

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Ільницький Віктор Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК (662.612:662,769.21)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

"Удосконалення методики метрологічного аналізу побутових мембранних лічильників газу для врахування впливу температури газу на покази лічильника"

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

В. В. Ільницький

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Витвицька Л. А., к.т.н. доцент каф. МІВТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є.Середюк

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ

2024

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Лютак З. П., професор		

7. Дата видачі завдання 15.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	16.11.- 20.11.2023	
2.	1 Аналіз існуючих методів та пристроїв вимірювання витрати газу	21.11.- 26.11.2023	
3.	2 Теоретичне обґрунтування об'ємного методу вимірювання витрати газу на основі мембранного механізму	27.11.- 10.12.2023	
	3 Метрологічний аналіз та метрологічне забезпечення мембранних лічильників газу	10.12.- 25.12.2023	
4.	Висновки	26.12.- 31.12.2023	
5	Оформлення пояснювальної записки	01.01.- 10.01.2024	

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ільницький В.В.
(прізвище та ініціали)

Витвицька Л.А.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 90 стор., 25 рис., 5 табл., 22 літер. джерел, 2 додатки, 6 арк. граф. матеріалу.

Мета роботи - дослідження метрологічних характеристик побутових мембранних лічильників газу, визначення впливу температури газу на покази лічильника.

Об'єкт дослідження – процес проходження газу через мембранний лічильник, під'єднювальні проводи та установки для перевірки лічильників

Предмет дослідження – лічильники мембранного типу, під'єднювальні проводи та повірочні установки.

Методи дослідження – математичні методи опису процесу проходження газу через лічильник на основних рівнянь газодинаміки, методи оброблення результатів вимірювання на основі комп'ютерних технологій.

В магістерській роботі проаналізовано різні види побутових лічильників та повірочних установок, проаналізовано методики проведення перевірки, проведено експериментальні дослідження впливу різних факторів, особливо температури газу на покази лічильників та при відтворенні одиниці об'ємної витрати повірочними установками.

Ключові слова та словосполучення: побутовий лічильник, температура газу, повірочна установка, похибка, характеристики газу, еталон.

ABSTRACT

Master's thesis: 90 pages, 25 pictures, 5 tables, 22 letters. sources, 2 applications, 6 sheet earl. material.

The purpose of the work is to study the metrological characteristics of household membrane gas meters, to determine the effect of gas temperature on meter readings.

The object of the research is the process of passing gas through a membrane meter, the connecting room conducts and installs for meter verification.

The subject of research is membrane-type meters, connecting leads and verification devices.

Research methods – mathematical methods of describing the process of gas passing through the meter based on the basic equations of gas dynamics, methods of processing measurement results based on computer technologies.

In the master's thesis, various types of household meters and calibration devices were analyzed, calibration methods were analyzed, experimental studies of the influence of various factors, especially gas temperature on meter readings and when reproducing the volume flow unit by calibration devices, were conducted.

Key words and phrases: household meter, gas temperature, calibration device, error, gas characteristics, standard.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ВПВ – вимірювальний перетворювач витрати

ГВС – газовимірювальна станція

ДСТУ – державний стандарт України

ЕД – експлуатаційна документація

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки

НСП – невиключена систематична похибка

ПВВГ – пункт вимірювання витрат газу

ПВП – первинний вимірювальний перетворювач

ПЛК – програмований логічний контролер

СКВ – середньо-квадратичне відхилення

ТД – технічна документація

ФХП – фізико-хімічні процеси

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ	11
1.1 Гідродинамічні методи	12
1.1.1 Витратоміри змінного перепаду тиску.	12
1.1.2 Витратоміри постійного перепаду тиску.....	14
1.1.3 Вихорові витратоміри.....	14
1.2 Механічні лічильники	17
1.2.1 Роторні лічильники.....	18
1.2.2 Барабанні витратоміри	19
1.2.3 Мембранні витратоміри.....	20
1.2.4 Турбінні витратоміри	21
1.3 Електронні лічильники.....	23
1.3.1 Ультразвукові лічильники.....	24
1.3.2 Смарт-лічильники газу	25
1.3.3 Коріолісові витратоміри.....	26
1.3.4 Тепловий витратомір	28
1.4 Обґрунтування вибору типу лічильника та постановка задач магістерської роботи	30
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ НА ОСНОВІ МЕМБРАННОГО МЕХАНІЗМУ	33
2.1 Аналіз впливу властивостей газу на точність вимірювання витрати мембранними лічильниками	33
2.1.1 Характеристика вимірюваного середовища та процесу вимірювання .	33

2.1.2 Вплив компонентного складу газу на покази лічильника	35
2.2 Аналіз сучасних методів вимірювання витрати газу.....	40
2.3 Теоретичне обґрунтування процесів роботи мембранних лічильників та їх конструктивні особливості	43
2.3 Конструктивні особливості відлікового пристрою мембранних лічильників	49
2.4 Особливості маркування мембранних лічильників газу та їх ідентифікація	50
3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕМБРАННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ	52
3.1 Класифікація похибок вимірювання	52
3.2 Визначення метрологічних та технічних характеристик лічильників.....	54
3.2.1 Визначення відносної похибки лічильників	54
3.2.2. Методика введення поправок до відносної похибки лічильника	56
3.2.3 Методика визначення втрат тиску на лічильниках.....	58
3.2.4. Методика визначення порогу чутливості лічильників	59
3.2.5 Методика перевірки лічильників на запобігання зворотному ходу відлікових пристроїв	60
3.2.6 Методика перевірки передавального відношення або коефіцієнта перетворення.....	60
3.3 Метрологічне забезпечення мембранних лічильників	61
3.3.1 Опис конструкції повірочної установки Inotech.....	62
3.3.2 Принцип роботи повірочної установки Inotech.	71
3.3.4 Метрологічні випробування повірочної установки	73
3.3.5 Методика проведення повірки установок	75

3.4 Дослідження впливу неодимового магніту на метрологічні характеристики побутових лічильників газу	82
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

ВСТУП

Законом України «Про забезпечення комерційного обліку природного газу» постачання газу проводиться лише за умови здійснення цього обліку, в т.ч. у всіх споживачів мають бути встановлені лічильники газу. Ощадливі господарі, що подбали про оснащення своїх помешкань газовими лічильниками, переконалися, наскільки фінансово вигідніший для сімейного бюджету розрахунок за спожиті кубометри газу за показами лічильника, ніж розрахунки за нормами споживання. Маючи вдома лічильник, вже через місяць-другий можна підрахувати, наскільки різняться обсяги по нормах споживання від об'єму реально спожитого газу, визначеного за лічильником.

Разом з тим, лічильники, встановлені в помешканнях громадян, потребують проведення періодичної повірки.

Відповідно до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», всі засоби вимірювальної техніки (зокрема, і побутові лічильники газу) підлягають періодичній повірці через визначений проміжок часу – міжповірочний інтервал. Повірку побутових лічильників газу здійснюють представники територіальних органів Держспоживстандарту України, а порядок її проведення встановлено національним стандартом України ДСТУ 2708 “Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення”. Зокрема, лічильники газу, в залежності від типу, повіряються через 5-8 років.

Актуальність роботи пов'язана з необхідністю проведення контролю точності вимірювання кількості спожитого природного газу в трубопроводах високого, середнього та низького тиску та при обліку газу побутовими лічильниками. Потребує дослідження вплив температури газу на точність засобів обліку.

Мета роботи - дослідження метрологічних характеристик побутових мембранних лічильників газу, визначення впливу температури газу на покази лічильника.

Об'єкт дослідження – процес проходження газу через мембранний лічильник, під'єднювальні проводи та установки для повірки лічильників

Предмет дослідження - лічильники мембранного типу, під'єднювальні проводи та повірочні установки.

Методи дослідження - математичні методи опису процесу проходження газу через лічильник на основних рівнях газодинаміки, методи оброблення результатів вимірювання на основі комп'ютерних технологій.

Наукова новизна - визначено основні характеристики природного газу, їх вплив на окремі конструктивні елементи мембранних лічильників та повірочних установок.

Практична цінність роботи полягає у розробленні удосконаленої методики повірки лічильників з врахуванням впливу температури газу та навколишнього середовища.

Апробація результатів наукових досліджень, здійснених при виконанні магістерської роботи, була представлена на Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», м. Івано-Франківськ, 13 жовтня 2023 р [17].

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ПРИСТРОЇВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ

Методи вимірювання витрати газу – це методи, що використовуються для вимірювання фізичних обсягових характеристик, які безпосередньо пов'язані з витратою газу.

Враховуючи призначення обсягів газу за пропускною здатністю, можна розділити їх на такі групи:

- побутові – з пропускною здатністю до 6 м³/рік;
- комунально-побутові – з пропускною здатністю до 16 м³/рік;
- промислові – з пропускною здатністю 16 м³/рік і більше.

За методом вимірювання ВПВ можна класифікувати їх на такі групи:

1. Вимірювання за гідродинамічними методами включає:
 - змінного перепаду тиску (витратоміри з звужуючим пристроєм);
 - постійного перепаду тиску (ротаметри, золотникові);
 - вихорові.
2. З неперервно рухомим тілом:
 - об'ємні (роторні, мембранні, барабанні, камерні);
 - швидкісні (турбінні).
3. Основані на різноманітних фізичних явищах:
 - акустичні (ультразвукові);
 - коріюлісові;
 - теплові.

1.1 Гідродинамічні методи

1.1.1 Витратоміри змінного перепаду тиску.

Суть їх роботи полягає в тому, що під час протікання газу через звужуючий пристрій частина потенційної енергії потоку переходить у кінетичну, при цьому середня швидкість потоку в звуженому перетині підвищується, а тиск зменшується. Різниця цих тисків (Δp) залежить від швидкості газу і буде тим більша, чим більша витрата газу, що протікає.

В залежності від того, як використовується різниця тисків (Δp), що ґрунтуються на законі Бернуллі, ділять на змінного та постійного перепаду тиску. В ВПВ змінного перепаду тиску для визначення витрати речовини використовують звужуючий пристрій (діафрагму, сопло), який не змінює своє положення і вимірюють дифманометром різницю тисків до та після звужуючого пристрою.

На рис.1.1 показано профіль руху потоку через діафрагму (рис. 1.1,а), завихрення, а також розподіл тиску по довжині трубопроводу.

Потік Q звужується перед діафрагмою, проходить діафрагму і по інерції ще зменшується в перерізі на певній віддалі за діафрагмою, а вже потім зростає в перерізі і поступово заповнює весь переріз трубопроводу. Тиск потоку перед діафрагмою дещо зростає за рахунок підпору перед діафрагмою.

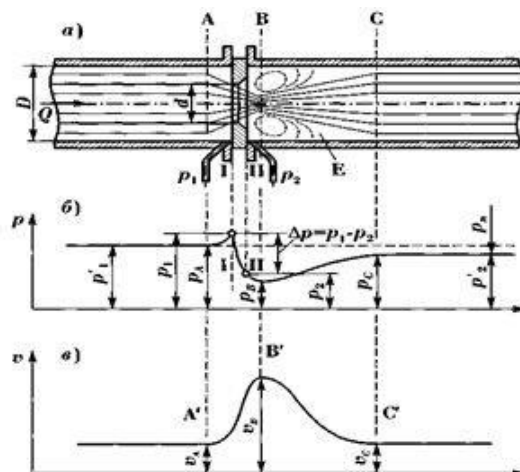


Рисунок 1.1 – Профіль руху потоку через діафрагму

В перетворювачах змінного перепаду тиску замість перерізу потоку використовують площину звужувального пристрою, тому формула об'ємної витрати приймає вид [1]:

$$Q = \alpha S_{\{>\} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)}, \quad (1.1)$$

де α – постійний коефіцієнт витрати для даної речовини, що залежить від діаметру трубопроводу, який визначає P_1 , і типу звужуючого пристрою, а також фізичних властивостей потоку (так званого числа Рейнольдса Re , яке є основною характеристикою протікання).

Витратоміри змінного перепаду тиску є найпоширенішими при вимірюванні витрати рідини, пари і газу. Типи звужуючих пристроїв, які використовуються для зменшення поперечного перерізу труби, показані на рис. 1.2. В якості звужуючих пристроїв, крім діафрагм, використовуються нормальні сопла, подовжені та короткі сопла Вентурі і нестандартні пристрої з гідравлічним опором (крани, клапани, заслінки, теплообмінники та ін.)

Комплект такого витратоміра включає в себе звужувальний пристрій, з'єднувальну (імпульсну) лінію, диференційний манометр (дифманометр) з тим або іншим передавальним перетворювачем і вторинний прилад.

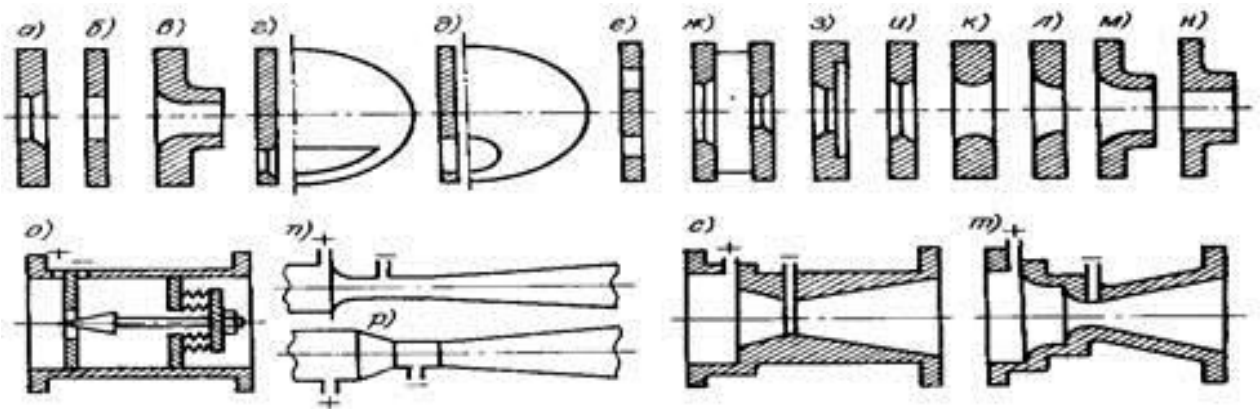


Рисунок 1.2 – Типи звужуючих пристроїв: у верхньому рядку показані типи діафрагм та нормальних сопел, а в нижньому – сопла Вентурі

1.1.2 Витратоміри постійного перепаду тиску

В ПВП постійного перепаду тиску (рис.1.3) в якості звужуючого пристрою використовується поплавков, який змінює своє положення в спеціальній конічній трубці, що забезпечує постійність різниці тисків під і над поплавком. До даної групи відносять ротаметри і поршневі витратоміри. Тут при зміні витрати середовища змінюється прохідний перетин за рахунок переміщення робочого елемента вгору – поплавка в ротаметрах або поршня в поршневих витратомірах. Переміщення робочих елементів перетворюється в електричний сигнал за допомогою трансформаторних перетворювачів. Ротаметри застосовуються для вимірювання невеликих витрат газоподібних і рідких (переважно чистих) середовищ [2].

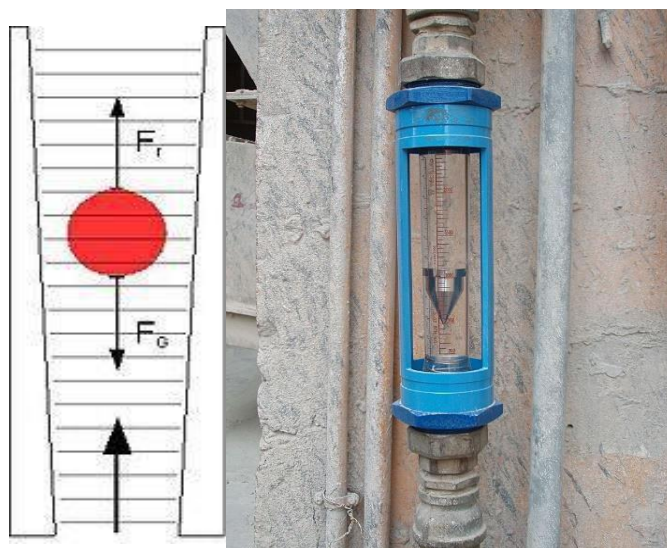


Рисунок 1.3 – Витратомір з тілом обтікання, ротаметр

1.1.3 Вихорові витратоміри

Вихоровими називають витратоміри, основані на залежності від витрати частоти коливань тиску, що виникають у потоці в процесі вихороутворення або коливання струменя.

В основі методики вимірювання лежить явище, що має назву «Вихорова доріжка Кармана» (назване на честь дослідника Теодора фон Кармана), згідно з

яким при обтіканні нерухомого твердого тіла потоком рідини за тілом утворюється вихорова доріжка, що складається з вихорів, які по чергово зриваються з протилежних боків тіла (рис.1.4) [3].

