсації температурної похибки ламінарного витратоміра шляхом використання в якості чутливого елемента коаксіальних трубок з різними коефіцієнтами лінійного розширення, що дає можливість створити термокомпенсований витратомір в діапазоні витрат від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ з класом точності 0,5;

- вперше одержано математичні моделі похибок термокомпенсованих ламінарних витратомірів як функції зміни тиску, температури та об'ємної витрати із застосуванням теорії планування факторного експерименту, що дає можливість спрогнозувати їх поведінку в реальних умовах роботи;

- знайшов подальший розвиток метод відтворення витрати газу на базі установок еквівалентного витіснення шляхом використання посудини Маріотта для стабілізації рівня рідини, що дозволило усунути один з найбільш суттєвих недоліків установок даного типу – нестабільність витрати за рахунок зміни рівня рідини;

- знайшов подальший розвиток метод стабілізації витрати рідини за допомогою посудини Маріотта, який вдосконалено шляхом повертання торця газовідної трубки у посудині на 180° вгору, що дало можливість відтворити фіксоване значення гідростатичного тиску;

- вперше розроблено математичну модель витрати установки еквівалентного витіснення з стабілізацією витрати за допомогою вдосконаленої посудини Маріотта, що дало можливість враховувати складові сумарної похибки від впливу зовнішніх факторів при метрологічній атестації установок.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Розроблений термокомпенсований мікровитратомір, який пройшов апробацію в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» для перевірки чутливості лічильників газу;

2. Спроековано та виготовлено калібратор витрати в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ для перевірки робочих ЗВТ та визначення порогу чутливості побутових лічильників газу та введено в еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати, що розширило нижню границю відтворення витрати до $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$;

3. Розроблено нормативні документи, які регламентують методики державної метрологічної атестації робочого еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від $0,001$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ та витратомірів газу в діапазоні від $0,001$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$;

4. Підготовлено зміну до ДСТУ 3383:2007 «Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу».

Особистий внесок здобувача. Основна частина теоретичних та експериментальних досліджень здійснена автором самостійно. Інша частина отримана у співпраці з науковим керівником . Особисто автором:

- розроблено термокомпенсований витратомір з мікропроцесорним вторинним приладом [1]
- розроблено універсальний багатоканальний вторинний прилад для дослідження параметрів ламінарного витратоміра [2]

У роботах, опублікованих у співавторстві, використані результати, одержані здобувачем особисто, до яких належать: дослідження існуючих типів витратомірів з метою виявлення оптимального типу для подальших досліджень[3], метрологічний аналіз вимірювального ламінарного елемента[4], використання посудини Маріотта зі стабілізацією рівня у складі установки еквівалентного витіснення[5], розширення діапазону відтворюваних витрат вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08[6], експериментальні дослідження методом теорії планування експерименту[7], розробка калібратора для перевірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год[8], аналіз установок еквівалентного витіснення[9], оцінка складових похибки ламінарних витратомірів малих витрат газу[10], спосіб зменшення додаткової температурної похибки ламінарного витратоміра[11], метрологічний аналіз термокомпенсованих ламінарних витратомірів[12], здійснено розробку оптимальної конструкції та експериментальні дослідження термокомпенсованого ламінарного витратоміра[13], вдосконалення метрологічного забезпечення вимірювання малих витрат газу в Україні[14], аналіз питання розроблення метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат газу в Україні[15], метрологічне обґрунтування застосування нормативних документів[16,17].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на четвертій всеукраїнській науково-технічній конференції «Вимірювання витрати та кількості газу» (м. Івано-Франківськ, 2005), п'ятій всеукраїнській науково-технічній конференції «Вимірювання витрати та кількості газу» (м. Івано-Франківськ, 2007), міжнародній науково-технічній конференції молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії» (м. Івано-Франківськ, 2008), шостій всеукраїнській науково-технічній конференції «Вимірювання витрати та кількості газу» (м. Івано-Франківськ, 2009), першій міжнародній науково-технічній конференції пам'яті професора Володимира Поджаренка «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011)» (м. Вінниця, 2011), одинадцятій міжнародній науково-технічній конференції «Приладобудування: стан і перспективи»(м. Київ, 2012).

Публікації. Результати досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 17 наукових праць, з яких 9 статей (з них 2 статті одноосібно) у фахових наукових виданнях, які входять до переліку ДАК України, 2 нормативних документи України у галузі метрології, 6 публікацій тез науково-технічних конференцій.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 120 сторінок основного тексту, 38 рисунків, 6 таблиць, 7 додатків на 36 сторінках, списку використаних джерел із 130 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та основні завдання дослідження. Наведено характеристику наукової новизни і практичного значення отриманих результатів, подано відомості про особистий внесок здобувача та апробацію результатів роботи.

У першому розділі виконаний аналіз сучасного стану технічного забезпечення вимірювання мікровитрат газу. Велика кількість вимог, що ставляться до приладів вимірювання витрати у кожному конкретному випадку, зумовлює використання великої кількості їх типів, таких як витратоміри змінного перепаду тиску (ламінари витратоміри на основі капілярних трубок, витратоміри на основі звужуючих пристроїв, витратоміри на основі газових мостів), витратоміри постійного перепаду тиску (ротаметри), теплові витратоміри, плівкові витратоміри, дзвонові установки, установки еквівалентного витіснення, критичні сопла.

Здійснено наліз метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат в Україні та інших країнах та перспективи його вдосконалення. Існуючі прилади систематизовано, проаналізовано їх метрологічні та технічні характеристики, наведені рекомендації щодо можливості їх застосування в якості робочих еталонів.

Аналіз показав, що одним з найбільш придатних засобів для вимірювання мікровитрат газу є ламинарний витратомір, принцип роботи якого базується на вимірюванні гідравлічного опору, створеного капілярною трубкою або набором капілярних трубок. Проте існуючі конструкції ламинарних витратомірів не дозволяють досягти необхідної точності при вимірюванні витрати в лабораторній та повірочній практиці. Тому ставиться завдання подальшого дослідження і вдосконалення ламинарного витратоміра з метою такого підвищення його метрологічних характеристик, яке б дало можливість використовувати його в якості робочого еталона. З цієї метою необхідно розробити математичну модель похибки вдосконаленого ламинарного витратоміра, для врахування впливових зовнішніх факторів на результат вимірювання.

В Україні метрологічне забезпечення вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу регламентується державною повірочною схемою, яка встановлює метрологічну ієрархію еталонів, зразкових та робочих ЗВТ, а також порядок передачі з їх допомогою розміру одиниці об'єму та об'ємної витрати. Оскільки на даний момент відсутні методи і засоби повірки та калібрування ЗВТ малих витрат в державній повірочній схемі, необхідно розробити методичне забезпечення вимірювання мікровитрат та зміни до повірочної схеми. Це дозволить метрологічно забезпечити ЗВТ з нижньою межею діапазону

вимірювання від 0,001 м³/год, які знаходяться в експлуатації в Україні та на даний час метрологічно не забезпечені.

На підставі викладеного матеріалу сформульовано основні завдання і напрямки дисертаційних досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичним та експериментальним дослідженням технічних засобів вимірювання об'ємної витрати газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год.

Метою дослідницької роботи є аналіз і вдосконалення ламінарного витратоміра з метою усунення недоліків в конструкції, які не дозволяють досягти вищої точності вимірювання мікровитрат газу.

Зарубіжними фірмами освоєно серійний випуск витратомірів ламінарного типу, принцип дії яких ґрунтується на явищі лінійної втрати тиску на одиницю довжини шляху проходження газу при забезпеченні ламінарності потоку відповідно до формули

$$\Delta P = \frac{128\mu L Q}{\pi D^4} + \frac{8\rho Q^2}{\pi^2 D^5} (K_c + K_e), \quad (1)$$

де ΔP – перепад тиску, μ – динамічна в'язкість газу, L – довжина трубки, D – діаметр трубки, Q – витрата газу, ρ – густина газу, K_c – коефіцієнт стискуваності газу, K_e – коефіцієнт розширення газу.

Нелінійна частина в рівнянні, пропорційна квадрату витрати і незалежна від зміни в'язкості, спричиняється стискуванням газу на вході в капіляр і розширенням його на виході, що спричиняє зміну кінетичної енергії газу. Оскільки відносний перепад тиску на капілярі має невелике значення, зміна кінетичної енергії є незначною, і цей доданок практично не впливає на результат вимірювання. Розрахунково, для діапазону витрат від 0,001 до 0,016 м³/г другий доданок має значення не більше 0,01 % від першого і ним можна знехтувати.

Таким чином, найбільш впливовим показником на точність вимірювання витрати газу поряд з геометричними розмірами є в'язкість газу, яка в свою чергу залежить від температури. Ця залежність описується рівнянням Сатерленда

$$\mu_T = \mu_0 \cdot \frac{273,15 + C_3}{T + C_3} \cdot \left(\frac{T}{273,15} \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (2)$$

де μ_T – динамічна в'язкість газу при температурі T , μ_0 – динамічна в'язкість газу при 0°C, C_3 – стала Сатерленда для даного газу (обчислюється за формулою $C_3 = 1,47 T_{кип}$, де $T_{кип}$ – температура кипіння газу).

Геометрична інтерпретація виразу (2) показує практично лінійну залежність в'язкості від температури, що дало можливість методом найменших квадратів знайти апроксимуючу пряму залежності в'язкості від температури, рівняння якої має вигляд

$$\mu = 4,51 \cdot 10^{-8} \cdot T + 4,87 \cdot 10^{-6}. \quad (3)$$

Підставивши в'язкість як функцію температури, отримаємо повне рівняння вимірювання

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{(5,77 \cdot 10^{-6} \cdot T + 6,23 \cdot 10^{-4}) L} \quad (4)$$

Вплив вхідних величин на результат вимірювання можна отримати, проаналізувавши рівняння вимірювання за частковими похідними:

$$\frac{\partial Q}{\partial T} = \frac{-5,77 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P \pi D^4}{(5,77 \cdot 10^{-6} \cdot T + 6,23 \cdot 10^{-4})^2 L} \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial L} = \frac{-\Delta P \pi D^4}{(5,77 \cdot 10^{-6} \cdot T + 6,23 \cdot 10^{-4}) L^2} \quad (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial D} = \frac{-4 \Delta P \pi D^3}{(5,77 \cdot 10^{-6} \cdot T + 6,23 \cdot 10^{-4}) L} \quad (7)$$

Методом моделювання автором встановлено, що для ламінарного витратоміра традиційної конструкції, розрахованого на максимальну витрату $0,01 \text{ м}^3/\text{год}$ з параметрами $L=0,5 \text{ м}$, $D=1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, який працює в лабораторних умовах на повітрі при номінальній температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ при в'язкості $1,808 \cdot 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}$, перепад тиску при витраті $2,778 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ ($0,01 \text{ м}^3/\text{год}$) складає $215,83 \text{ Па}$. При допустимих геометричних відхиленнях довжини капіляра $\pm 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, його діаметра $\pm 0,001 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ і температури $\pm 2^\circ\text{C}$, підставивши дані в рівняння (4-6) загальна похибка вимірювання витрати складе $0,5\%$.

При зміні температури від 15 до 25°C динамічна в'язкість змінюється від $1,80 \cdot 10^{-5}$ до $1,85 \cdot 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, а відносна зміна в'язкості складає $2,7\%$, тобто $0,27\%$ на 1°C . На цю ж величину відповідно змінюються покази ламінарного витратоміра.

Метрологічний аналіз показав, що найбільш суттєвий вплив на результат вимірювання спричиняє зміна температури, і вдосконалювати конструкцію ламінарного витратоміра необхідно в напрямку усунення або зменшення цього впливу.