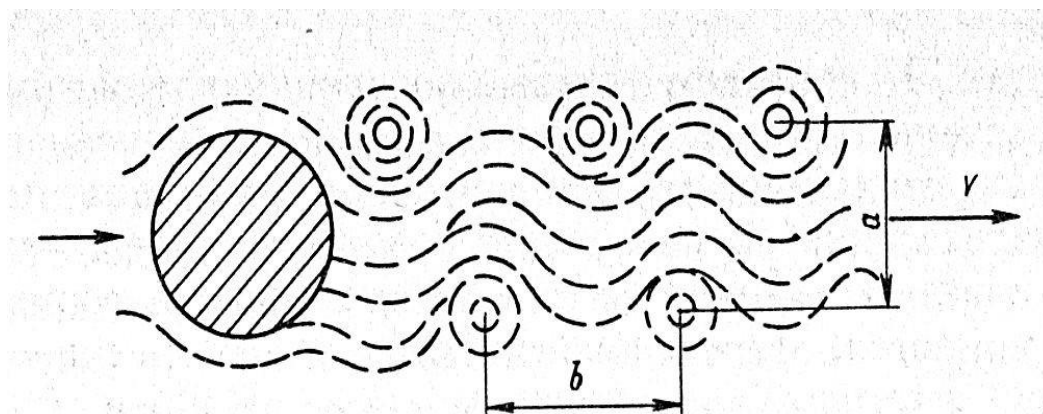


Рисунок 1.4 – Вихорова доріжка

Частота утворення вихорів f за тілом у першому наближенні є пропорційною до швидкості потоку V і залежить від безрозмірного критерія Sh (числа Струхала) і ширини тіла обтікання:

$$f = Sh \cdot \frac{v}{d}, \quad (1.2)$$

де Sh – безрозмірний коефіцієнт (число Струхала), f – частота вихорових коливань, v – швидкість потоку, d – характерний розмір тіла обтікання.

Детектування вихорів та визначення частоти їх утворення дозволяє визначити швидкість та об'ємну витрату рідини. У залежності від способу визначення частоти вихорів розрізняють вихорові витратоміри на основі п'єзодавачів та вихороакустичні витратоміри.

У вихорових витратомірах на основі п'єзоелектричних давачів для створення вихорового руху на шляху потоку рідини, газу або пари встановлюється тіло обтікання, зазвичай з трапецевидним або трикутним перетином (рис. 1.5).

Типова схема такого вихорового витратоміра включає проточну частину витратоміра, встановлену за допомогою фланців в трубопроводі, котра містить тіло обтікання, за яким попарно встановлені п'єзоелектричні давачі тиску.

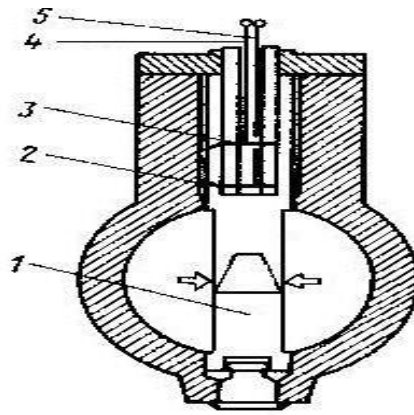


Рисунок 1.5 – Перетворювач вихорового витратоміра з п'єзоелементами, які реагують на вібрацію тіла обтікання

Пульсації тиску, що виникають у потоці в результаті утворення вихорів, реєструються давачами, а частота пульсації пропорційна швидкості потоку. Парне розміщення давачів дозволяє підсилити корисний сигнал і мінімізувати вібраційні та акустичні завади. Сигнали з п'єзоелектричних перетворювачів поступають на плату цифрової обробки, де відбувається обчислення об'ємної витрати і об'єму рідини (газу), що пройшов трубопроводом за певний період часу при заданих умовах, і у вигляді цифрового коду передаються на комп'ютер верхнього рівня вимірювальної системи чи системи керування.

Переваги вихорових ПВП:

- відсутність будь-яких рухомих деталей всередині трубопроводу;
- простота і надійність перетворювача витрати;
- незалежність показів від тиску і температури;
- великий діапазон виміру;
- досить низька нелінійність (<math><1,0\%</math>) в широкому діапазоні вимірювань (> 1:10 ... 1:40);
- точність (похибка $\pm 0,5$ — 1,5 %);
- частотний вимірювальний сигнал;
- стабільність показань;
- порівняльна нескладність вимірювальної схеми;
- можливість одержання універсального градуювання.

Недоліки вихорових ПВП:

- значна втрата тиску, що досягає 30-50 кПа;
- вони непридатні при малих швидкостях через труднощі виміру сигналу, що має малу частоту;
- виготовляються лише для труб, що мають діаметри від 25 до 150-300 мм;
- складність застосування їх для великих труб, а при дуже малих діаметрах немає стійкого вихороутворення;
- багато конструкцій вихорових витратомірів є непридатними і для виміру забруднених та агресивних речовин, що можуть порушити роботу перетворювачів вихідного сигналу.

Але на процес вихороутворення забруднення, корозія й ерозія тіла обтікання або приладу, що закручує, практично впливають дуже мало (на відміну, наприклад, від звужуючих пристроїв). Тому при виборі перетворювача вихідного сигналу (наприклад ультразвукового) вихорові витратоміри можуть служити і для виміру забруднених, агресивних і абразивних речовин.

1.2 Механічні лічильники

Механічні лічильники газу – це традиційний тип приладів, які використовують механізми для вимірювання кількості газу, що проходить через них. Ці лічильники використовуються в багатьох домогосподарствах і мають свої особливості.

Побутові лічильники газу є важливою частиною сучасної інфраструктури для обліку та контролю споживання природного газу в домогосподарствах. Існує кілька типів побутових лічильників газу, кожен з яких має свої особливості та переваги.

Переваги механічних лічильників:

- надійність: механічні лічильники відомі своєю довговічністю та

стабільністю роботи;

— ефективність: вони можуть ефективно працювати при широкому діапазоні температур та умов.

Недоліки механічних лічильників:

— точність: існує певна можливість втрат точності з часом через зношення механізмів;

— потреба у повірці: механічні лічильники потребують періодичної повірки для забезпечення точності вимірювань.

Хоча з часом з'являються нові технології, такі як електронні та смарт-лічильники, механічні лічильники газу продовжують залишатися популярними

1.2.1 Роторні лічильники

Найширше застосування з усіх камерних лічильників мають роторні. Вони мають циліндричну камеру з роторами, які обертаються при проходженні газу через лічильник. Ротори обертаються відповідно до кількості пройденого газу, і це обертання реєструється для визначення об'єму спожитого газу (рис.1.6).

Роторні лічильники призначені для вимірювання об'єму газу при витратах $0.1 - 1000 \text{ м}^3/\text{год}$.

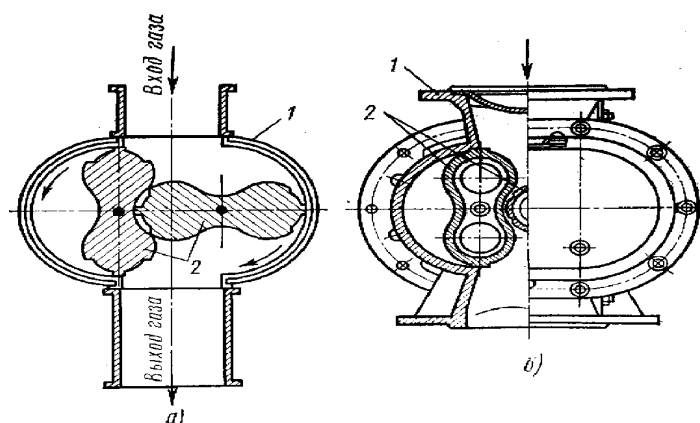


Рисунок 1.6 – Роторний витратомір

Принцип дії роторних лічильників полягає на витисненні потоку газу, який відсікається під дією роторами вісімкоподібної форми. Ротори обертаються

у взаємно протилежних напрямках (рис 1.7). Всього за один цикл вимірювання відсікається чотири вимірювальних об'єми.

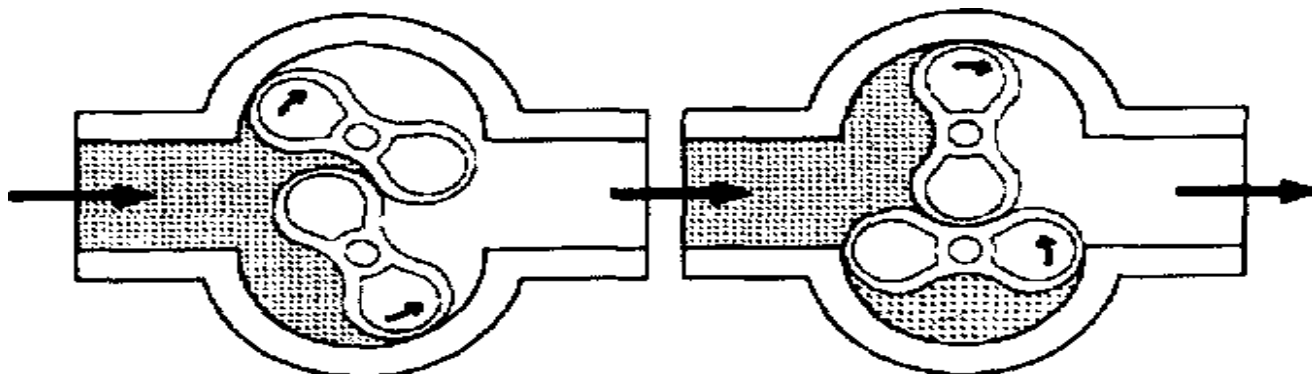


Рисунок 1.7 – Принцип дії роторних витратомірів

Переваги роторних лічильників

- висока надійність та точність вимірювання при динамічних витратах газу;
- мала інерційність механічної системи;
- широкий діапазон вимірювання;
- низька втрата тиску на лічильнику;
- незалежність вимірювальної точності від тиску газу в мережі;
- робота на горизонтальних та вертикальних ділянках газопроводу.

Недоліки роторних лічильників:

- підвищені оберти лопатних поршнів і, як наслідок, інтенсивне зношування робочих органів;
- нерівномірність переміщення газу в межах одного оберту і, як наслідок, виникнення пульсацій витрати та тиску.

1.2.2 Барабанні витратоміри

Барабанні лічильники газу застосовуються в більшості випадків тільки для лабораторних робіт, що вимагають великої точності виміру, наприклад у калориметрії, і виготовляються для номінальних витрат до 3 м³/год.

Газолічильник складається з наступних основних частин: корпуса-кожуха, барабана з вимірювальними камерами і лічильним механізмом. Принципова схема лічильника показана на рис. 1.8.

Необхідною умовою правильної дії приладу є визначене положення рівня рідини в корпусі.

До переваг можна віднести високу точність і простоту механізму.

До недоліків можна віднести малі діапазони витрат, та специфічність їх застосування.

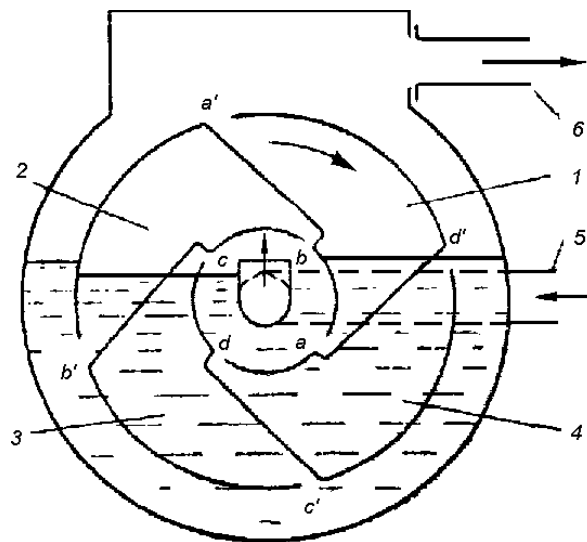


Рисунок 1.8. – Принципова схема роботи барабанного витратоміра

1.2.3 Мембранні витратоміри

Мембранні (камерні, діафрагмові) лічильники працюють на основі переміщення рухливих мембран камер при надходженні газу.

На рис.1.9 представлено будову мембранного лічильника.

Основна сфера застосування – комунальне і побутове господарство. Лічильник газу мембранний G6 призначений для вимірювання комерційного обліку газу (природний, пропан, бутан та інші інертні гази) в комунально-побутовому господарстві і під час контролю технологічних процесів.

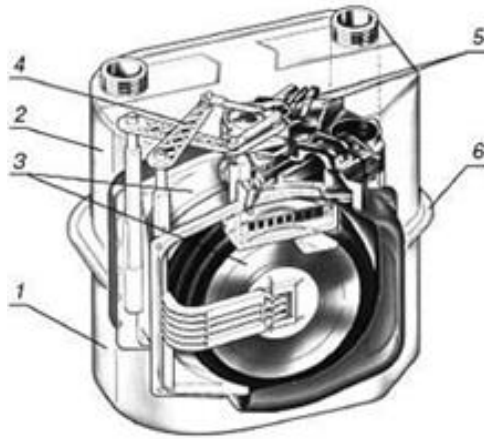


Рисунок 1.9 – Схема мембранного лічильника газу: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – обліковий механізм; 4 – кривошипно-важільний механізм; 5 – верхні клапани газорозподільчого пристрою; 6 – стяжна полоса.

Переваги мембранних лічильників:

- прості в експлуатації;
- великий діапазон вимірювання (до 1:300);
- висока точність (1,5%);
- висока чутливість.

Недоліки мембранних лічильників:

- велика кількість рухомих елементів;
- призначені для використання на газопроводах низького тиску (до 5 кПа надлишкового);
- високий рівень шуму;
- великі габарити (залежать від максимальної пропускної здатності).

1.2.4 Турбінні витратоміри

Турбінні витратоміри, що широко використовуються в технології виробництва, дають можливість надійного, неперервного і точного виміру кількості газу, що протікає в закритому трубопроводі, який знаходиться під тиском.

Турбінний витратомір (рис. 1.10) є приладом, що сприймає швидкість газу, який протікає через трубопровід. На шляху газу (який протікає через витратомір) розташовано ходове колесо (ротор), число обертів ротора пропорційне швидкості потоку. Швидкість обертання лопастей ротора сприймається індуктивним здавачем. При протіканні по обмотці електричного струму виникає електромагнітне поле, яке посилюється металевим осердям. Коли лопасті турбінного колеса пронизують електромагнітне поле індуктивного давача, електромагнітне поле посилюється, з'являється електромагнітний імпульс, який по лініях електричного зв'язку передається на вторинний прилад [4].

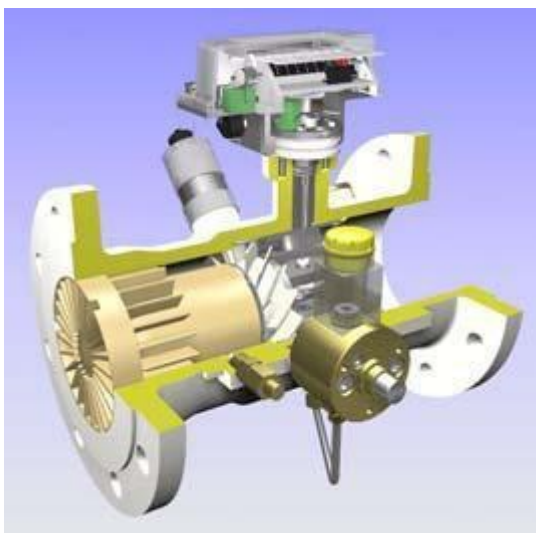


Рисунок 1.10 – Турбінний витратомір TZ/FLUXI

Тахометричні (турбінні) витратоміри відносяться до найбільш точних приладів для вимірювання витрати. Похибка цих приладів складає 0,5-1,0%.

До переваг приладів даного типу можна віднести:

- високу точність;
- малу інерційність;
- малі гідравлічні втрати вимірюваного потоку;
- простоту та технологічність конструкції;
- малі габарити та металоемність;
- можливість монтажу в різних положеннях на трубопроводі і за

різних напрямів потоку;

— можливість вимірювання витрати рідин та газів, що містять механічні домішки;

— безпосереднє отримання частотно-модульованого сигналу;

— незалежність показів від зміни електропровідності і вимірюваного середовища;

— відсутність пульсацій витрати і тиску;

— зручне поєднання із вторинною апаратурою;

— можливість досягнення більш високого класу точності за умови оптимального проєктування.

Істотними недоліками таких приладів є;

— зношування опор;

— опір потоку;

— необхідність індивідуального градуювання за допомогою градуйованих витратомірних установок;

1.3 Електронні лічильники

Електронні лічильники газу є сучасними та інноваційними приладами, які використовують електроніку для точного вимірювання та реєстрації обсягу спожитого газу [18]. Вони надають ряд переваг порівняно з традиційними механічними лічильниками:

— точність вимірювань – електронні лічильники зазвичай мають вищу точність вимірювань порівняно з механічними аналогами. Це особливо важливо для докладного обліку споживання газу.

— широкий діапазон функцій – електронні лічильники можуть включати різні додаткові функції, такі як виявлення витоків газу, віддалене відображення даних через IoT (Internet of Things), індикатори споживання, тощо;

— автоматична передача даних – Багато сучасних електронних

лічильників можуть автоматично передавати дані про споживання газу операторам з обліку послуг чи споживачам через мережу Інтернет;

— віддалене управління – деякі моделі дозволяють споживачам віддалено керувати своїми лічильниками через спеціальні мобільні додатки або веб-платформи;

— адаптивність до змін споживання – електронні лічильники можуть бути легко налаштовані для врахування змін у режимі споживання газу, що робить їх більш гнучкими для різних умов;

— менше схильні до зносу – оскільки вони не мають механічних деталей, які можуть зноситися, електронні лічильники можуть мати більш тривалий термін служби.