Для витратоміра з плоскою або кільцевою щілиною, який працює при $Re < 1300$, справедливо

$$\Delta P = \frac{12 \cdot Q \cdot L \cdot \mu}{\pi \cdot r \cdot (\Delta r)^3} \quad (8)$$

Аналіз рівняння вимірювання (8) показує, що для компенсації впливу динамічної в'язкості на результат вимірювання необхідно змінювати довжину щілини L , або її діаметр d , причому перепад тиску залежить від довжини щілини прямо пропорційно, а від ширини – обернено пропорційно її кубу. З цього випливає, що вводити механічну корекцію показів ламінарного витратоміра доцільно шляхом регулювання ширини щілини, оскільки її необхідно змінювати у значно вужчих межах. Автором запропонована конструкція, в якій вирішено вибрати за основу ламінарний витратомір з кільцевим зазором, зовнішній циліндр якого виготовлено з алюмінієвої трубки, а внутрішній циліндр – зі скла, із застосуванням скляної трубки. При цьому забезпечується таке ж зростання ширини щілини пропорційно температурі, як і при використанні пластин (рис. 1).

Автором встановлено, що необхідною умовою компенсації температурної залежності є певне співвідношення товщини роздільних пластин або діаметрів

коаксiальних трубок, яке рiвне потрiбному значенню температурної корекції на 1 К.

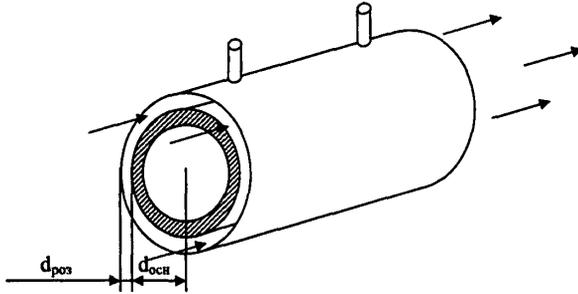


Рис. 1 Ламінарний з кільцевою щілиною і температурною корекцією

Оскільки висота щілини h_0 визначається різницею товщини пластин або різницею внутрішнього діаметра зовнішньої трубки d_{pos0} і зовнішнього діаметра внутрішньої трубки $d_{очн0}$, то її можна записати як

$$h_0 = d_{pos0} - d_{очн0}. \quad (9)$$

Діаметри трубок змінюються від температури за такими залежностями:

$$d_{очн}(T) = d_{очн0} \cdot (1 + \alpha_{очн} \cdot \Delta T), \quad (10)$$

$$d_{pos}(T) = d_{pos0} \cdot (1 + \alpha_{pos} \cdot \Delta T). \quad (11)$$

Відповідно, відносна зміна висоти щілини записується як

$$\frac{\Delta h(T)}{h_0} = \frac{(d_{pos}(T) - d_{очн}(T)) - (d_{pos0} - d_{очн0})}{d_{pos0} - d_{очн0}} = \Delta T \cdot \frac{\alpha_{pos} \cdot d_{pos0} - \alpha_{очн} \cdot d_{очн0}}{d_{pos0} - d_{очн0}}, \quad (12)$$

де $\Delta h(T)$ – зміна висоти щілини від температури,

h_0 – висота щілини при температурі 20 °С.

Оскільки $\frac{\Delta h(T)}{h_0}$ для кожного газу є фіксованим значенням і визначається

зміною його в'язкості від температури, позначимо його через K_t .

Таким чином, для розрахунку діаметрів трубок термокомпенсованого ламінарного витратоміра при заданих висоті та відносній зміні висоти щілини необхідно розв'язати систему рівнянь

$$\begin{cases} h_0 = d_{pos0} - d_{очн0} \\ K_t = \Delta T \cdot \frac{\alpha_{pos} \cdot d_{pos0} - \alpha_{очн} \cdot d_{очн0}}{d_{pos0} - d_{очн0}} \end{cases}, \quad (13)$$

де ΔT – відхилення температури від 20 °С.

Після розв'язання системи рівнянь (12) відносно змінної $d_{очн0}$, отримаємо модель оптимальних конструктивних параметрів ламінарного витратоміра, які забезпечують повну температурну компенсацію результатів вимірювання:

$$d_{осн0} = \frac{h_0 \cdot (K_1 - \alpha_{роз0} \cdot \Delta T)}{\Delta T \cdot (\alpha_{роз0} - \alpha_{осн})}, \quad (14)$$

$$d_{роз0} = d_{осн0} + h_0. \quad (15)$$

Проведений метрологічний аналіз засвідчив, що можна забезпечити повну термокомпенсацію ламінарного витратоміра в номінальному діапазоні лабораторних робочих температур 15°C – 25°C.

Експериментальні дослідження, що були виконані з метою визначення основних метрологічних характеристик термокомпенсованого ламінарного витратоміра, забезпечили підтвердження отриманих у другому розділі теоретичних висновків щодо можливості створення робочого еталона з класом точності 0,5 і встановлення реальної залежності результатів вимірювання від температури.

Експериментальні дослідження сплановані з використанням теорії повного факторного експерименту за планом типу 2^3 і проведені на еталонній базі ДП «Івано-Франківськстандартметрологія».

Дослідження проведені по граничних точках робочих діапазонів абсолютного тиску P (97-100,5 кПа), температури T (15-25 °C) та витрати q (0,001-0,016 м³/год). За результатами досліджень отримана математична залежність похибки δ від температури T , тиску P та витрати Q в натуральних значеннях, що має вигляд

$$\delta(q, P, T) = 5.149 - 775.23q - 4.514 \cdot 10^{-2} P - 0.484T + 7.429qP + 4.95 \cdot 10^{-3} PT + 48.9 \cdot 10^{-3} qT - 0.495qPT. \quad (16)$$

Похибка змодельована у всьому діапазоні витрат, неадекватність моделювання похибки при цьому складає 0,05%.

Відповідно, можна зробити висновки, що отримана математична модель досить точно описує поведінку похибки ламінарного витратоміра при зміні тиску, витрати і температури.

Графічну інтерпретація залежності похибки від впливових факторів зображено на рис. 2.

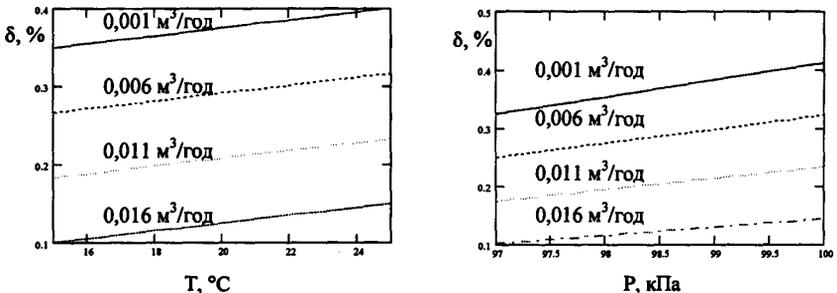


Рисунок 2 – Графічна інтерпретація залежності похибки від температури, тиску і витрати

З результатів досліджень слідує, що ефект температурної компенсації повністю проявляється у всьому діапазоні витрат, при чому похибка вимірювання витрати в діапазоні температур від 15°C до 25°C не перевищує 0,5%.

Третій розділ містить теоретичні дослідження метрологічного забезпечення відтворення мікровитрат в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год. Метрологічне забезпечення мікровитрат розроблялося з урахуванням відсутності на даний момент методів і засобів повірки і калібрування ЗВТ мікровитрат в державній повірочній схемі для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. Розробка вимірювального обладнання велася в двох напрямках:

1. Запропоновано розширення діапазону відтворюваних витрат на базі установки еквівалентного витіснення, шляхом виготовлення додаткового контура мікровитрат з стабілізацією витрати за допомогою посудини Маріотта.

Зміну витрати в таких установках як традиційної конструкції, так і з посудиною Маріотта, можна оцінити з застосуванням формули Торрічеллі, за якою визначається швидкість витікання рідини з посудини при відомому її рівні

$$v_1 = \sqrt{2gh}, \quad (17)$$

де v_1 – швидкість потоку рідини, g – прискорення вільного падіння, h – висота стовпа рідини.

При застосуванні посудини Маріотта її вдосконалено шляхом повертання торця газовідної трубки на 180° вгору (рис. 3). Це дало можливість точно задати фіксоване значення висоти гідростатичного тиску, і одночасно сформувати спрямований потік бульбашок у верхню частину посудини Маріотта. Таким чином, маючи повністю визначений розподіл тисків у посудині Маріотта, можна за допомогою рівняння Бернуллі визначити об'ємну витрату рідини через насадок дивертора, яка, таким чином, визначається геометричними параметрами посудини і тиском на вході, а також параметрами насадка. Рівняння Бернуллі для такого випадку має вигляд

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho \cdot g} + \frac{V_0^2}{2g} = z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} + \left(a + \lambda \cdot \frac{h}{d} \right) \cdot \frac{V_1^2}{2g}, \quad (18)$$

де z_0 – висота торця газовідної трубки; z_1 – висота торця насадка дивертора; p_0 – абсолютний тиск на виході газовідної трубки; p_1 – абсолютний тиск на виході насадка дивертора; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння; V_0 – швидкість рідини у посудині Маріотта; V_1 – швидкість рідини на виході з посудини Маріотта; V_H – швидкість рідини у насадку; a – коефіцієнт кінетичної енергії, рівний 2 для ламінарного потоку; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя; h – висота насадка; d – діаметр насадка.

В цьому рівнянні (18) $z_0 - z_1 = H$, і, оскільки діаметр посудини Маріотта (0,5 м) значно більший від діаметру вихідного насадка дивертора (0,001 м), доданок $\frac{V_0^2}{2g}$, який характеризує швидкісний напір і залежить від швидкості поверхні рідини, можна прийняти рівним нулю.

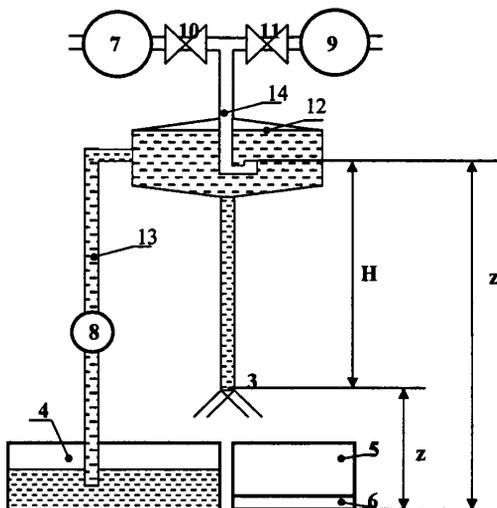


Рис. 3 – Схема установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати
 3 – дивертор; 4,5 – баки; 6 – вага; 7 – витратомір; 8 – насос; 9 – еталон
 витрати газу дзвонового типу; 10,11 – крани; 12 – посудина Маріотта; 13 –
 наповнювальна трубка; 14 – газовідна трубка

Таким чином, формулу (18) можна записати у вигляді

$$H + \frac{p_0 - p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\left(a + \lambda \cdot \frac{h}{d}\right) \cdot V_H^2 + V_1^2}{2g} \quad (19)$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя λ для ламінарного потоку визначається з формули Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}, \quad (20)$$

де Re – значення числа Рейнольдса, яке рівне

$$\text{Re} = \frac{V_H \cdot d}{\nu}, \quad (21)$$

де ν – кінематична в'язкість рідини.