Єдиними недоліками електронних лічильників можуть бути їх вища вартість в порівнянні з механічними аналогами та обмежене функціонування в умовах відключення електроенергії.

1.3.1 Ультразвукові лічильники

Ультразвукові лічильники газу є сучасними та високоточними приладами, які використовують ультразвукову технологію для вимірювання обсягу протікаючого газу [19].

Принцип роботи ультразвукових лічильників полягає у використанні принципу Doppler Effect (ефект Доплера) для вимірювання швидкості газу в трубопроводі. Звукові хвилі віддзеркалюються від частинок газу, і зміна частоти цих хвиль дозволяє визначити швидкість руху газу.

Ультразвукові лічильники газу відомі своєю високою точністю вимірювань, що робить їх ефективними для точного обліку споживання газу.

Вони можуть ефективно працювати в широкому діапазоні тиску та температур, що робить їх відмінними для різноманітних умов експлуатації.

Ультразвукові лічильники не мають рухомих механічних частин, що

зменшує ризик зносу та підвищує тривалість їхньої роботи. Вони мають низькі опори для газу, що дозволяє підтримувати прийнятний тиск та забезпечує ефективну роботу в системах з низьким тиском.

Ультразвукові лічильники можуть ефективно вимірювати гази з низькою концентрацією в мішанці, що робить їх придатними для роботи з різними видами газів.

Деякі моделі ультразвукових лічильників можуть виявляти невеликі витоки газу, що дозволяє оперативно реагувати на можливі проблеми.

Ультразвукові лічильники газу використовуються в різноманітних сферах, включаючи промислові об'єкти, комерційні приміщення та побутові системи газопостачання. Їхні переваги полягають в високій точності вимірювань та здатності ефективно працювати в різних умовах.

Загалом, електронні лічильники газу представляють інноваційні рішення для точного обліку споживання газу та взаємодії з користувачами у реальному часі.

1.3.2 Смарт-лічильники газу

Смарт-лічильники газу представляють собою еволюційний крок у вимірюванні споживання газу, оскільки вони поєднують традиційні функції лічильника з сучасними технологіями для зручності та ефективності. Ось деякі ключові аспекти смарт-лічильників газу:

Зв'язаність з IoT (Internet of Things). Смарт-лічильники газу здатні підключатися до Інтернету, що дозволяє віддалено отримувати дані про споживання газу та керувати лічильником через мобільні додатки або веб-платформи.

Віддалене відображення даних. Користувачі можуть моніторити своє споживання газу в режимі реального часу через смартфони або інші пристрої, що дозволяє їм більш ефективно управляти витратами.

Виявлення витоків газу. Багато смарт-лічильників оснащені технологією виявлення витоків, яка автоматично сповіщає користувачів про будь-які незвичайні показники, що може вказувати на витік.

Гнучкість налаштувань. Користувачі можуть налаштовувати параметри лічильника з використанням мобільних додатків, наприклад, встановлювати попередження про перевищення ліміту споживання.

Автоматична передача даних. Смарт-лічильники можуть автоматично передавати дані операторам з обліку послуг, уникнувши необхідності в ручному зчитуванні та оптимізуючи процеси.

Ефективне управління ресурсами. Використання смарт-лічильників сприяє більш ефективному управлінню ресурсами, оскільки користувачі можуть отримувати інформацію про своє споживання та вживати заходи для його оптимізації.

Енергоефективність. Смарт-лічильники можуть бути розроблені з фокусом на енергоефективність, споживаючи менше електроенергії для своєї роботи порівняно з іншими типами лічильників.

Інтеграція смарт-лічильників у систему енергозабезпечення сприяє покращенню ефективності та дозволяє виробникам та споживачам активно взаємодіяти для оптимізації використання газових ресурсів.

1.3.3 Коріолісові витратоміри

Витратоміри, у яких вимірювання витрати здійснюється на основі сили Коріоліса. Свою назву цей витратомір отримав на честь Гаспара Г. Коріоліса (1792-1843), французького фізика. На рис 1.11 представлений коріолісовий витратомір [5].

Типовий вимірювач витрати складається з однієї або двох вібруючих трубок, зазвичай виготовлених з нержавіючої сталі. Для отримання точних результатів вимірювань важливо захищати трубки і місця їх кріплень від

механічного та хімічного впливу потоку рідини.



Рисунок 1.11 – Коріолісовий витратомір

Найчастіше трубки мають U-подібну форму, хоча в принципі вони можуть бути і іншої форми. Для газів застосовуються тонші трубки, ніж для рідин. Трубкам надається вібрація від зовнішнього електромеханічного пристрою збудження коливань.

При відсутності в трубці потоку її вібрації на вході і виході збігаються тобто між ними немає ніякого зсуву фаз. При появі потоку – трубка вигинається пропорційно величині масової витрати, тому між вібраціями її вхідної і вихідної гілок з'являється фазовий зсув, величина якого буде визначатися витратою потоку у трубці [20].

Переваги коріолісових витратомірів:

— незалежність вимірювання від густини, в'язкості, тиску та температури;

— висока точність;

Недоліки коріолісових витратомірів:

— основним недоліком витратомірів Коріоліса є їх порівняно висока вартість;

— не пристосовані для високих витрат.

1.3.4 Тепловий витратомір

Тепловий витратомір – витратомір, у якому для вимірювання швидкості потоку рідини або газу використовується ефект перенесення тепла від нагрітого тіла рухомим середовищем.

Термічні лічильники газу є одним з типів газових лічильників, які використовують принцип термічного вимірювання для обчислення об'єму газу, який проходить через них. Основна ідея полягає у вимірюванні теплового ефекту газу при його проходженні через лічильник.

Термічні лічильники вимірюють об'єм газу на основі зміни температури газу, коли він проходить через лічильник. Газ проходить через тепловий обмінник, де відбувається відбір тепла від газу до давача. Зміна температури спричинює зміну опору давача.

Тепловий обмін між газом і давачем визначається кількістю газу, що проходить через лічильник. Зміна температури датчика відображається як електричний сигнал, який далі конвертується у вимір об'єму газу.

Термічні лічильники можуть бути високоточними та стійкими до різних умов експлуатації. Вони, зазвичай, мають довгий термін служби, оскільки не мають рухомих механічних частин.

Даний тип лічильників часто використовуються в промислових умовах та в газопостачанні для точного вимірювання великих об'ємів газу. Їх також можна застосовувати в домашньому газопостачанні, але вони менш поширені у побутовому використанні порівняно з іншими типами лічильників, такими як ротаційні або мембранні лічильники.

Оскільки термічні лічильники не мають рухомих механічних частин, вони менше схильні до зносу та потребують менше технічного обслуговування.

Хоча термічні лічильники можуть бути менш витратними та менш складними в порівнянні з іншими технологіями, вони частіше використовуються в ситуаціях, де потрібно вимірювати великі об'єми газу та де важливо

забезпечити точність вимірювань. Розрізняють калометричні і термоанемометричні витратоміри.

Калометричні витратоміри ґрунтуються на нагріванні чи охолодженні потоку стороннім джерелом енергії, що створює в потоці різницю температур, за якою визначають витрату (рис.1.12) [6].

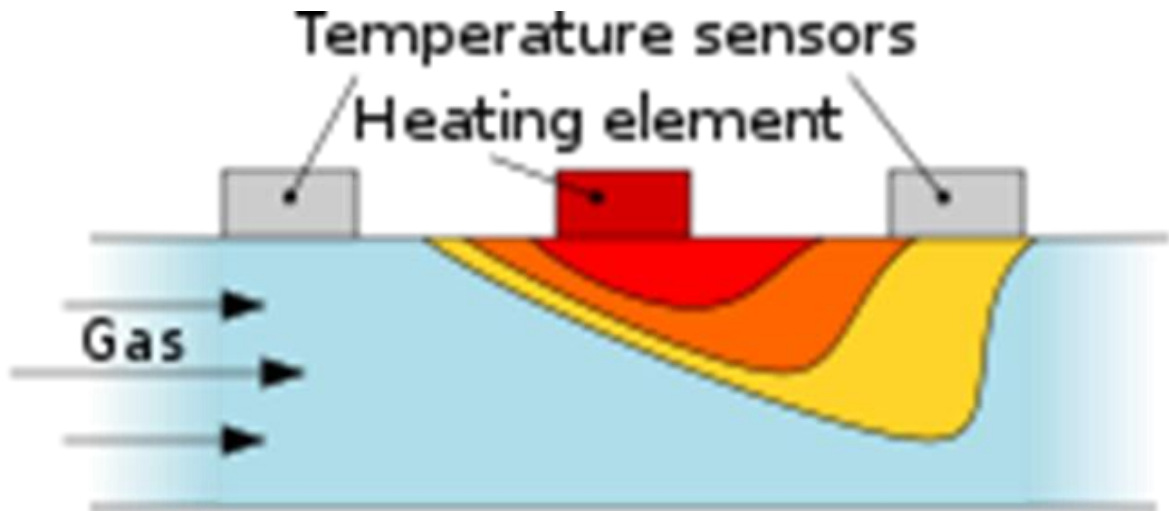


Рисунок 1.12 – Принцип роботи теплового калометричного витратоміра

Масова витрата набуде вигляду:

$$Q_M = \frac{0,25IR}{k_0 c_p \Delta T}. \quad (1.3)$$

Принцип роботи термометричного анемометра пов'язаний з використанням конвективного винесення тепла середовищем що рухається від нагрітої поверхні. Підігрів платиного, або вольфрамового елемента, зазвичай, здійснюється постійним струмом, що проходить через неї з підтриманням постійної температури елемента. Іноді можна зустріти конструкції з непрямим підігрівом вимірювального дроту.

Швидкість потоку розраховується за формулою:

$$V = \left(\left[\frac{I^2 R_c [1 + \alpha(T_1 - T_1^c)]}{A_W \Delta T} \right] / b \right)^{\frac{1}{c}}. \quad (1.4)$$

До переваг термоанемометричного методу вимірювання відносяться: висока чутливість, значна швидкодія, простота конструкції.

1.4 Обґрунтування вибору типу лічильника та постановка задач магістерської роботи

Зробивши висновки з вище викладеного, можемо проаналізувати розвиток витратометрії газу та визначити актуальні проблеми вимірювання витрати газу.

Вимірюваним середовищем є природний газ, його основні характеристики:

- реальна температура газу може варіюватися від -30 до $+50$ °С;
- надлишковий тиск газу може варіюватися від -0.001 до 1.2 Мпа для газорозподільних система, та до 10 Мпа для газотранспортних систем;
- основними фізико-хімічними показниками якості газу є: теплота згорання ($7600-13200$ ккал/м³), густина ($0.68-0.78$ кг/м³), CO₂ ($0.1-2.5\%$), N₂ ($0.1-2\%$).

Також слід відмітити те, що об'єм природного газу залежить від зміни його температури, густини та тиску, тому використовують коректори об'єму газу які приводять результати вимірювання до стандартних умов.

Аналізуючи умови вимірювання витрати газу, можна сформулювати наступні вимоги до ВПВ: вибухозахищеність, вологозахищеність, незалежності роботи елементів ВПВ у різну температуру навколишнього середовища (від -30 до $+50$ °С).

Основні вимоги до ВПВ можна описати наступним чином. Сучасний витратомір повинен мати високу точність у широкому діапазоні вимірювання витрати, точність вимірювання не повинна залежати від зміни зовнішніх умов зміни характеристик вимірювального середовища та плину часу. Також сучасний ВПВ повинен мати лінійну вихідну характеристику та високу швидкодію.

Найбільше поширення мають наступні ВПВ: роторні, турбінні, ультразвукові, мембранні, вихорові та на базі звужуючого пристрою. У кожного з цих класів є свої переваги і недоліки. Але слід виділити те, що мембранні ВПВ

є найпоширенішими побутовими лічильниками газу, за рахунок їх довговічності і стабільності роботи, не дорогої вартості, порівняно з іншими типами лічильників. Широкий діапазон витрат і висока точність при широкому діапазоні робочих температур, за рахунок термокомпенсації є перевагою мембранних лічильників.

При повірці порівнюються метрологічні характеристики лічильника (в першу чергу – похибка вимірювання) з еталоном. Також перевіряється опір проходження газу (падіння тиску), технічний стан лічильника. Рішення про непридатність до подальшої експлуатації може бути прийняте також при значному пошкодженні лакофарбового покриття корпусу лічильника, корозії корпусу.

Порівняння метрологічних характеристик з еталоном проводиться на різних режимах роботи лічильника – при мінімальній витраті газу, при витраті у 20% від максимальної, та при максимальній витраті. На всіх режимах роботи лічильника, крім мінімальної значення похибки вимірювання не повинно виходити за межі $+3\ldots-3\%$ та $+3\ldots-6\%$ для мінімальної витрати. Стосується це лічильників, які знаходяться в експлуатації, для нових лічильників на всіх режимах роботи похибка не повинна виходити за межі $+3\ldots-3\%$.

Вітчизняні виробники освоїли виробництво побутових роторних і турбінних лічильників починаючи від номінальної витрати $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$. Для задовільної чутливості цих лічильників були конструктивно забезпечені малі зазори. В результаті цього зростає вплив відкладень вуглеводневих сполук природного газу, які, осідаючи в зазорах на стінках лічильника, гальмують його роботу. І як наслідок цього – 80% перевірених побутових ротаційних лічильників не відповідають технічним умовам. Статистичні звіти ВАТ „Івано-Франківськгаз” свідчать, що 19000 лічильників роторного типу нарахують за рік на 4 мільйони газу менше, ніж така кількість лічильників мембранного типу.

Лічильники, встановлені за межами будинку не мають корекції по температурі, через що газові господарства мають значні втрати. Лічильники без

температурної корекції, при температурі 15-20°C мають похибку в межах 1%, а при температурі мінус 15°C похибка становить 10% і її ніхто не враховує.

В зв'язку з відсутністю координації робіт з підвищення точності вимірювань багато з цих робіт проводиться паралельно. Частина розробників повторює помилки, які були допущені попередниками. Окремі досягнення не стають здобутками широкого загалу. За відсутністю у розробників достовірної інформації з експлуатації засобів вимірювальної техніки багато робіт проводиться в безперспективних напрямках, в результаті цього країна несе значні втрати.

У зв'язку з тим, що питання удосконалення точності обліку газу є нагальним для газової промисловості України НАК «Нафтогаз України» прийняте рішення створити метрологічний центр, оснащений необхідним обладнанням, що відповідає вимогам сучасності.

На основі вищевказаного встановлено необхідність удосконалення методики перевірки побутових мембранних лічильників при обліку газу. Тому потрібно вирішити такі задачі.

1. Проаналізувати вплив характеристик газу та навколишнього середовища на точність вимірювання витрати та кількості газу мембранними лічильниками.

2. Проаналізувати особливості конструкції мембранних лічильників різних виробників і теоретично обґрунтувати їх вплив на точність вимірювання.

3. Проаналізувати технічні та метрологічні характеристики мембранних лічильників.

4. Розробити методику перевірки технічних та метрологічних характеристик лічильників та введення поправок на результати вимірювання.

5. Розробити удосконалене метрологічне забезпечення мембранних побутових лічильників мембранного типу.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОБ'ЄМНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ НА ОСНОВІ МЕМБРАННОГО МЕХАНІЗМУ

2.1 Аналіз впливу властивостей газу на точність вимірювання витрати мембранними лічильниками

2.1.1 Характеристика вимірюваного середовища та процесу вимірювання

В надрах Землі знаходиться природний газ, а також газ земної атмосфери. Він перебуває у частково розчиненому стані у підземних і наземних водах, сорбований вугіллям і деякими глинистими породами. Під час вулканічної діяльності разом з тектонічними щілинами з надр землі виділяється природний газ. Компонентами цієї суміші є переважно насичені вуглеводні (C_nH_{2n+2}) азот, діоксид вуглецю та сірководень.

Природний газ має вигляд газової шапки нафтогазових родовищ, або перебуває розчиненому стані в нафті або воді. При стандартних умовах перебуває в газоподібному стані.

За деяких термодинамічних умов газ може переходити в корі в твердий стан, утворюючи при цьому газогідратні поклади. Він з'єднується з пластовою водою за гідростатичного тиску (до 250 атм) і температури (до 295 К), після чого переходить в твердий стан в земній корі [7].

Більш високу концентрацію газу в одиниці об'єму пористого середовища мають газогідратні поклади. У звичайних газових родовищах вона менша, так як один об'єм води перейшовши в гідратний стан пов'язує до 220 об'ємів газу.