Підставивши рівняння (20), (21) в рівняння (19), отримаємо

$$H + \frac{p_0 - p_1}{\rho \cdot g} = \frac{\left(a + \frac{64 \cdot \nu \cdot h}{V_H \cdot d^2}\right) \cdot V_H^2 + V_1^2}{2g} \quad (22)$$

Тоді, рівняння (19), розв'язане відносно V_H , буде мати вигляд

$$V_H = \frac{-32 \cdot \nu \cdot h \cdot \rho - \left(-\rho \cdot (-1024 \cdot \nu^2 \cdot h^2 \cdot \rho - a \cdot d^4 \cdot (2 \cdot (\rho \cdot H \cdot g - p_0 + p_1) + \rho \cdot V_1^2))\right)^{0.5}}{\rho \cdot a \cdot d^2} \quad (23)$$

Об'ємна витрата рідини через насадок при відомій швидкості витікання V_H обчислюється через залежність

$$Q_n = V_H \cdot \omega_H, \quad (24)$$

де Q_n - об'ємна витрата рідини через насадок,
 ω_H - площа поперечного перерізу насадка, яка визначається з залежності

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot d^2}{4}. \quad (25)$$

Об'ємна витрата рідини виражається через масу, густину і час за формулою

$$Q_n = \frac{m}{t \cdot (\rho_{0m} + \alpha(T_m - 273,15))}. \quad (26)$$

З врахуванням рівняння вимірювання установки відтворення об'ємної витрати газу еквівалентного витіснення рідини

$$V = \frac{P_c \cdot T_d}{T_c \cdot P_d} \cdot \frac{m}{\rho_{0m} + \alpha(T_m - 273,15)} \cdot \left(\frac{1 - \rho_{n,n} / \rho_s}{1 - \rho_{n,n} / (\rho_{0m} + \alpha(T_m - 273,15))} \right), \quad (27)$$

де P_c, T_c - тиск та температура повітря в проміжній ємності; P_d, T_d - тиск та температура повітря в дослідній ділянці; T_m - температура робочої рідини; ρ_{0m} - густина масла при 20 °С, α - коефіцієнт теплового розширення масла; ρ_s - густина стандартних зважуваних об'єктів (8000 кг/м³); $\rho_{n,n}$ - густина навколишнього повітря та формул (23), (24), (25) і (26), можна отримати математичну модель рівняння вимірювання витрати газу установки з посудиною Маріотта

$$Q = \frac{P_c \cdot T_d}{T_c \cdot P_d} \cdot \frac{m}{\rho_{0m} + \alpha(T_m - 273,15)} \cdot \left(\frac{1 - \rho_{n,n} / \rho_s}{1 - \rho_{n,n} / (\rho_{0m} + \alpha(T_m - 273,15))} \right), \quad (28)$$

де Q - об'ємна витрата газу

Для проведення метрологічного аналізу і визначення НСП і СКВ відтворення одиниці об'ємної витрати газу установкою еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати здійснено диференціювання формули (28) за впливовими факторами. Розрахована величина сумарної похибки становить 0,2%. Для визначення оптимальних значень параметрів робочої формули, її розв'язок необхідно проводити у зворотному порядку, а саме: з врахуванням конкретного діапазону значень одиниць об'ємної витрати рідини, які будуть відтворюватись установкою еквівалентного витіснення, і геометричних параметрів насадка дивертора, за формулою (24) можна визначити значення швидкості в насадку.

Також при цьому можливо визначити необхідну величину висоти H для заданої витрати з формули (23)

$$H = \frac{[-2 \cdot p_0 + 2 \cdot p_1 + \rho \cdot a \cdot V_n^2 + \rho \cdot V_1^2]}{2 \cdot \rho \cdot g} + 32 \cdot V_n \cdot v \cdot \frac{h}{g \cdot d^2}. \quad (29)$$

В результаті проведеного аналізу встановлено, що витрата рідини через насадок дивертора в установці еквівалентного витіснення з посудиною Маріотта даної конструкції залежить від геометричних параметрів установки, густини рідини та перепаду тисків. Всі ці величини можуть бути визначені з високою точністю, що, таким чином, дає можливість точно задати значення

необхідної витрати за допомогою насадка і витримувати його незмінним в процесі проведення заміру.

2. Як альтернативу методу еквівалентного витіснення розроблений також метод сумування потоків еталонної витрати, відтворюваної дзвоновим мірником вторинного еталона ВЕТУ 03-01-01-08, та досліджуваної витрати, відтворюваної досліджуваним витратоміром, з подальшим вимірюванням витрати робочим еталоном високої точності (рис. 4).

Дзвонова установка 1 використовується як засіб відтворення витрати значенням $0,020 \text{ м}^3/\text{год}$ з похибкою $0,15\%$. Витрата регулюється регулятором 2. Оскільки нижня границя діапазону вимірювання для еталонного витратоміра типу EP-2 (похибка вимірювання витрати $\pm 0,2\%$) рівна $0,02 \text{ м}^3/\text{год}$, 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 еталонний витратомір знаходиться в межах його діапазону робочих витрат.

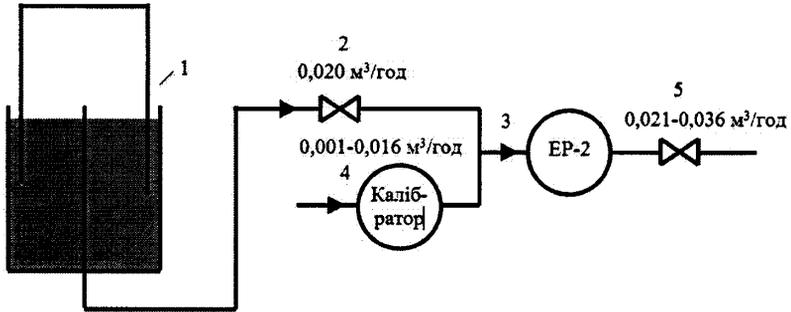


Рис. 4 Схема установки для повірки ЗВТ вимірювання мікровитрат методом сумування витрат

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

$$Q_x = Q_o \frac{p_o}{p_x} \cdot \frac{T_x}{T_o} - Q_e \frac{p_e}{p_x} \cdot \frac{T_x}{T_e}, \quad (30)$$

де Q_x – витрата газу через калібратор за стандартних умов; Q_o – витрата газу на виході дзвонової установки; Q_e – витрата газу через еталонний витратомір типу EP-2; p_x – абсолютний тиск на вході калібратора; p_o – абсолютний тиск на виході дзвонової установки; p_e – абсолютний тиск на виході еталонного витратоміра типу EP-2; T_x – абсолютна температура газу на вході калібратора; T_o – абсолютна температура газу на вході дзвонової установки; T_e – абсолютна температура газу на вході еталонного витратоміра типу EP-2.