В дуже глибокій свердловині біля міста Новий Уренгой одержано приплив газу з глибини більше 6000 метрів. У земних надрах природний газ знаходиться у вигляді мікроскопічних пор. Тріщини слугують мікроскопічними

каналами з'єднання пор, по цих каналах газ надходить з пор з високим тиском в пори з більш низьким тиском до тих пір, поки не виявиться в свердловині. Рух газу в пласті підпорядковується певним законам. Щоб добути газ, який розташований на глибині більше 1 км потрібно пробурити глибокий та доволі вузький отвір у ґрунті, використовуючи бурові прилади, який називається свердловиною. Встановлення на ній заслінки забезпечить видобуток тільки тої кількості газу яка необхідна. Іноді свердловина може фонтанувати – це процес викидання газу з надр землі під власним тиском. Свердловини розміщують по всій території родовища. Це потрібно для того щоб пластовий тиск рівномірно впав до покладів. Так як газ перебуває під високим він виривається на поверхню з надр землі. Якщо пробуривши свердловину, її вирішують розробляти (тобто почати відбір газу назовні), то потрібно до промислу прокласти шлейф.

Метан, який є основною складовою газу, після свого відбору виривається зі свердловини під тиском 100 атмосфер, прихоплюючи на шляху велику кількість домішок. До того ж, він є вологим, внаслідок наявності води. Від усіх цих домішок та бруду речовину треба очистити. Велика кількість домішок і рідини видаляються під час процесу сепарації, після якого вони осідають на стінках приладів. За допомогою хімічного реагенту відокремлюють воду яка залишилася, після чого його осушують та повертають у процес очищення газу. Як наслідок щодня накопичується велика маса води, яку раніше просто випарювали, але зважаючи на економічну не вигідність і екологічну шкідливість цього, її мусять очистити і закачати під землю.

На цей час вся операція видобутку газу від кожної свердловини до надходження його споживачу повністю автоматична. Щоб дійти до споживача газ може подолати по магістралях тисячі кілометрів. Проте цей процес не самостійний. Газ необхідно штовхати, деколи піднімаючи тиск. Це входить в обов'язки спеціальних газотранспортних компаній, які використовують системи розгалужених трубопроводів.

По трубі рухається газ під тиском 75 атмосфер, по мірі просування цей

тиск зменшується. Отже через кожні 100-200 км стоять спеціальні газокompресорні станції, які і не дають цьому тиску зменшитись. Метан стискають у відцентрованому нагнітачеві. Авіаційні турбіни підходять йому в якості двигуна. Вони підвищують швидкість газу в трубі до 20 м/с, такою ж є швидкість вітру при силькому урагані. Коли газ доходить до своєї точки призначення, його потік необхідно зупинити у відповідній точці. Цю функцію теж виконують газорозподільні станції. Вони в декілька етапів зменшують тиск з 75 до 12, 5 та 0,005 атмосфер.

2.1.2 Вплив компонентного складу газу на покази лічильника

Основну частину природного газу складає метан — до 97.9 %. Важкі вуглеводні також присутні у складі природного газу: пропан, бутан, етан, водень, сірководень, діоксид вуглецю, азот, гелій.

Приклад компонентного складу природного газу, що постачається населенню, може бути таким: метан (95—97,3%), етан (1,21—1,85%), пропан (0,35—0,53%), ізобутан (0,02—0,0856%), н-бутан (0,043—0,092%), пентани (0,0148—0,0342%), гексани та вищі (0,001—0,0042%), азот (0,72—0,826%), діоксид вуглецю (0,052—0,0211%), кисень (0,0075—0,0087%).

У природного газу відсутні запах і колір. Щоб мати змогу визначити його по запаху, перед тим як постачати його до споживачів, до нього додають одорант. Одорант — це речовина з різким специфічним запахом. Як одорант можуть використовувати меркаптан. Запах природного газу повинен відчуватись в повітрі при вмісті не більше 1/5 від нижньої границі спалахування. Доза одоранту становить 16 г на 1000 м³ природного газу. Одорант вважається агресивною речовиною, він може спричинити корозію стінок труби газопроводів, тому по магістралях високого тиску транспортують не одоризований природний газ [9].

Основні фізичні характеристики природного газу:

— густина $\rho = 0,7$ кг/м³ сухий газоподібний;

- температура займання: $t = 650 \text{ }^\circ\text{C}$;
- теплота згоряння: $16 \text{ — } 34 \text{ МДж/м}^3$ (для газоподібного);
- октанове число при використанні у двигунах внутрішнього згоряння: $120 \text{ — } 130$.

Густина (питома маса) — відношення маси речовини (матеріалу) до її об'єму, є фізичною характеристикою будь-якої речовини, з якої складається тіло. Для випадку однорідних тіл густина визначається як відношення маси тіла m до об'єму V , який воно займає:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2.1)$$

де m – маса речовини; V – об'єм речовини.

Чим більша температура тим менша густина газу. Для так званих ідеальних газів залежність густини від температури визначається рівнянням Клапейрона:

$$\rho = \frac{p}{gRT}, \quad (2.2)$$

де p – тиск; g - прискорення сили земного тяжіння; R - газова стала (для повітря $8314,19 \text{ Дж/кмоль-град}$); T - абсолютна температура, К.

Стисливість – зміна об'єму газу при зміні його тиску. Оцінка стисливості проходить за допомогою коефіцієнта об'ємної стисливості:

$$\beta_V = - \frac{dV}{V_0} \frac{1}{dp}, \quad (2.3)$$

де dV — елементарна зміна об'єму, м^3 ; V_0 —початковий об'єм, м^3 ; dp — зміна тиску, Н/м^2 . Отже, зміна об'єму газу dV при збільшенні тиску газу на dp буде:

$$dV = - \beta_V V dp, \quad (2.4)$$

де знак мінус означає, що при збільшенні тиску зменшується об'єм (відносний приріст).

Щоб знайти функціональну залежність між цими параметрами потрібно скористатись рівнянням Менделєєва – Клапейрона, яке і визначає стан газу:

$$\frac{p}{\rho} = gRT. \quad (2.5)$$

При ізотермічному процесі, коли густина газу міняється, а температура

ні, характеристичне рівняння набуває виду:

$$\frac{p}{\rho^k} = const, \quad (2.6)$$

де k - коефіцієнт Пуассона.

Газ, для якого нехтують розмірами молекул та силами молекулярної протидії називають ідеальним. Молекули в такому газі співударяються за законом співударяння пружних куль. Якщо середня відстань між молекулами у багато разів перевищує їх розміри, тобто коли розрідження досить велике, то реальні гази ведуть себе як ідеальний. Газ може бути в різних станах, тобто деяка маса газу має об'єм V , тиск p і температуру T . Величини V , p , T , що характеризують стан газу, називаються термодинамічними параметрами. Процеси, що відбуваються при сталому значенні одного з параметрів стану (T , V або p) з певною сталою масою газу, називаються ізопроцесами.

Згідно з міждержавним ГОСТ 5542-87 «Гази горючі природні для промислового і комунально-побутового призначення. ТЕХНІЧНІ УМОВИ», за фізико-хімічними показниками природні горючі гази повинні відповідати всім необхідним вимогам і нормам [10].

Властивості природного газу відповідно до стандартних умов наведено в табл. 2.1.

На газовимірювальних станціях та пунктах вимірювання витрати газу (ГВС та ПВВГ), які будують на вході магістральних газопроводів України, визначають якісні показники природного газу, тобто відповідність його фізико-хімічним показникам (ФХП), які обумовлені контрактами.

Таблиця 2.1 – Властивості природного газу

Найменування показника	Норма
1. Найменша теплота згорання, МДж/м ³ (ккал/м ³), при 20°C 101,325 кПа,	31,8 (7600)
2. Область значень числа Воббе (найвище), МДж/м ³ (ккал/м ³)	41,2-54,5 (9850-13000)

Продовження табл.2.1.

3. Допустиме відхилення числа Воббе від номінального значення, %, не більше	5
4. Масова концентрація сірководня, г/м ³ , не більше	0,02
5. Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м ³ , не більше	0,036
6. Об'ємна доля кисню, %, не більше	1,0
7. Маса механічних домішок в 1 м ³ , г, не більше	0,001
8. Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1% в повітрі, бал	3

На газовимірювальних станціях та пунктах вимірювання витрати газу (ГВС та ПВВГ), які будують на вході магістральних газопроводів України, визначають якісні показники природного газу, тобто відповідність його фізико-хімічним показникам (ФХП), які обумовлені контрактами. ГВС та ПВВГ оснащуються новими головними і дублюючими автоматизованими комплексами обліку газу, також мають у складі архів кількості та компонентного складу газу. Щодобово в хіміко-аналітичних лабораторіях в хроматографах проводять визначення ФХП газу, який надходить на територію України.

Перевіряють якість газу, який постачається з газотранспортної системи до газорозподільної мережі один раз на тиждень. Результат перевірки та аналізу ФХП газу оформлюють у вигляді протоколу якості газу, який затверджується керівником управління ДП «Укртрансгаз», одна копія якого відсилається підприємству. Перевірка калорійності природного газу, який використовує населення може бути здійсненна чрез заяву громадян, на умовах передбачених законодавством.

Тобто, у разі виникнення сумнівів, споживач може самостійно замовити проведення додаткового аналізу ФХП газу.

Розглянемо основні відомості про об'єм та об'ємну витрату

Об'єм - це величина, що визначає кількість простору в середині замкненої поверхні, наприклад це простір, який заповнює або містить в собі речовина або фігура. Прийняті одиниці вимірювання в системі СІ – кубічний метр, кубічний сантиметр, літр.

Об'ємна витрата це – об'єм який проходить крізь заданий переріз за одиницю часу. Одиниці вимірювання в системі СІ- ($\text{м}^3/\text{с}$).

Якщо швидкість потоку v перпендикулярна до площі поперечного перерізу S , то витрата обчислюється:

$$Q = vS . \quad (2.7)$$

Якщо, швидкість потоку газу неоднорідна, через задану площу, то об'ємна витрата обчислюється інтегралом по площі:

$$Q = \iint_S u d\omega , \quad (2.8)$$

де $d\omega$ - диференціал поверхні; dS - диференціал площі.

При вимірюванні об'єму газу, що проходить крізь переріз визначають витрату об'ємну Q_V , при вимірюванні маси -масову витрату Q_M . Для усталеного потоку Q_V дорівнює добутку середній швидкості потоку на площу поперечного перерізу; Q_M - добутку густини речовини на Q_V .

Швидкість у даній точці потоку називають місцевою або локальною. Швидкість яка визначена у конкретний момент часу, називається миттєвою, а якщо з досить великої кількості вимірювань вона становить середнє значення, тоді вона має назву осереднена, або усереднена в часі.

Швидкість з якою мають проходити всі частинки газу через поперечний переріз потоку, щоб забезпечити таку саму витрату газу, як і під час реального розподіла швидкостей, називають середньою.

Середня швидкість потоку – величина умовна, вона не визначає реального розподілу швидкостей елементарних часток газу.

2.2 Аналіз сучасних методів вимірювання витрати газу

Вимірювання об'ємів газу проводиться за умов реального тиску, температури, та вологості, а потім приводиться до умов, визначених стандартом, виходячи з основного закону газового стану:

$$\frac{P_{\text{пос}} \times V_{\text{пос}}}{T_{\text{пос}}} = \frac{P_c \times V_{\text{п.пос}}}{T_c}, \quad V_{\text{п.пос}} = \frac{T_c \times P_{\text{пос}} \times V_{\text{пос}}}{P_c \times T_{\text{пос}}}, \quad (2.9)$$

$$\frac{P_{\text{сп}} \times V_{\text{сп}}}{T_{\text{сп}}} = \frac{P_c \times V_{\text{п.сп}}}{T_c}, \quad V_{\text{п.сп}} = \frac{T_c \times P_{\text{сп}} \times V_{\text{сп}}}{P_c \times T_{\text{сп}}}, \quad (2.10)$$

де $V_{\text{п.пос}}$ – об'єм газу визначений постачальником; $V_{\text{п.сп}}$ – об'єм спожитого газу визначений споживачем; $V_{\text{пос}}$ – об'єм газу за показами лічильника; $V_{\text{сп}}$ – об'єм спожитого газу за показами лічильника; $P_{\text{пос}}$ – тиск газу у постачальника; $P_{\text{сп}}$ – тиск газу у споживача; $T_{\text{пос}}$ – температура газу у постачальника; $T_{\text{сп}}$ – температура газу у споживача; P_c – тиск за стандартних умов; T_c – температура за стандартних умов.

Проте рівняння газового стану справедливе лише для ідеальних газів у вузьких діапазонах тиску та температури і в об'ємах, ізольованих від впливу зовнішнього середовища.

У реальних умовах за наявності теплових потоків відбуваються процеси, направлені на наближення значення температури газу до температури навколишнього середовища. У результаті таких перетоків енергії об'єми газу, визначені на вузлах обліку у споживачів і постачальників, розташованих в різних умовах навколишнього середовища (поза приміщенням і в приміщенні), одного і того ж газового потоку, можуть різнитись на значну величину. Причому взимку і влітку розбіжності можуть мати різний знак. Величина розбіжності може перевищувати 20%. Проте в методиках обліку природного газу умови оточуючого середовища не враховуються.

Однак, навіть, за умови відсутності перетікання теплової енергії між газом і навколишнім середовищем, кількість газу, переданого постачальником не завжди дорівнює кількості спожитого газу. При зведенні балансів цю різницю відносять до витрат на власні потреби, технологічних витрат, пов'язаних з

проведенням регламентних та аварійних робіт, і втрат газу в газорозподільних системах [22].

Необхідно зазначити, що навіть за відсутності втрат та витрат на технологічні потреби об'єми газу, надані газотранспортними організаціями, і об'єми спожитого газу визначені рівняннями (2.9), (2.10), у більшості організацій з газопостачання не збігаються.

Якщо температура в газорозподільній мережі може теоретично залишитись без змін, то тиск на виході з мережі завжди менший тиску газу на вході, адже рух газу зумовлений саме різницею тисків. У зв'язку з тим, що тиск у споживача $P_{сп}$ за умови рівності решти контрольованих параметрів завжди менший від тиску, визначеного у постачальника $P_{пос}$ об'єм спожитого газу $V_{п.сп.}$, розрахований за наведеними формулами завжди буде менший об'єму, визначеного постачальником $V_{п.пос.}$

У газотранспортній системі на подолання гідравлічного опору газопроводів великого діаметру газокомпресорні станції мають значні витрати енергії. Газорозподільні мережі включають майже 250 тис. км трубопроводів значно меншого діаметру, ніж діаметри газотранспортної мережі. Тому газорозподільна мережа має значно більший гідравлічний опір, і загальні витрати на подолання цього гідравлічного опору повинні бути більшими, ніж у теорії ідеальних газів, для забезпечення необхідної достовірності обліку об'ємів реального газу недостатньо. Відсутність достовірної інформації щодо складу газу не дозволяє точно визначити його метрологічні характеристики. Практично ми використовуємо в розрахунках лише вміст азоту, двоокису вуглецю та густину газу, в той час як, методики низки зарубіжних країн, тільки для визначення коефіцієнта стисливості використовують інформацію з 8 або 18 складових компонентів газу.

У нашому національному програмному забезпеченні допускається використання чотирьох методів визначення стисливості газу. В певних діапазонах витрат можуть застосовуватись різні методи визначення коефіцієнта

стисливості, які за однакових значень параметрів дають різні результати обчислень. Автори показали, що різниця в розрахунках об'єму газу, який пройшов через прикордонні газовимірювальні станції за рік, при використанні в розрахунках коефіцієнта стисливості визначеного за методикою і правилами, становить 27 мільйонів кубічних метрів.

Найбільш поширений метод визначення витрат газу –змінного перепаду тиску – базується на тому, що процес вимірювання має адіабатичний характер, тобто проходить без теплообміну з оточуючим середовищем, температура внаслідок розширення потоку за звужуючим пристроєм, нижча, ніж перед звужуючим пристроєм на $0,1...0,4$ °С.

Дослідження, проведені метрологічними службами ВАТ “Хмельницькгаз”, “Івано-Франківськгаз”, свідчать, що температура трубопроводу за звужуючим пристроєм за певних режимів газопостачання може відрізнятись від значення температури перед ним на $4...6$ °С.

У реальних умовах вимірювань існує взаємозалежність тиску, температури і перепаду тиску і їх залежність від зовнішніх факторів, яка не завжди визначається і не враховується. Через багатofакторний вплив на результати вимірювань нормальний закон розподілу зустрічається дуже рідко.

Наведені факти ставлять під сумнів правомірність того, що процес вимірювання має адіабатичний характер, і достовірність розрахунку витрат та значення похибки розрахунків. Невірно обраний математичний апарат визначення ймовірної похибки призводить до того, що реальна похибка обчислень суттєво різниться від розрахункової. Результати вимірювань, при встановленні дублюючих систем показали, що допустима похибка вузла обліку в межах до 5%, в реальних умовах перевищувала 20%.

Сучасні програми розрахунків не враховують також чинників впливу періоду опитування та обробки інформації. Одні й ті ж значення контрольованих параметрів, при усередненні за 2 с чи за добу, за певних режимів газоспоживання приводять до розбіжності результатів на 14 %.

Недостатньо враховується вплив вимірюваного і навколишнього середовища. Якщо виробники лічильників за кордоном по замовленню проводять визначення їх характеристик на природному газі, то вітчизняні виробники проводять всі випробування лічильників на повітрі, яке відрізняється за своїми властивостями (густиною, в'язкістю, чистотою) від властивостей природного газу. Значення додаткових похибок від впливу температури навколишнього середовища визначаються шляхом випробувань при різних значеннях в'язкості оливи, в той час як в реальних умовах зміна температури впливає не тільки на в'язкість, а на всі складові лічильників. У зв'язку з цим лічильники, які мають задовільні характеристики на повітрі при виробничих випробуваннях в реальних умовах експлуатації на природному газі дають хибні результати.

У роботі ротаційних і турбінних лічильників для забезпечення їхнього функціонування між стінкою корпуса і ротором та елементами турбінного колеса обов'язково повинні бути нещільності, крізь які відбуваються певні неконтрольовані перетоки газу. Відношення величини неконтрольованого перетоку газу до загального потоку газу у промислових лічильників мізерне, тому промислові лічильники забезпечують облік газу з похибкою в межах до одного процента. При вимірюванні малих витрат газу, які необхідно обліковувати в побуті, починаючи з 18 літрів на годину, ця величина стає більш вагомою і призводить до значних похибок в обчисленнях. В зв'язку з цим за рекомендаціями Міжнародної організації з законодавчої метрології затверджено номінали ротаційних і турбінних лічильників від 16 м³/год і вище.

2.3 Теоретичне обґрунтування процесів роботи мембранних лічильників та їх конструктивні особливості

Мембранні газові лічильники - маловитратні засоби обліку газу і застосовуються переважно для побутових цілей. Діапазон робочих витрат - не

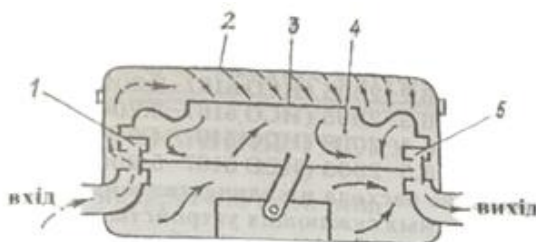
більше 10 м³/год.

Виготовляють з однією або двома діафрагмами, тобто відповідно з двома або чотирма вимірювальними камерами. Газ в камери проходить через золотники або клапани.

Принципова схема лічильника з клапанами зображена на рис.2.1. Основними частинами лічильника є корпус, газорозподільний і відліковий механізм. Корпус є герметичним штампованим з заліза циліндром, що має всередині дві газорозподільні камери, розділених рухомою мембраною. В центрі мембрани закріплений металевий диск. Внаслідок різниці тиску газу мембрана розтягується або стискається. Клапани газорозподільні, які зв'язані з мембраною, автоматично перемикаються. При цьому газ по черзі поступає то в одну, то в другу газорозподільні камери.

За один хід рухомої перетинки витісняється об'єм газу, рівний об'єму вимірювальної камери. Сумарне число ходів перетинки фіксується відліковим механізмом, який зв'язаний системою важелів з диском мембрани. Механізм лічильника розміщений в корпусі.

Для оберігання вимірювальної перетинки від викривлення і втрати еластичності мембранні газові лічильники рекомендується встановлювати в опалювальних приміщеннях. З цієї ж причини не рекомендується розміщувати їх в безпосередній близькості від газових плит і інших джерел тепла, а також в приміщеннях з високою температурою.



1, 5 – газорозподільні камери з патрубками; 2 – корпус; 3 – металевий диск; 4 – вимірювальна камера

Рисунок 2.1 – Принципова схема мембранного лічильника газу з клапанним розподілом

Лічильники призначені для роботи при надлишкових тисках газу до 50 кПа і практично не мають достатнього запасу міцності при його перевищенні, тобто за умов аварійних ситуацій систем газопостачання. Це можна вважати одним із їх головних недоліків. Водночас безперечною перевагою є великий діапазон контрольованих витрат (1:150) і більше.

На рис.2.2 зображений інший варіант мембранного лічильника, який інколи називають діафрагмовим лічильником внаслідок застосування діафрагми у конструкції ковзаючого клапана. Він має чотири камери: 1, 2, 3, 4, які можуть бути порожніми або заповненими газом. Для випадку, зображеного на рис. 2.2, порожнина 1 спорожнюється, камера 2 – заповнюється, камера 3 – порожня, порожнина 4 – тільки що заповнена. Далі слідує рух ковзаючого клапана вправо для того, щоб перекрити входи в камери 1 і 2 і відкрити входи до камер 3 і 4. Тепер порожнина 1 – порожня, 2 – повна, 3 – заповнюється, 4 – спорожнюється. Клапан продовжує рухатися вправо і відкриває камери 1 і 2, закриваючи при цьому камери 3 і 4. Тоді відповідно камери: 1 – заповнюється, 2 – спорожнюється, 3 – повна, 4 – порожня. Ковзаючий клапан починає рухатися вліво, щоб закрити камери 1 і 2 і відкрити камери 3 і 4. Тоді камери: 1 – заповнена, 2 – спорожнена, 3 – спорожнюється, 4 – заповнюється. Вказана послідовність операцій повторюється. Рахунковий механізм підраховує число ходів діафрагм (або число циклів роботи вимірювального механізму n). Цей принцип роботи також застосовується для побудови побутових лічильників газу [11].

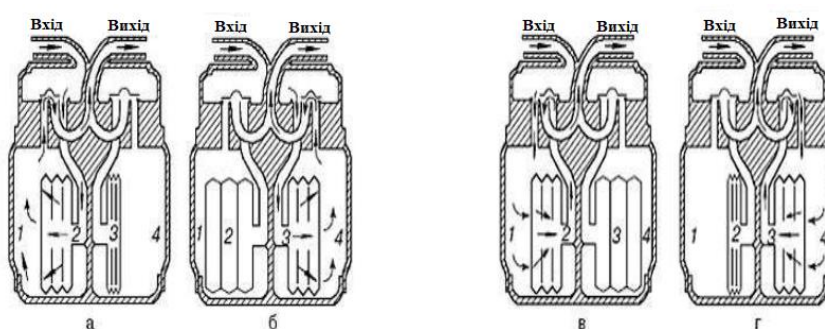


Рисунок 2.2 – Принципова схема мембранного лічильника газу з ковзаючим клапаном

Порядок роботи і стан камер мембранного лічильника газу, який зображено на рис.2.2, детально розглянуто в табл.2.2.

Таблиця 2.2 – Порядок роботи мембранного лічильника газу

Становище камер лічильника (рис. 2.2)	Камера 1	Камера 2	Камера 3	Камера 4
а	Спустошується	Наповнюється	Порожня	Наповнена
б	Порожня	Наповнена	Наповнюється	Спустошується
в	Наповнюється	Спустошується	Наповнена	Порожня
г	Наповнена	Порожня	Спустошується	Наповнюється

За кожен цикл витісняється об'єм газу V , рівний сумі об'ємів камер 1, 2, 3, 4. Один повний зворот вихідної осі вимірювального механізму відповідає 16-ти циклам.

Мембранні лічильники слід застосовувати для обліку газу низького тиску (не вище 0,05 МПа) з витратою газу не більше 160 м³/год [12].

При вимірюванні витрати газу менше 16 м³/год слід застосовувати лічильники з механічною температурною компенсацією. Якщо максимальне значення витрати газу на вузлі обліку перевищує 16 м³/год, то лічильник повинен бути забезпечений електронним коректором (обчислювачем), який повинен забезпечувати реєстрацію імпульсів, що надходять від лічильника, вимірювати температуру газу і обчислювати об'єм газу, приведений до стандартних умов. При цьому застосовують умовно-постійні значення тиску і коефіцієнта стисливості газу.

При відсутності у лічильника температурного компенсатора, приведення об'єму газу до стандартних умов виконують згідно спеціальними методиками, затвердженими в установленому порядку.

Корпус і кришка лічильника можуть бути:

— сталевими, штампованими з покриттям проти корозії і іскроутворення. З'єднання сталевого штампованого корпусу і кришки здійснюється за допомогою герметизуючого матеріалу і стяжної смуги, які забезпечують щільне прилягання двох частин одна до одної;

— алюмінієвими, литими. Корпус і кришка лічильника з алюмінієвого виконання, герметично закриваються за допомогою спеціальних прокладок і комплекту гвинтів, один з гвинтів виконаний з плomboю.

Деталі й вузли вимірювального механізму для мембранних лічильників виготовляють з пластмаси. Застосування пластмасових вимірювальних механізмів значно знижує собівартість продукції, збільшує стійкість до дії хімічних компонентів, що знаходяться в газах, значно зменшує коефіцієнт тертя в рухомих частинах лічильника.

Залежно від конструкції та обсягів вимірюваного газу вимірювальний механізм може складатися з двох або чотирьох камер.

Зовнішній вигляд мембранного лічильника газу Самгаз G2,5 RS/2001-2 подана на рис.2.3.

Лічильник може працювати з коректором, обчислювачем та системою дистанційного зняття показань (АСКОЕ) і може застосовуватися в системах контролю, регулювання та управління виробничими процесами. Робоче положення лічильника - вертикальне. Режим роботи лічильника - безперервний. Напрямок потоку газу вказано стрілкою, розташованою зверху на корпусі між вхідним і вихідним штуцерами. Лічильник є однофункціональним виробом, не вимагає обслуговування, періодично повіряється згідно з національними стандартами або нормативно-правовим актам [13].

Виробник дає гарантію на те, що лічильник САМГАЗ відповідає всім вимогам технічного регламенту ДСТУ EN 1359: 2012 при правильному дотриманні споживачем правил транспортування, зберігання монтажу та використання лічильника, які прописано в додатку до нього. Гарантійний термін

служби 8 років з дати його виготовлення. Термін зберігання не більше 2 роки з моменту його виготовлення.



Рисунок 2.3 – Мембранний лічильник газу Самгаз G2,5 RS/2001-2

Характеристики даного лічильника наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики лічильника Самгаз G2,5 RS/2001-2

Модель	RS/2001-2
Типорозмір	G 2,5
Номінальний циклічний об'єм	1,2 дм ³
Діапазон об'ємних витрат	Q _{min} 0,025; Q _{ном} 4,0; Q _{max} 6,0 м ³ /год
Втрата тиску при Q _{max} , не більше	200 Па
Максимальний робочий надлишковий тиск	50 кПа
Температура експлуатації	від - 25°C до + 55°C
Міжцентрова відстань між штуцерами	110 ±0,5 мм
Номінальний діаметр приєднання	DN32, DN25, DN20
Габаритні розміри	193 x 162 x 220 мм
Маса, не більше	1,9 кг

2.3 Конструктивні особливості відлікового пристрою мембранних лічильників

Відліковий пристрій лічильника – механічний барабанний. Показники відображаються у м³ за допомогою 5 барабанів перед комою та 3 барабанів після коми. Відліковий пристрій можна налаштовувати за допомогою регулювального коліщатка. На останньому барабані після коми закріплено постійний магніт для роботи з давачем низькочастотних імпульсів.

Конструкція відлікового пристрою має пластиковий корпус, в якому зібраний сам лічильний механізм з барабанами відображення показів (рис.2.4):

— ціла частина показів кубів газу (перед комою) – барабани із пластмаси чорного кольору з цифрами із пластмаси білого кольору, які виготовлені методом двокомпонентного литва, що забезпечує їх довговічність та чіткість відображення показів у важких умовах експлуатації та спробах несанкціонованого механічного знищення показів лічильника;

— десятина частина показів кубів газу (після коми) – барабани із пластмаси червоного кольору з цифрами із пластмаси білого кольору, які виготовлені методом двокомпонентного литва, що забезпечує їх довговічність та чіткість відображення показів у важких умовах експлуатації та спробах несанкціонованого механічного знищення показів лічильника.

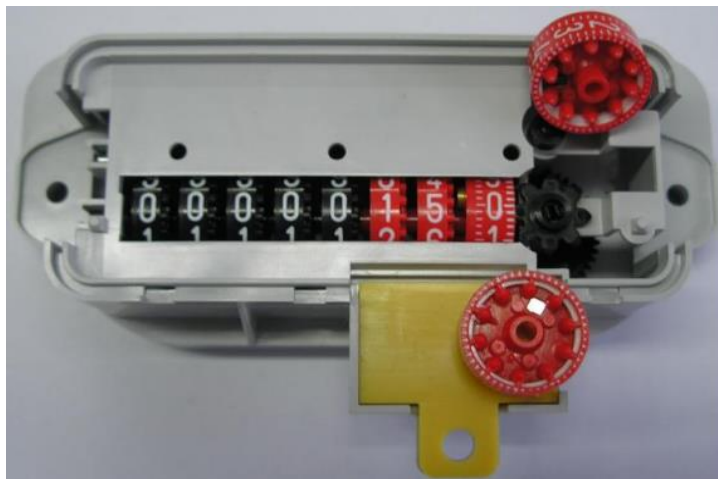


Рисунок 2.4 - Конструкція лічильного механізму та барабанів відображення показів

Лічильний механізм закривається прозорою, сферичною, протиударною кришкою та кріпиться до корпусу за допомогою двох гвинтів або гвинтів, які не викручуються (виконання лічильника з нерозбірним лічильним пристроєм).

2.4 Особливості маркування мембранних лічильників газу та їх ідентифікація

Лічильник можна ідентифікувати по маркувальній табличці (шильдiku) рис.2.5, яка розташована спереду лічильника під прозорою кришкою відлікового механізму

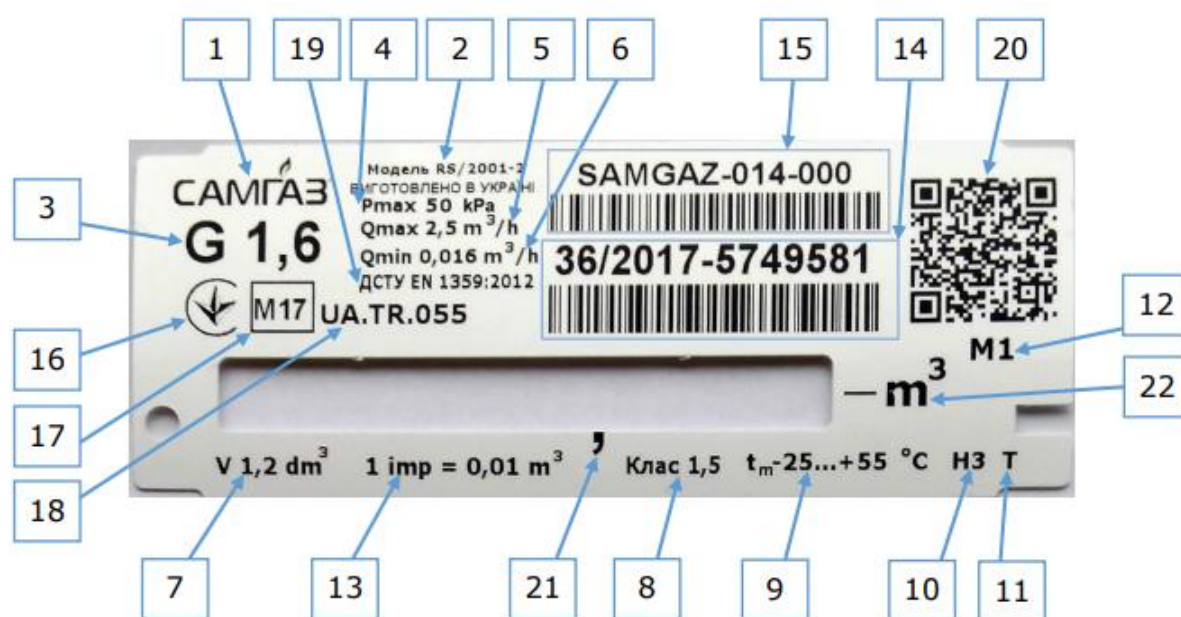


Рисунок 2.5 - Загальний вигляд маркувальної таблички (шильдика) лічильника газу типорозміру G1,6

На маркувальну табличку (шильдик) лічильника (рис.2.5) нанесено наступну інформацію: 1 - ідентифікаційну позначку підприємства-виробника: товарний знак; 2 - позначення моделі лічильника; 3 - позначення типорозміру лічильника; 4 - максимальний робочий тиск, Pmax ; 5 - максимальна витрата, Qmax ; 6 - мінімальна витрата, Qmin ; 7 - циклічний об'єм, V; 8 - клас точності; 9 - діапазон робочих температур; 10 - кліматичні умови експлуатації; 11 – стійкість

до температури довкілля 650°C (якщо лічильник стійкий); 12 - зовнішні механічні умови експлуатації; 13 - ціна імпульсного виходу; 14 - тиждень та рік виготовлення і серійний номер лічильника; 15 - позначення виконання лічильника; 16 - знак відповідності виробу Технічному регламенту ЗВТ; 17 - додаткове метрологічне маркування згідно Технічного регламенту ЗВТ; 18 - позначка і номер затвердження типу та ідентифікаційний номер органу з оцінки відповідності; 19 - позначка стандарту «ДСТУ EN 1359:2012»; 20 - QR-код; 21 - позначка роздільного знаку суматора; 22 - позначка одиниць виміру суматора.

На маркувальну табличку (шильдик) лічильника, для автоматизації зчитування маркування лічильника, додатково нанесено: двомірний штрихкод.

QR-код (поз.20 на рис.2.5) з наступними відомостями:

- модель лічильника;
- типорозмір лічильника;
- діаметр нарізу (різьби) приєднувальних патрубків;
- напрям потоку газу (зліва направо: L, справа наліво: R);
- тиждень, рік виготовлення та серійний № лічильника;
- адреса вебсайту виробника.