Метрологічний аналіз ламінарного витратоміра традиційної конструкції і термокомпенсованого ламінарного витратоміра показав, що похибка вимірювання об'ємної витрати витратоміром традиційної конструкції перевищує похибку вимірювання термокомпенсованого ламінарного витратоміра у 2,35 рази при рівних конструктивних параметрах витратомірів.

Четвертий розділ присвячений питанням розробки технічної та нормативної бази вимірювання та відтворення мікровитрат в діапазоні 0,001 до 0,016 м³/год.

Розробка технічної бази відтворення мікровитрат - калібратора витрати здійснювалась за структурною схемою (рис. 5), загальний вигляд калібратора представлено на рис.6.



Рис. 5 Структурна схема калібратора

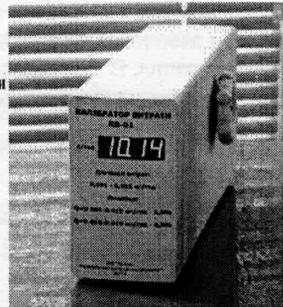


Рис. 6 Загальний вигляд калібратора

Автором розроблено вдосконалений АЦП, на основі мікроконтролера типу Atmega16, що дало можливість забезпечити такі функції:

1. Перетворення аналогового вхідного сигналу перетворювача тиску в цифрове значення витрати, що відображається на цифровому індикаторі.

2. Можливість калібрування витратоміра по двох точках.

3. Статистична обробка результатів вимірювання. Вимірювання здійснюється з частотою 300 Гц, причому дані поміщаються в буфер типу FIFO на 32 значення, і при кожному вимірюванні перераховується середнє арифметичне значення минулих 32 вимірювань. Таким чином суттєво зменшується випадкова складова похибки, особливо в умовах високого рівня шумів і завад, а також пульсацій тиску.

В діючій державній повірочній схемі для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу (ДСТУ 3383:2007) не охоплено діапазон витрат менше 16 л/год, незважаючи на наявність в експлуатації значної кількості ЗВТ вимірювання об'ємної витрати газу (ротаметри та ін.).

Таким чином, постало очевидним питання вдосконалення державної повірочної схеми. На даний момент ДП „Івано-Франківськстандартметрологія” розроблено і подано на реєстрацію зміни до ДСТУ 3383:2007, серед яких автором також пропонується розширення мінімальної витрати з 0,016 м³/год до 0,001 м³/год з передбаченими робочими еталонами відтворення даних витрат та методу безпосереднього зв'язання з ними робочих ЗВТ.

Пропонується включити в повірочну схему установки еквівалентного витіснення з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$. Як робочі еталони об'ємної витрати газу використовуються також ламінарні витратоміри об'ємної витрати газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$.

Удосконалення повірочної схеми дає можливість здійснити повірку в діапазоні об'ємних витрат від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ всієї гами робочих ЗВТ (лічильників, витратомірів, лічильників-витратомірів) з межами допустимих відносних похибок від $0,5\%$ до 7% , які експлуатуються в народному господарстві України.

Таким чином, запропонована зміна до повірочної схеми для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати значно підвищує рівень забезпечення єдності вимірювань в галузі витратометрії газу.

Результати дисертаційної роботи впроваджені у ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» та ТОВ ІВФ «Темпо» при дослідженні метрологічних характеристик витратомірів об'єму та об'ємної витрати газу. Розроблений також робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис.7) та його нормативне забезпечення застосовується в ДП «Івано-Франківськстандартметрологія».

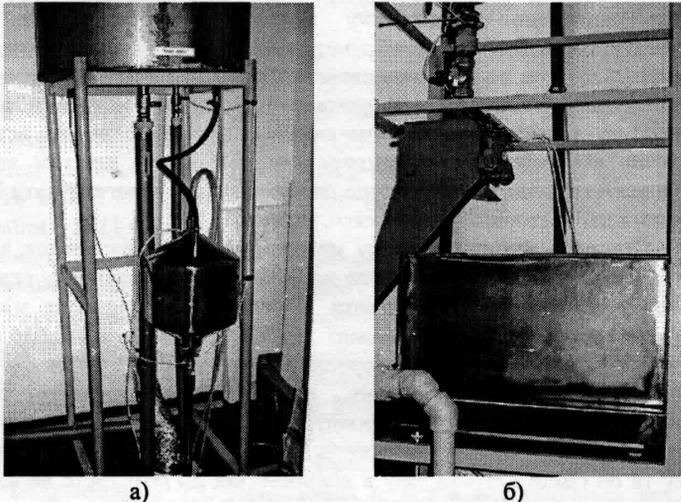


Рисунок 7. Зовнішній вигляд установки еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати, розміщеної на двох поверхах приміщення (а – перший поверх, б – другий поверх)

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень метрологічного забезпечення вимірювання мікровитрат газу здійснено



вдосконалення наукової, нормативної, та технічної основ метрологічного забезпечення вимірювання витрати газу в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$, розроблено відповідні нормативні документи. При цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Розроблено спосіб компенсації температурної похибки ламінарного витратоміра шляхом використання в якості чутливого елемента коаксіальних трубок з різними коефіцієнтами лінійного розширення, що дає можливість створити термокомпенсований витратомір в діапазоні витрат від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ з класом точності 0,5 та використовувати його як робочий еталон для відтворення мікровитрат газу.