Висновки до розділу

Проаналізовано вплив компонентного складу газу, параметрів навколишнього середовища на точність обліку газу мембранними лічильниками.

Проведено математичне моделювання процесу роботи мембранних лічильників, визначено їх недоліки та переваги

Проаналізовано конструктивні особливості лічильників різних заводів – виробників та вплив конструктивних характеристик на точність вимірювання витрати.

Визначено шляхи підвищення точності вимірювання витрати мембранними лічильниками.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕМБРАННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

3.1 Класифікація похибок вимірювання

Як засоби, так і результати вимірювань характеризуються їх похибками. У загальному похибка вимірювання визначається відхиленням результату вимірювання від істинного значення вимірюваної величини. Характер прояву і причини виникнення похибок засобів вимірювань є різноманітні, то на практиці встановлені різновидності похибок, які мають певні назви: інструментальна, методична, основна і додаткова, статична і динамічна, систематична, випадкова, абсолютна, відносна, приведена.

Інструментальні похибки засобів вимірювань – це такі, які характеризують конкретний засіб вимірювань і визначаються при його випробуваннях і бути занесеними в паспорт на цей засіб вимірювань.

Похибки, які пов'язані з методикою проведення вимірювань називаються методичними. Дуже часто причиною виникнення методичної похибки є те, що, організовуючи вимірювання, часто вимірюють або вимушені вимірювати не ту величину, яка в принципі повинна бути виміряна, а деяку іншу, близьку, але не рівну першій величині. Така заміна того, що дійсно підлягає вимірюванню, тим, що дещо відрізняється від необхідного, але простіше реалізується, дуже широко використовується і при розробці засобів, і в практиці організації вимірювань. Це дозволяє створити найбільш прості, надійні і універсальні прилади і методи вимірювання. Методичні похибки можуть бути визначені лише на основі створеної математичної моделі або імітаційним моделюванням досліджуваного об'єкта

Основна похибка - це похибка засобів вимірювання в умовах, які встановлені як нормальні для даних засобів вимірювання. Вона зумовлена

факторами інструментальних похибок, що є наслідком недосконалості конструкції або принципу дії засобу вимірювання.

При відхиленні умов експлуатації від нормальних умов, виникають додаткові похибки. Причини виникнення додаткових похибок можна класифікувати таким чином:

- встановлення - тобто відхилення положення аналогового засобу від передбаченого горизонтального або відхилення від їхніх нормальних значень величин, які впливають на результат вимірювання, наприклад, температура, вологість, тиск тощо);

- методу, тобто недосконалість теорії методу вимірювань, використання наближених формул тощо;

- суб'єктивні, які зумовлені психофізіологічними характеристиками суб'єкта, який проводить вимірювання, тобто втома, гострота зору, тощо.

Похибка засобу вимірювання в реальних умовах його експлуатації називається експлуатаційною і складається із його основної похибки і всіх додаткових похибок і може бути значно більшою від його основної похибки.

В залежності від швидкості зміни вимірюваної величини в часі розрізняють статичні (не залежать від вказаної швидкості) і динамічні похибки (збільшуються при збільшенні швидкості зміни вимірюваної величини),

Систематичними називаються похибки, які змінюються з часом і є певними функціями визначених параметрів. Значна частина систематичних похибок може бути передбаченою і майже повністю виключеною шляхом введення поправок. Однак, не всі постійні систематичні похибки можна виявити, тому завжди є невиключені їх залишки .

Випадкові похибки не є передбаченими ні за знаком, ні за розміром. Вони легко виявляються при повторних вимірюваннях, коли є деякий розкид отриманих результатів. Опис цих похибок здійснюється на основі теорії ймовірностей і математичної статистики.

Абсолютна похибка Δx - це різниця між вимірюваною величиною $x_{ном}$

(показом засобу x_n) і дійсним значенням x вимірюваної величини, тобто для результату вимірювання $\Delta x = x_{ном} - x$, а для засобу $\Delta x = x_n - x$. Виражається в одиницях вимірюваної величини.

Для характеристики точності результатів вимірювання використовується відносна похибка $\gamma = \frac{\Delta x}{x} \approx \frac{\Delta y}{y}$, яка виражається у відносних одиницях або у відсотках (x і y текучі значення вхідної і вихідної величини засобу вимірювань).

Для нормування похибки засобу вимірювань використовується або вказана відносна похибка, або приведена похибка $\gamma_{пр}$, яка визначається як відношення абсолютної похибки, вираженої в одиницях вхідної Δx чи вихідної Δy величин, до діапазону зміни відповідної вхідної x_k чи вихідної y_k величин засобу вимірювань і виражається у відносних одиницях або у відсотках, тобто $\gamma_{пр} = \frac{\Delta x}{x_k} = \frac{\Delta y}{y_k}$. Приведена похибка зручна тим, що для багатодіапазонних засобів вимірювань вона має одне і те ж значення як для всіх точок кожного піддіапазону, так і для всіх його піддіапазонів, тобто є досить зручною для нормування засобів вимірювань.

3.2 Визначення метрологічних та технічних характеристик лічильників

3.2.1 Визначення відносної похибки лічильників

Визначення відносної похибки лічильників проводять на повірочних установках. Перед визначенням похибки лічильники необхідно витримати певний час, що вказаний в експлуатаційній документації (ЕД), та пропустити через них об'єм повітря з об'ємною витратою від $Q_{ном}$ до Q_{max} , який для мембранних лічильників повинен становити не менше 50 циклічних об'ємів, а для інших лічильників складає не менше 0,1 м³. Значення цього об'єму повинно бути наведено в ЕД [14].

Визначення відносної похибки лічильників проводять із застосуванням одного із двох методів: «старт з ходу» або «фіксованого старту». Реалізація методу «старт з ходу» можлива за наявності в повірочній установці засобів перетворень об'єму газу, що пройшов через зразковий засіб вимірювальної техніки та через лічильники, в кількість електричних сигналів (імпульсів).

Відносну похибку лічильників визначають шляхом пропускання через них об'єму повітря за витрат, номінальне значення яких повинно становити Q_{min} ; $0,2 Q_{max}$; Q_{max} .

Відхилення об'ємної витрати від заданого значення у відносному вираженні не повинно перевищувати:

- мінус 5% для значення об'ємної витрати Q_{max} ;
- плюс 5% для значень об'ємної витрати Q_{min} ;
- плюс-мінус 5% для витрати $0,2 Q_{max}$;

Мінімальні значення об'єму повітря, що пропускається через лічильники, визначаються схемами контролю і повинні бути наведені в ЕД.

Визначення відносних похибок лічильників необхідно проводити в такій послідовності: Q_{max} , $0,2 Q_{max}$ та Q_{min} . На кожній об'ємній витраті проводять одне вимірювання.

У процесі визначення відносної похибки лічильників проводять вимірювання втрат тиску та зміни температури в лічильниках внаслідок протікання повітря по тракту.

Якщо лічильники під'єднані до зразкового засобу вимірювальної техніки послідовно, то нумерація їхніх позицій ведеться від лічильника, на вхід якого подається повітря з найбільшим абсолютним тиском.

Вимірювання температури та тиску рекомендується проводити залежно від конструкції повірочної установки в місцях - перед першим або на вході першого лічильника та на вході зразкового засобу вимірювальної техніки, також після останнього лічильника.

Відносна похибка i -го лічильника з урахуванням втрат тиску та різниці температур на вході лічильника і на вході зразкового засобу вимірювальної техніки обчислюється за формулами:

$$\delta_i = \left[\frac{V_i}{V_0} \times \frac{P_i}{P_0} \times \frac{T_0}{T_i} - 1 \right] \times 100\%, \quad (3.1)$$

або

$$\delta_i = \delta_V + K_p + K_t. \quad (3.2)$$

Об'єми, виміряні лічильником та зразковим засобом вимірювальної техніки, обчислюються за формулами:

$$V_i = V_{ki} - V_{pi}, \quad (3.3)$$

та

$$V_0 = V_{п0} - V_{к0}. \quad (3.4)$$

Відносна похибка лічильника за результатами виміряних ними значень об'єму обчислюється за формулою:

$$\delta_V = \frac{V_i - V_0}{V_0} \times 100\%. \quad (3.5)$$

3.2.2. Методика введення поправок до відносної похибки лічильника

Поправка до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею значень тиску між входом i -го лічильника та входом зразкового засобу вимірювальної техніки, обчислюється за формулою:

$$k_p = \frac{P_i - P_0}{P_0} \times 100 = \frac{\Delta P}{P_0} \times 100\%. \quad (3.6)$$

Поправка до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею температур на вході зразкового засобу вимірювальної техніки та на вході лічильника, обчислюється за формулою:

$$k_t = \frac{T_0 - T_i}{T_i} \times 100\% = \frac{\Delta T}{T_i} \times 100\%. \quad (3.7)$$

Дозволяється з достатньою точністю вищенаведені коефіцієнти обчислювати за формулами:

$$k_p \cong 0,001\Delta P, \quad (3.8)$$

та

$$k_t \cong 0,001\Delta T. \quad (3.9)$$

Якщо в процесі повірки однотипних лічильників, під'єднаних до зразкового засобу вимірювальної техніки послідовно, вимірювання тиску та температури в повірочних установках ведеться на вході першого лічильника та на виході останнього лічильника, то вважається, що втрати тиску та зміна температури по тракту вимірювання розподіляється рівномірно.

Якщо лічильники і зразкові засоби вимірювальної техніки обладнані перетворювачами об'єму повітря, що протікає через них (відтворюються ними), та мають вихідні імпульсні електричні сигнали, то об'єми V_i , та V_0 обчислюються за формулами:

$$V_i = N_i \times S_i, \quad (3.10)$$

$$V_0 = N_0 \times S_0. \quad (3.11)$$

Відносна похибка лічильників, обчислена за кількістю імпульсів із перетворювачів, обчислюється за формулою, у відсотках:

$$\delta_N = \frac{N_i S_i - N_0 S_0}{V_0} \times 100\%. \quad (3.12)$$

Якщо різниця температур повітря у зразковому засобі вимірювальної техніки та на вході лічильників протягом одного вимірювання не перевищує $0,5^\circ\text{C}$, то поправкою до відносної похибки, спричиненою різницею температур k_t , можна знехтувати.

Якщо різниця тиску на вході лічильників та на вході зразкового засобу вимірювальної техніки не перевищує 100 Па, то поправкою до відносної похибки, спричиненою втратами тиску K можна знехтувати.

Результати вимірювань заносять у протокол повірки.

Результати повірки вважають позитивними, якщо відносні похибки лічильників не перевищують границь допустимих значень, наведених у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Границі допустимих значень відносної похибки лічильників при первинній та періодичній повірках

Значення об'ємної витрати	Границі допустимих значень відносної похибки, %, при			
	Первинній повірці за $K_{зт}=1$	Первинній повірці за $K_{зт}=0,9$	Первинній повірці за $K_{зт}=0,8$	Періодичній повірці
Q_{\max}	$\pm 1,5 (\pm 2)$	$\pm 1,35 (\pm 1,8)$	$\pm 1,2 (\pm 1,6)$	± 3
$0,2 Q_{\max}$	$\pm 1,5 (\pm 2)$	$\pm 1,35 (\pm 1,8)$	$\pm 1,2 (\pm 1,6)$	± 3
Q_{\min}	$\pm 3 (\pm 3)$	$\pm 2,7 (\pm 2,7)$	$\pm 2,4 (\pm 2,4)$	+3 – мінус 6
<p>$K_{зт}$ – коефіцієнт запасу точності.</p> <p>Примітка. Значення границь відносних похибок, що вказані в дужках, наведені для лічильників, нормування похибок яких ведеться в діапазоні витрат $Q_{\min} \leq Q < 2 Q_{\min} \pm 3\%$ та $2 Q_{\min} \leq Q < Q_{\max} - \pm 2\%$.</p>				

3.2.3 Методика визначення втрат тиску на лічильниках

Визначення втрат тиску на лічильниках за Q_{\max} проводять шляхом вимірювання різниці значень тиску на них за допомогою мікроманометрів, які під'єднані до входів та виходів лічильників. Втрати тиску обчислюють як середнє арифметичне значення найбільшого та найменшого значень перепадів тиску на лічильниках при незмінній об'ємній витраті в процесі одного вимірювання при протіканні через них певного, наведеного в ЕД, об'єму. Для мембранних лічильників цей об'єм повинен бути не менший одного циклічного об'єму лічильника. Визначення втрат тиску на лічильниках дозволяється проводити одночасно з контролем відносної похибки лічильників.

Результати повірки вважають позитивними, якщо втрата тиску за максимальної об'ємної витрати не перевищує 200 Па — для мембранних лічильників типорозмірів G1.6 - G6, для мембранних лічильників типорозміру G10 та для інших типів лічильників не більше 300 Па.

Визначення втрати тиску за витрати Q_{\min} проводять при повірці мембранних лічильників. Втрати тиску вимірюють за допомогою мікроманометрів, які під'єднані до входів та виходів лічильників.

Максимальні втрати тиску за витрати Q_{\min} визначають як найбільше значення перепаду тиску на лічильнику при протіканні через нього повітря об'ємом, рівним одному циклічному об'єму.

Визначення втрати тиску на лічильниках за витрати Q_{\min} дозволяється проводити одночасно з контролем відносної похибки лічильників.

Результати повірки вважають позитивними, якщо втрата тиску не перевищує 60 Па.

3.2.4. Методика визначення порогу чутливості лічильників

Визначення порогу чутливості лічильників слід проводити шляхом пропускання через лічильники повітря з об'ємною витратою, величина якої повинна бути не більша нормованого значення порогу чутливості лічильників.

Перед визначенням порогу чутливості через лічильники пропускається повітря з витратою від $Q_{\text{ном}}$ до $Q_{\text{мак}}$ протягом не менше трьох хвилин, а потім витримуються лічильники без протікання повітря протягом п'яти хвилин.

При визначенні порогу чутливості пропускають через лічильник об'єм повітря, величина якого повинна бути наведена в ЕД. Для мембранних лічильників ця величина повинна бути не менша одного циклічного об'єму.

Під час пропускання повітря слідкують за роботою відлікового пристрою або вихідними сигналами перетворювачів імпульсів.

Результати повірки вважають позитивними, якщо відлікові пристрої лічильників працюють або перетворювачі імпульсів формують вихідні електричні сигнали під дією витрати, значення якої менше або рівне порогу чутливості, але не більше $1/3 Q_{\min}$.

3.2.5 Методика перевірки лічильників на запобігання зворотному ходу відлікових пристроїв

Перевірку лічильників на пристроїв, що запобігають зворотному ходу відлікових пристроїв лічильників при протіканні газу в напрямі, протилежному до зазначеного, проводять шляхом подачі у вихідні патрубки лічильників та пропускання через них повітря за об'ємної витрати Q_{\max} . Для цього лічильник встановлюють на установку в робочому положенні, виставляють витрату Q_{\max} , переставляють лічильник так, щоб повітря подавалось у вихідний патрубок і пропускають через нього необхідний об'єм повітря. Цей об'єм повинен бути для мембранних лічильників не менший одного циклічного об'єму, а для інших типів лічильників не менше об'єму, що дорівнює повному оберту ролика відлікового пристрою з найбільшою швидкістю обертання, або ємності останнього розряду відлікового пристрою.

Результати повірки вважають позитивними, якщо при пропусканні повітря у вихідні патрубки лічильників покази відлікових пристроїв не зменшуються на величину більшу, ніж на величину одного циклічного об'єму для мембранних лічильників, та величину, що дорівнює повному оберту ролика з найбільшою швидкістю обертання або ємності останнього розряду відлікового пристрою для інших типів лічильників.

3.2.6 Методика перевірки передавального відношення або коефіцієнта перетворення

Перевірку передавального відношення між вимірювальним механізмом та відліковим пристроєм (для електронних лічильників коефіцієнта перетворення) проводять на одній із об'ємних витрат лічильників шляхом звіряння приросту об'єму за показами лічильників з розрахунковим значенням об'єму, яке обчислене за кількістю імпульсів з перетворювачів імпульсів.

Для цього необхідно через лічильник пропустити такий об'єм газу, щоб задовольнялась така вимога:

$$V \geq \frac{c}{0,2\delta} \times 100. \quad (3.13)$$

Через лічильники за витрати, наведеної в ЕД на лічильники, пропускають певний об'єм повітря і з лічильників знімають початкові та кінцеві покази відлікових пристроїв та кількість імпульсів з перетворювачів імпульсів.

Якщо повірочна установка працює методом «фіксованого старту», то цю перевірку дозволяється проводити при будь-якому значенні витрати в діапазоні роботи лічильників.

Якщо повірочна установка працює методом «старт з ходу», то цю перевірку рекомендується проводити за мінімального значення витрати.