2. Знайшов подальший розвиток існуючий метод відтворення витрати газу – метод еквівалентного витіснення шляхом використання посудини Маріотта для стабілізації рівня рідини, що дозволило усунути один з найбільш суттєвих недоліків установок даного типу – нестабільність витрати за рахунок зміни рівня рідини. Метод стабілізації витрати рідини за допомогою посудини Маріотта удосконалено шляхом повертання торця газовідної трубки у посудині на 180° вгору, що дало можливість сформувати спрямований потік бульбашок у верхню частину посудини Маріотта, і одночасно встановити та відтворити фіксоване значення гідростатичного тиску рідини в установці еквівалентного витіснення.

3. Розроблено математичну модель рівняння витрати установки еквівалентного витіснення з стабілізацією витрати за допомогою вдосконаленої посудини Маріотта, що дало можливість обґрунтувати модернізацію установок еквівалентного витіснення, та математичну модель похибки вимірювання витрати газу термокомпенсованим ламінарним витратоміром, встановлено її залежність від зміни тиску, температури та витрати шляхом використання теорії планування експерименту, що дає можливість спрогнозувати їх поведінку в реальних лабораторних умовах експлуатації.

4. Створено технічну основу метрологічного забезпечення вимірювання витрати в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$ – установку еквівалентного витіснення зі стабілізацією витрати та джерело відтворення мікровитрат – калібратор мікровитрат в діапазоні від $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$ до $0,016 \text{ м}^3/\text{год}$, що розширило нижню границю відтворення витрати до $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$.

5. Розроблено нормативну основу метрологічного забезпечення вимірювання та відтворення мікровитрат в діапазоні $2,77 \cdot 10^{-7} - 4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ у вигляді двох нормативних документів з метрології: «Робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,77 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Програма та методика державної метрологічної атестації» та «Витратоміри газу в діапазоні від $2,77 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Програма і методика державної метрологічної атестації».

6. Підготовлено зміну до ДСТУ 3383:2007 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу», що дає можливість розширити нижню границю вимірюваних витрат до $0,001 \text{ м}^3/\text{год}$.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

1. Присяжнюк Т.І. Термокомпенсований витратомір з мікропроцесорним вторинним приладом / Т.І. Присяжнюк // Метрологія та прилади – 2010 - №4 – с.30-32.

2. Присяжнюк Т.І. Універсальний багатоканальний вторинний прилад для вимірювання постійної напруги амплітудою до 100 мВ / Т.І. Присяжнюк // Метрологія та прилади – 2010 - №2 – с.48-50.

3. Петришин І.С. Удосконалення конструкції та підвищення точності ламінарних витратомірів / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк // Український метрологічний журнал - 2008 - №2 – с.42-45.

4. Петришин І.С. Метрологічний аналіз термокомпенсованих ламінарних витратомірів / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк. // Методи та прилади контролю якості - 2009 - №22 – с.52-56.

5. Присяжнюк Т.І. Спосіб стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини / Т.І. Присяжнюк, І.С. Петришин // Метрологія та прилади : наук.-виробн. журн. - 2011 - N 3 - с.27-29.

6. Петришин І.С. Розширення діапазону відтворюваних витрат вторинного еталона об'єму і об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-01-08 / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк, Н.І. Петришин // Методи та прилади контролю якості - 2010 - №24 – с.69-72.

7. Петришин Н.І. Планування факторного експерименту досліджень засобів обліку природного газу в умовах реального середовища / Н.І. Петришин, Т.І. Присяжнюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу – 2010 – №2 – с. 125-130.

8. Петришин І.С. Калібратор для перевірки витратомірів газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк // Вісник інженерної академії України – 2011 - №1 – с. 266-269.

9. Присяжнюк Т.І. Вдосконалення способу стабілізації витрати газу в установках еквівалентного витіснення рідини / Т.І. Присяжнюк, О.А. Бас, І.С. Петришин // Український метрологічний журнал – 2012 - №4 – с.36-39.

10. Присяжнюк Т.І. Підвищення точності вимірювання малих об'ємних витрат газу / Т.І. Присяжнюк, Безгачнюк Я.В. // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Вимірювання витрати та кількості газу» Івано-Франківськ: ІФНТУНГ 2005. – с. 30.

11. Присяжнюк Т.І. Зменшення додаткової температурної похибки ламінарного витратоміра / Т.І. Присяжнюк // П'ята всеукраїнська науково-технічна конференція «Вимірювання витрати та кількості газу», Івано-Франківськ: ІФНТУНГ 2007. – с. 62.

12. Присяжнюк Т.І. Метрологічний аналіз термокомпенсованих ламінарних витратомірів / Т.І. Присяжнюк // Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених «Техніка і прогресивні технології в нафтогазовій інженерії», Івано-Франківськ: ІФНТУНГ 2008. – с. 71.

13. Присяжнюк Т.І. Розробка оптимальної конструкції та експериментальні дослідження термокомпенсованого ламінарного витратоміра / Т.І. Присяжнюк

// Шоста всеукраїнська науково-технічна конференція «Вимірювання витрати та кількості газу» зб. тез доповідей - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – с. 84.

14. Петришин І.С. Розроблення метрологічного забезпечення вимірювання малих витрат газу в Україні / І.С. Петришин, Т.І. Присяжнюк. // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011) зб. тез доповідей - Вінниця: КІВЦ ВНТУ 2011. - с. 127.

15. Петришин І.С. Розробка технічної бази метрологічного забезпечення засобів обліку скрапленого вуглеводневого газу / І.С. Петришин, О.А.Бас, Т.І. Присяжнюк. // Приладобудування: стан і перспективи. зб. тез доповідей - Київ: НТУУ «КПІ» 2012. - с. 252.

16.Робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні від $2,77 \cdot 10^{-7}$ м³/с до $4,44 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Програма та методика державної метрологічної атестації / Петришин І.С., Присяжнюк Т.І., Бас О.А. [Чинна від 2012-03-27] Наказ № 131 ДП “Івано-Франківськстандартметрологія” від 27.03.2012

17. Витратоміри газу в діапазоні від $2,77 \cdot 10^{-7}$ м³/с до $4,44 \cdot 10^{-6}$ м³/с. Програма і методика державної метрологічної атестації / Петришин І.С., Присяжнюк Т.І., Бас О.А. [Чинна від 2012-06-18] Наказ № 219 ДП “Івано-Франківськстандартметрологія” від 18.06.2012.

АНОТАЦІЯ

Присяжнюк Т.І. Методи і засоби вимірювання витрати газу в діапазоні від 0,001 до 0,016 м³/год. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого звання кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02

Дисертація присвячена питанню метрологічного забезпечення вимірювання витрати від 0,001 до 0,016 м³/год. На основі існуючих приладів розроблено новий тип витратоміра – термокомпенсований ламінарний витратомір. Розроблено математичну модель вимірювання, проведено експериментальні дослідження та створено лабораторний витратомір для діапазону витрат від 0,001 до 0,016 м³/год. Розроблено метрологічне забезпечення даного витратоміра. Розроблені методи калібрування витратомірів малих витрат. Розроблено метод стабілізації витрати для витратомірних установок еквівалентного витіснення за допомогою посудини Маріотта. Проведено аналіз повірочних схем у деяких країнах, зроблені висновки щодо необхідності внесення змін в існуючу повірочну схему.

Розроблено метрологічне забезпечення даного витратоміра, що включає в себе другий контур еталона ВЕТУ 03-01-01-08, калібрування методом сумування витрат і комплект нормативної документації.

Експериментальним шляхом підтверджено результати теоретичних досліджень. Проведена апробація результатів вимірювання в умовах ДП «Івано-Франківськстандартметрологія». Розроблено і впроваджено в практику два нормативні документи з метрологічного забезпечення малих витрат.

Ключові слова: ламінарний витратомір, вимірювання мікровитрат, первинний перетворювач витрати, теорія планування експерименту.

АННОТАЦИЯ

Присяжнюк Т.И. Методы и средства измерения расхода газа в диапазоне от 0,001 до 0,016 м³/ч - Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.01.02

Диссертация посвящена метрологическому обеспечению измерения расхода от 0,001 до 0,016 м³/ч

В первом разделе произведен анализ имеющегося на данный момент метрологического обеспечения для измерения расходов в диапазоне от 0,001 до 0,016 м³/ч. Определены основные ограничения, касающиеся использования существующих приборов в качестве рабочих эталонов малых расходов. Сделаны выводы относительно выбора перспективного типа расходомера для дальнейших исследований на основе метода переменного перепада давления, а именно ламинарного расходомера, с целью создания прибора на диапазон расходов от 0,001 до 0,016 м³/ч. Используя преимущества данного типа приборов, сформулировано задание устранения их существенных недостатков, в первую очередь зависимости результатов измерения от температуры.

Произведен анализ поверочных схем в некоторых странах, сделаны выводы относительно необходимости внесения изменений в существующую поверочную схему.

Второй раздел посвящен теоретическим исследованиям СИТ измерения объемного расхода газа в диапазоне от 0,001 до 0,016 м³/ч. Определены направления совершенствования существующих СИТ для обеспечения возможности создания рабочего эталона малых расходов. На основе существующих приборов разработан новый тип расходомера - термокомпенсированный ламинарный расходомер. Разработана математическая модель измерения, проведены экспериментальные исследования и создан лабораторный расходомер для диапазона расходов от 0,001 до 0,016 м³/ч. С использованием теории планирования эксперимента подтверждено действие механизма температурной компенсации.

Разработано метрологическое обеспечение данного расходомера, включающее в себя второй контур эталона ВЕТУ 03-01-01-08, калибровку методом суммирования расходов и комплект нормативной документации. Разработаны новые методы калибровки расходомеров малых расходов. Разработан метод стабилизации расхода для расходомерных установок эквивалентного вытеснения при помощи сосуда Мариотта.

Третий раздел содержит разработанную методику и результаты экспериментальных исследований, выполненных с целью: определения основных метрологических характеристик термокомпенсированного ламинарного расходомера, подтверждения полученных во второй главе теоретических выводов о возможности создания рабочего эталона с классом точности 0,5 и установления реальной зависимости результатов измерения от температуры. Экспериментальные исследования спланированы с использованием теории полного факторного эксперимента и произведены по "плану типа 2³ⁿ".

Четвертый раздел посвящен вопросам разработки и внедрения расходомера и калибратора для поверки расходомеров газа в диапазоне от 0,001 до 0,016 м³/ч и его метрологического обеспечения. Экспериментальным путем подтверждены результаты теоретических исследований.

Произведена апробация результатов измерения в условиях ГП «Ивано-Франковскстандартметрология». Разработаны и внедрены в практику два нормативных документа по метрологическому обеспечению малых расходов.

Ключевые слова: ламинарный расходомер, измерения микрорасходов, первичный преобразователь расхода, теория планирования эксперимента.

ABSTRACT

Prisyajnyuk TI Methods and means of measuring gas flow in the range of 0.001 to 0.016 m³/h - The manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.01.02 The dissertation is devoted to measure the flow from 0.001 to 0.016 m³/h based on existing instruments, a new type of meter - Temperature compensated laminar flowmeter.

A mathematical model of measurement, experimental studies and created laboratory type flowmeter for a range of flow from 0.001 to 0.016 m³/h. A metrological support of the flowmeter is created. The new methods of calibration of flow meters low flow is developed. A method for stabilizing flow for flow units equivalent to the displacement of the vessel by Mariott.

The analysis of calibration schemes in some countries, and draw conclusions about the need for changes in the existing verification scheme.

Developed metrological support of the flowmeter includes a second circuit reference VETU 03-01-01-08, calibration method of summation of flows and set the standard documentation.

Theoretical studies are confirmed by experimental results. The approbation of measurement results in SE Ivano-Frankivskstandartmetrologiya. Developed and put into practice

Key
the the

transmitter,