Обчислюють за формулами, наведеними вище, відносні похибки лічильників за показами відлікових пристроїв, по кількості імпульсів і різницю цих похибок:

$$\Delta\delta = \delta_V - \delta_N. \quad (3.14)$$

Додають цю різницю похибок до попередньо визначених значень похибок (по кількості імпульсів з перетворювачів) на інших витратах:

$$\delta_{i \min} = \delta_{N \min} + \Delta\delta, \quad (3.15)$$

$$\delta_{i 0,2} = \delta_{N 0,2} + \Delta\delta, \quad (3.16)$$

$$\delta_{i \max} = \delta_{N \max} + \Delta\delta. \quad (3.17)$$

Результати повірки вважають позитивними, якщо відносні похибки лічильників за показами відлікових пристроїв, по кількості імпульсів, а також похибки, обчислені за формулами (3.15) - (3.17), не перевищують границь допустимих значень, наведених у таблиці 3.1.

3.3 Метрологічне забезпечення мембранних лічильників

Повірка лічильників проводиться на установках з різними конструктивними особливостями.

3.3.1 Опис конструкції повірочної установки Inotech

Повірна установка [15] складається з одного або двох повірочних стендів. Кожен з них може складатися з одної або кількох повірочних станцій(рис.3.1). Кожну з них оснащено повірочним модулем з дисплеєм (1) та робочим столом (10).



Рисунок 3.1 – Повірочна станція

Умовні позначення на рис. 3.1: 1 – повірочний модуль / дисплей MUT; 2 – регулювання обмеження ходу; 3 – роз'єм для підключення смарт-лічильників, інтерфейс RS-232 для випробувальних зразків з оптичною зчитувальною

головкою, 16-контактний; 4 – чотирьохконтактний роз'єм для підключення фотоелемента; 5 – кнопка Auf Spannen (Затиск); 6 – кнопка Ab Spannen (Ослаблення затиску); 7 – кріплення для адаптера випробувального зразка; 8 – Адаптер випробувального зразка; 9 – шарнірний важіль з фотоелементом і затискним важелем; 10 – робочий стіл; 11 – ведучі пальці для робочого столу; 12 – стопорний гвинт для кріплення; 13 – штрих-код повірочної станції; 14 – кнопка Freigabe (Розблокування); 15 – кнопка аварійної зупинки.

Керування повірочними станціями здійснюється двома руками, для того щоб уникнути травм.

На рис. 3.2 наведені комбінації кнопок, за допомогою яких фіксується і опускається лічильник.

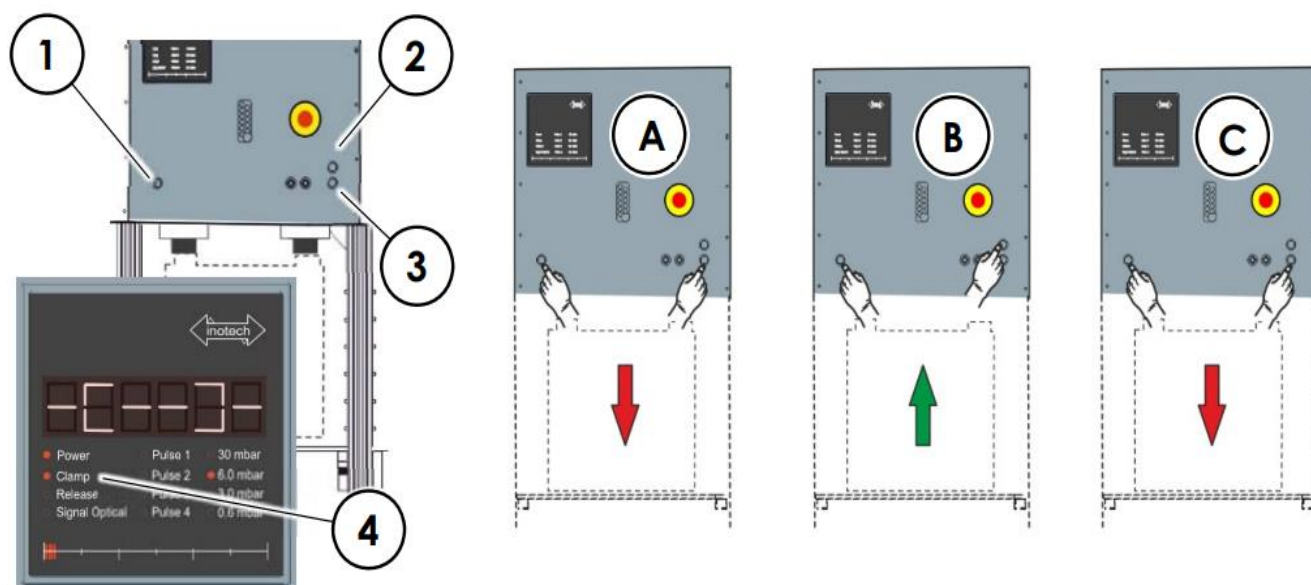


Рисунок 3.2 – Комбінації кнопок

Розшифрування комбінацій кнопок на рисунку 3.2: А – лічильник опускається; В – лічильник фіксується; С – лічильник опускається.

В табл. 3.2 детально розглянуто, які функції виконує повірочна станція при певних комбінаціях кнопок.

Таблиця 3.2 – Опис комбінацій кнопок, зображених на рис. 3.2.

Кнопки	Функція	Опис
(1) + (3) А	Робочий стіл переміщується вниз	Робочий стіл переміщується вниз до клацання. Якщо відпустити кнопку, подача стисненого повітря на пневматичний циліндр припиниться.
(1) + (2) + (3) В	Робочий стіл переміщується вгору	Робочий стіл переміщується вгору до клацання. Якщо відпустити кнопку, подача стисненого повітря на пневматичний циліндр припиниться. Робочий стіл можна знову перемістити вниз.
(1) + (3) С	Робочий стіл переміщується вниз та зупиняється там	Робочий стіл переміщується вниз до клацання. На дисплеї повірочного модуля поруч зі словом Clamp (Затиск) (4) світиться світлодіодний індикатор. Подача стисненого повітря залишається активною, поки не буде натиснуто комбінацію кнопок «В» (1) + (2) + (3).

На нижній передній панелі (рис. 3.3) встановлені диференціальне реле тиску, манометр і пневматичні блоки (регулятор тиску).

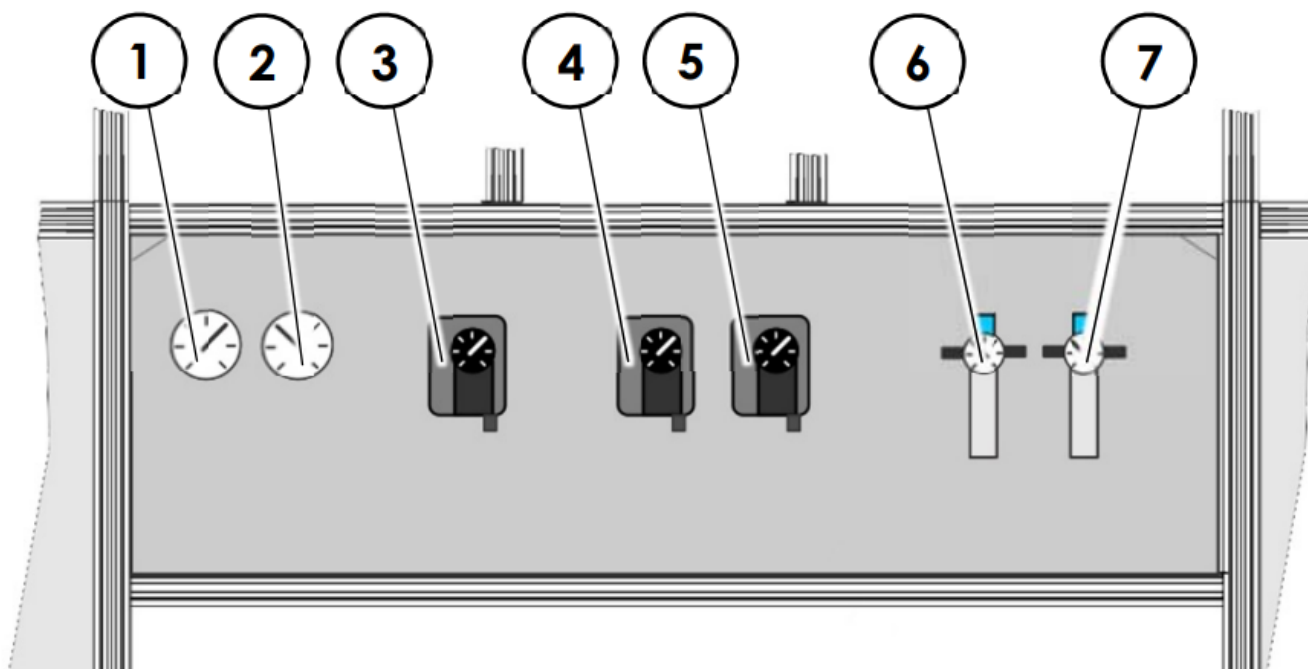


Рисунок 3.3 – Нижня передня панель повірочної установки Inotech

Умовні позначення на рис. 3.3: 1 – манометр BLOCK & BLEED (перекривна та спускна арматура) – манометр використовується для візуального відображення тиску в перекиривній та спускній арматурі (у звичайному режимі без відхилення); 2 – манометр UNTERDRUCK VAKUUMPUMPE (протитиск у вакуумній pompі) PRESSURE VACUUM PUMP – на манометрі відображається протитиск між виходом з блоків сопел і вакуумною pompою; 3 – диференціальне реле тиску ZÄHLER BLOCKIERT (Лічильник заблоковано) METER BLOCKED – це диференціальне реле тиску контролює діапазон тиску в передній частині блоків сопел. Якщо випробувальний зразок заблоковано, перед соплами утворюється високий протитиск. У разі створення протитиску датчик виводить на ПК повідомлення про несправність: контролер закриває всі сопла та вимикає вакуумну pompу. Таким чином вимірювальний перетворювач захищено від високого протитиску; 4 – диференціальне реле тиску LECK-KONTROLLE (контроль витоків) стенду 1 LEAKAGE CONTROL Bank 1. Якщо налаштованого випробувального тиску не досягнуто на манометрі після повірного стенда

(наприклад, через блокування лічильника), це призводить до аварійної зупинки, оскільки диференціальне реле тиску на вході перевіряє, чи під час заповнення повірочної установки тиск не перевищує максимально допустимий; 5 – диференціальне реле тиску LECK-KONTROLLE (контроль витоків) стенду 2 LEAKAGE CONTROL Bank 2. Якщо налаштованого випробувального тиску не досягнуто на манометрі після повірочного стенда (наприклад, через блокування лічильника), це призводить до аварійної зупинки, оскільки диференціальне реле тиску на вході перевіряє, чи під час заповнення повірочної установки тиск не перевищує максимально допустимий.

Пневматичний блок з манометром SYSTEMDRUCK (тиск у системі). Робоче повітря можна налаштувати та відрегулювати за допомогою регулятора тиску. На манометрі відображається відповідне фактичне значення.

Пневматичний блок з манометром CLAMPDRUCK (Тиск затиску). Тиск робочого повітря для затиску випробувальних зразків (лічильник) можна налаштувати за допомогою регулятора тиску. На манометрі відображається фактичне значення.

Кожну повірочну станцію оснащено повірочним модулем (рис. 3.4) з дисплеєм. Дисплей знаходиться спереду. Повірочний модуль зчитує вимірні значення випробувального зразка та передає їх до контролера.

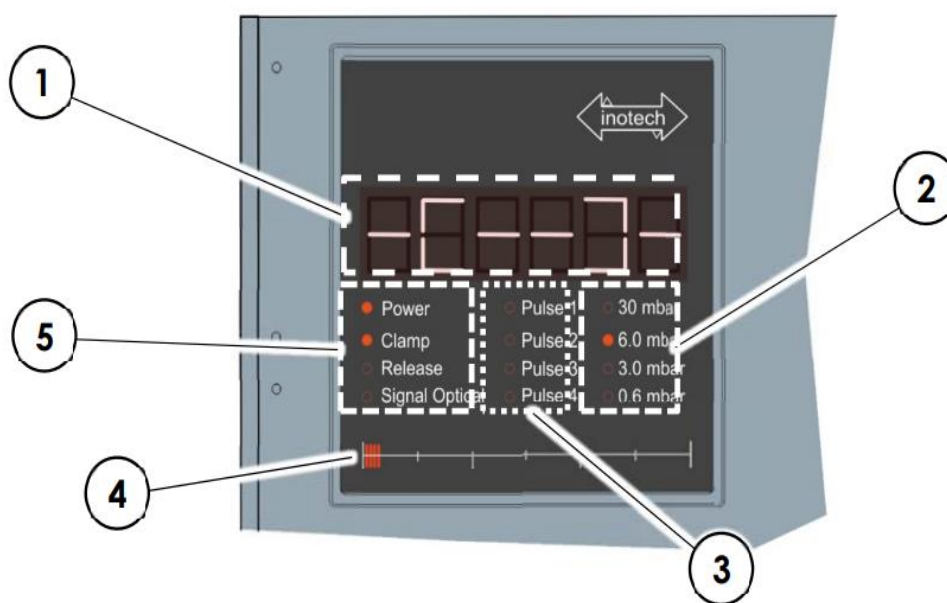


Рисунок 3.4 – Дисплей на повірочному модулі

Умовні позначення на рис. 3.4: 1 – семисегментний індикатор; 2 - діапазон вимірювання диференціального реле тиску (масштабований екран (5) з 4 світлодіодними індикаторами контролюється за допомогою ПЛК відповідно до вибраного діапазону вимірювання); 3 - контрольний індикатор входів сигналу 1-4 (Контрольний індикатор входу сигналу (4): показує вхідні імпульси на відповідних каналах.); 4 - індикатор різниці тиску (з контрольною стрілкою); 5 - індикатор стану, який містить чотири сигнальних лампи, кожна з яких має таке визначення: 1 – Power (Живлення): напруга живлення подається; 2 – Clamp (Затиск): світиться, коли всі 3 кнопки натиснуто одночасно, а випробувальний зразок затиснуто і заблоковано; 3 – Release (Розблокування): світиться в ході процесу затискання; 4 – Signal Optical (Оптичний сигнал): не використовується для лічильників газу.

Контролер (ПЛК) виконує виробничі функції: зчитує й обробляє виміряні значення підключених давачів і вимірювальних модулів і надсилає оброблені дані назад до програмного забезпечення і TF повірочної установки.

У системі використовують такі модулі збирання та обробки сигналів і вимірних значень: повірочний модуль (MUT); модуль витрати; модуль тиску; модуль температури; модуль HART.

Установка оснащена давачами для вимірювання тиску, температури, вологості.

Кожну повірочну станцію оснащено давачем тиску для вимірювання тиску. За допомогою вимірних значень:

- здійснюється моніторинг меж втрати тиску;
- відповідний тиск вимірюється на вході лічильника.

Наведені давачі тиску використовують для: вимірювання тиску на вході в сопла; вимірювання тиску повітря; вимірювання на перекривній та спускній арматурі; випробування системи на герметичність.

Диференціальне реле тиску [METER BLOCKED] (Лічильник заблоковано) контролює діапазон тиску в передній частині блоків сопел.

Значення величини спрацювання можна встановити на шкалі. Якщо випробувальний зразок заблоковано, перед соплами утворюється високий протитиск. У разі зависокого протитиску давач виводить на ПК повідомлення про несправність: контролер закриває всі сопла та вимикає вакуумну помпу, таким чином вимірювальний перетворювач та випробувальний зразок захищено від високого протитиску.

За допомогою диференціального реле тиску [LEAKAGE CONTROL] (Контроль витоків) встановлюється максимальний тиск наповнення для випробування на герметичність. Якщо буде досягнуто максимального встановленого тиску, диференціальне реле тиску клапана та наповнення зупиняться.

Кожен повірочний стенд оснащено давачами температури на вході і виході а кожен блок сопел — резистивним термометром РТ100 класу А (рис. 3.5) в ролі давача температури (1).

Контролер вираховує температуру кожної повірочної станції: при цьому прийнято, що температура між повірочними станціями змінюється лінійно.

Для вимірювання температури середовища на соплах встановлено інші резистивні термометри.

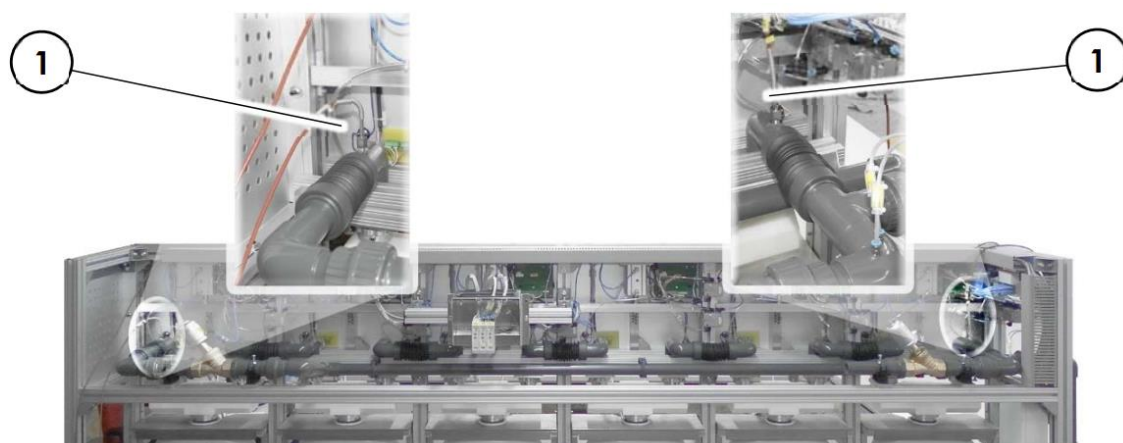


Рисунок 3.5 – Давач температури РТ100

Вологість випробувального повітря вимірюють за допомогою давача вологості (1) безпосередньо на всмоктувальних патрубках (2) на повірочному

стенді (рис. 3.6). Значення вологості використовують в ході коригувальних розрахунків повірочної установки. Це означає, що відносна вологість має таке ж значення, як і коригування температури та тиску в ході розрахунку об'ємів.



Рисунок 3.6 – Давач вологості на всмоктувальних патрубках

Блок сопел (рис. 3.7) складається з: 1 – давач температури: резистивний термометр РТ100 (класу А); 2 – блок сопел.

Повірочна установка працює з соплами критичного витоку в ролі еталонного зразка. Усі використовувані сопла (залежно від вимог) фіксують в одному або двох блоках (2). Один або кілька блоків сопел (2) зазвичай знаходяться на нижній передній панелі. Типорозмір сопла вибирають відповідно до рівнів потоку та типорозмірів лічильника, що можуть відрізнятися. Контролер визначає оптимальне поєднання сопел відповідно до параметрів тиску, температури і вологості та вмикає відповідні сопла. Фільтр тонкого очищення, який утримує частки, розмір яких перевищує 10 мкм, та захищає сопла (2) від пошкоджень і забруднень.



Рисунок 3.7 – Технологічний блок з 7 сопел

Роз'єми повірочної станції.

Кожна повірочна станція має два роз'єми для обробки результатів вимірювань (рис. 3.8). Вони зазвичай 16- (1) та 4-контактні (2) і їхні налаштування можна змінити за потреби.

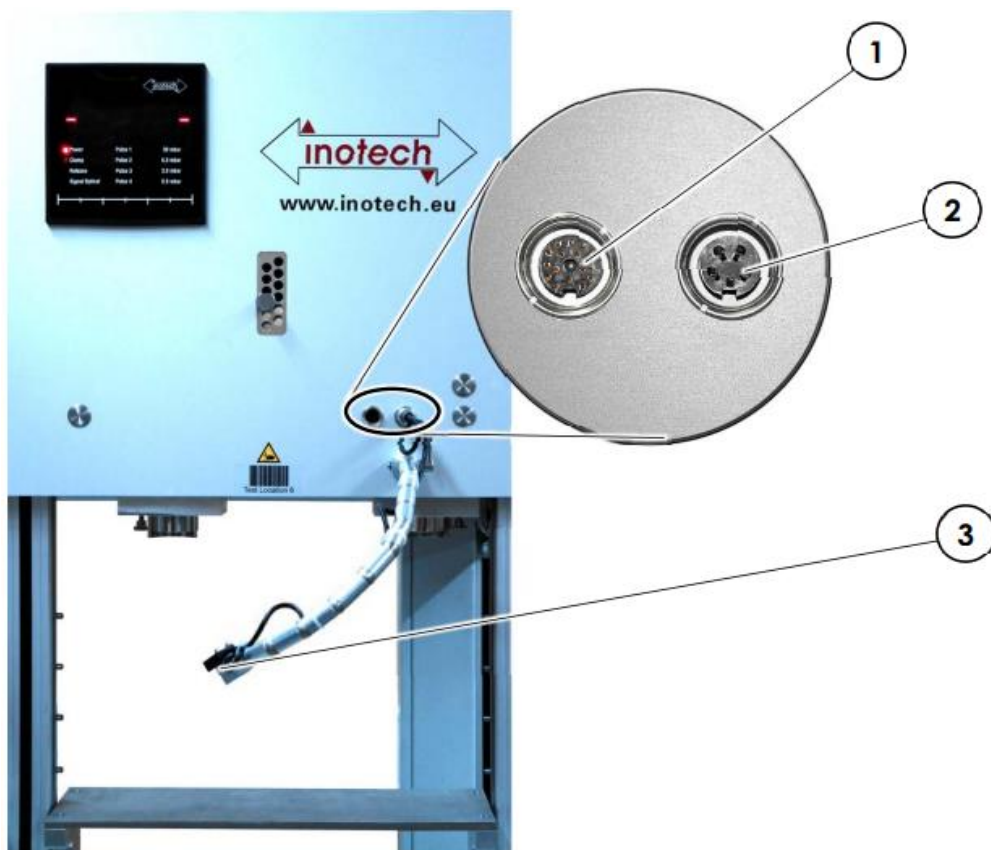


Рисунок 3.8 – Роз'єми повірочної станції

Умовні позначення на рис. 3.8 назви і позначення таких окремих структурних елементів: 1 – роз'єм для підключення смарт-лічильників(інтерфейс RS-232 для випробувальних зразків з оптичною зчитувальною головкою (фотоелектричним давачем), шиною M-BUS, 16-контактний); 2 – 4-контактний роз'єм для підключення фотоелектричного давача; 3 – фотоелектричний давач.

Імпульсний вхід на повірочній станції: через імпульсні входи зчитуються пропорційні до об'єму імпульси випробувальних зразків. Вимірювання можна виконати безпосередньо на вимірювальному приладі або лічильнику імпульсів. Зчитати значення з лічильника імпульсів можна за допомогою різних давачів, як-от фотоелементного давача або язичкового реле.

Шарнірний важіль: кожен фотоелементний давач встановлено на гнучкому шарнірному важелі. Регульований шарнірний важіль, що складається з декількох шарнірів, забезпечує широкий діапазон регулювання.

Усередині шарнірного важеля міститься сталевий трос. Сталевий трос натягується за допомогою стопорного важеля біля основи шарнірного важеля.

3.3.2 Принцип роботи повірочної установки Inotech.

У ході вимірювання порівнюється об'ємна витрата «Q» випробовуваних зразків з об'ємною витратою «Q» еталонних зразків (сопел Вентурі).

Сопла Вентурі (рис. 3.9) критичного витоку досягають високостабільної об'ємної витрати в еталоні. У горловині сопла виникає швидкість звуку відразу після встановлення критичної різниці тиску. При цьому об'ємна витрата залежить лише від поперечного перерізу, через який вона протікає. Це означає, що вимірювання об'єму ґрунтується на вимірюванні часу.

Повірочна установка призначена для повірки та калібрування лічильників газу. З її допомогою можна виконувати повірку лічильників різних типів при різній випробувальній об'ємній витраті.



Рисунок 3.9 – Сопло Вентурі

Повірочна установка порівнює зареєстрований об'єм з зареєстрованим еталонним чи визначеним об'ємом. Еталонним зразком є сопло критичного витоку або еталонний лічильник.

Похибка вимірювання лічильника газу визначається на основі вимірної різниці об'єму, що протікає між випробувальним і еталонним зразками. Об'ємна витрата для визначення похибки вимірювання визначається одним з двох методів:

- за допомогою вакуумної помпи в поєднанні з соплом Вентурі критичного витоку.
- за допомогою вентилятора в поєднанні з регульовальними клапанами й еталонними лічильниками.

За допомогою комбінації сопел можна визначити різні значення об'ємної витрати, необхідні для визначення похибки вимірювання випробувального зразка.

Під час вимірювання випробувального об'єму, окрім часу, враховують такі параметри:

- тиск;
- температура;
- вологість.

У сертифікаті про калібрування відмічено наведені нижче дані, що стосуються повірочної установки: кількість повірочних станцій; Номінальна швидкість потоку окремих сопел.

3.3.4 Метрологічні випробування повірочної установки

Повірочні установки проходять метрологічні випробування у штатному режимі. Визначені метрологічні властивості повірочної установки реєструють у відповідному сертифікаті про калібрування.

Похибку вимірювання випробувального зразка визначають на основі вимірної різниці об'єму, що протікає між випробувальним і еталонним зразками.

На результат вимірювання впливає різниця відносної вологості, тиску і температури між випробовуваним і еталонним зразками. Тому під час кожного вимірювання слід враховувати параметри тиску, температури та відносної вологості.

Повірочна установка вимірює відносну вологість навколишнього повітря безпосередньо на повітрозабірнику. Температуру вимірюють відразу перед першою та відразу після останньої повірочних станцій.

Повірочна установка вимірює наведені нижче важливі величини на кожній повірочній станції:

- визначальний тиск на випробувальний зразок;
- втрата тиску випробувального зразка.

Електронний вимірювальний перетворювач отримує вимірювані величини вологості, температури та тиску. Вимірювальний перетворювач перетворює вимірювані величини на електричні сигнали. Ці електричні сигнали обробляють у програмному забезпеченні повірочної установки.

Зчитані імпульси отримують відповідно до типу випробувального зразка, як описано нижче:

— фотоелектричний давач зчитує маркування від імпульсного давача (імпульсного реле), підключеного до механічної частини випробувального зразка;

— фотоелектричний давач зчитує маркування з лічильника імпульсів випробувального зразка;

— оптрон зчитує імпульси з електронного лічильника імпульсів;

— язичкове реле зчитує імпульси з електронного лічильника імпульсів;

— давач Холла зчитує імпульси з електронного лічильника імпульсів.

— випробувальний зразок і плк з'єднанні через роз'єм;

— кількість зчитаних імпульсів є пропорційною до об'єму, що протікає в випробувальному зразку;

— тривалість повірки визначають на основі даного випробувального об'єму і ваги імпульсу випробувального зразка.

У повірочних установках, де в ролі випробувального середовища виступає повітря, воно всмоктується з навколишнього середовища і спершу проходить через випробувальний, а потім через еталонні зразки (робота на всмоктування).

Відповідно до правил проведення повірки Федерального фізико-технічного відомства №25 і 29 сопла критичного витоку використовують у повірочних установках із різними номінальними швидкостями потоку або номінальними еталонними лічильниками.

Вимірювальний прилад складається із щонайменше одного випробувального та еталонного зразків, а також сопла критичного витоку або еталонного лічильника. Залежно від випробувальної швидкості потоку випробувального зразка під час вимірювання використовують одне або декілька сопел критичного витоку.

Під час випробування системи на герметичність:

— тиск вимірюють між перекирвними механізмами за допомогою давача тиску;

— зчитаний тиск перед перекирвними механізмами становить приблизно 10-20 мбар;

— максимальний протитиск у вакуумній помпі створюється за перекирвними механізмами.

Ланцюги керування перекирвною та спускною арматурою одночасно перекирвають вакуум з усіх затиснутих сопел і сопел критичного витоку.

Після закриття ланцюгів керування перекирвною та спускною арматурою між перекирвними механізмами є тиск, тому відкривається повітровідвідний клапан. Додатній та від'ємний перекиртий вакуум врівноважується через повітровідвідний клапан.

Структура ланцюгів керування перекирвною та спускною арматурою.

Система заповнюється, і вмикається вакуумна помпа.

Для вимірювального перетворювача різниця тиску атмосферного повітря становить лише приблизно 20 мбар. Використовуваний вимірювальний перетворювач може одночасно вимірювати зростання та падіння тиску. Зміна тиску (зростання або падіння) свідчить про те, що перекирвні механізми негерметичні.

Якщо тиск підвищується, він протікає з системи повірочної установки між перекирвними механізмами.

Якщо він падає, то протитиск протікає з вакууму, який генерує вакуумна помпа, між перекирвними механізмами.

3.3.5 Методика проведення повірки установок

При повірці установок, згідно з [16], повинні бути виконані операції, перелік яких наведено нижче:

- зовнішній огляд;
- перевірка функціонування;

- визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску;
- визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання температури;
- перевірка герметичності;
- контроль сумарної похибки;
- визначення рівня еквівалентності установки з використанням еталонів передавання.

3.3.5.1 Зовнішній огляд

При зовнішньому огляді перевіряють відповідність установки вимогам ТД і паспорта в частині складу, комплектності, маркування та пломбування; відсутності механічних пошкоджень та інших дефектів, які б перешкоджали роботі установки.

3.3.5.2. Перевірка функціонування

Установку на функціонування перевіряють разом із встановленим на ній лічильником газу, що повіряється, або еталоном передавання, у випадку комплектного способу повірки. Включають джерело об'ємної витрати і, керуючись ЕД, перевіряють можливість:

- регулювання об'ємної витрати шляхом контролю цього параметру на моніторі комп'ютера;
- вимірювання установкою контрольного об'єму повітря;
- вимірювання втрати тиску на лічильниках, що повіряються;

Після перевірки функціонування установки джерело об'ємної витрати виключають.

Функціонування установки вважають задовільним, якщо:

- забезпечується можливість регулювання об'ємної витрати в усьому діапазоні витрат лічильників що повіряються;
- виконується вимірювання контрольного об'єму повітря;
- вимірюється тиск та температура перед робочими еталонами об'єму газу та лічильниками, що повіряються, а також втрати тиску на лічильниках, що повіряються.

3.3.5.3 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску

Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску ведуть у наступній послідовності. Від'єднують ЗВТ тиску від установки і під'єднують їх до засобу створення надлишкового тиску (розрідження). Тиск (розрідження) в діапазоні від 1 до 2,5 кПа задається та вимірюється мікроманометром МКВ-250, в діапазоні від 1.6 до 10 кПа задається та вимірюється манометром вантажопоршневим КГП-1.

Задатчиком тиску задають певне значення тиску і підтримують його протягом часу, необхідного для опитування комп'ютером не менше 20 разів.

Операцію запису значень тиску (розрідження) рекомендується проводити автоматично за допомогою комп'ютера. Після цього тиск (розрідження) в системі змінюють і створюють інше значення тиску.

Кількість досліджуваних значень тиску повинна бути не менше 6.

За одержаними значеннями тиску (розрідження) обчислюють середнє арифметичне значення тиску (розрідження) для кожного ЗВТ тиску за формулою:

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{n}, \quad (3.18)$$

де P_{ij} - значення тиску (розрідження) для i -го ЗВТ тиску при j - заданому значенні, Па; n - кількість вимірювань.

Обчислюють оцінку СКВ результату вимірювань за формулою:

$$S_{Pj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - \bar{P}_j)^2}{n-1}}. \quad (3.19)$$

Обчислюють абсолютну похибку кожного каналу вимірювання тиску:

$$\Delta P_{ci} = P_{ij} - P_{задj}, \quad (3.20)$$

де P_{ij} - значення тиску (розрідження) для i -го ЗВТ тиску при j заданому значенні, Па; $P_{задj}$ - j - задане значення тиску (розрідження), Па.

З множини отриманих метрологічних характеристик для кожного каналу вибираються їх максимальні значення, які використовуються в подальшому при контролі сумарної похибки установки.

3.3.5.4 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання температури.

Проводять демонтаж ЗВТ температури установки і занурюють їх в ванну термостата. Задають і застабілізують одне із значень температури. Термостат витримують при заданій температурі протягом часу, що вказаний в паспорті на термостат. Після стабілізації температури проводять запис не менше 20 значень температури, виміряних ЗВТ температури, що входять в комплект повірочної установки. Контроль температури ведуть за допомогою термометра ртутного ТЛ-4 або термометра термостата.

Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання температури проводять за наступних значень температур: 17, 19, 20, 21, 23 °С з відхиленням $\pm 0,2$ °С.

Операцію запису значень температури можна проводити програмно за допомогою комп'ютера. За одержаними значеннями температури обчислюють середнє арифметичне значення температури для кожного ЗВТ температури за формулою:

$$\bar{T}_j = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ij}}{n}, \quad (3.21)$$

де T_{ij} - значення температури для i -го ЗВТ температури при j - заданому значенні, °С; n - кількість вимірювань.

Обчислюють оцінку СКВ результату вимірювань за формулою:

$$S_{Tj} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} - \bar{T}_j)^2}{n-1}}. \quad (3.22)$$

Обчислюють абсолютну похибку кожного каналу вимірювання температури:

$$\Delta T_{ci} = T_{ij} - T_{задj}, \quad (3.23)$$

де T_{ij} - значення температури для i - го ЗВТ температури при j - заданому значенні, °С; $T_{задj}$ - j задане значення температури, °С.

З множини отриманих метрологічних характеристик для кожного каналу вибираються їх максимальні значення, які використовуються в подальшому при контролі сумарної похибки установки.

3.3.5.5 Перевірка герметичності

Установку на герметичність перевіряють з установленим на ній лічильником газу. Що повіряється, або еталоном передавання, у випадку комплектного способу повірки, та робочими еталонами об'єму газу, як надлишковим тиском, так і розрідженням.

Для перевірки герметичності установки надлишковим тиском в будь-якому місці установки встановлюють ЗВТ тиску. В установці будь-яким засобом створення тиску створюють надлишковий тиск, що рівний максимальному робочому тиску, при якому проводиться повірка лічильників, згідно ЕД на установку та перевіряють герметичність установки шляхом контролю тиску в установці протягом інтервалу часу, не менше 20 хвилин. Якщо повірочна установка має місця негерметичності, то їх ліквідовують, і знову перевіряють установку на герметичність.

Для перевірки герметичності установки розрідженням вхід установки закривають, включають повітродувку і створюють в установці розрідження і витримують установку не менше 30 хвилин.

Розрідження або надлишковий тиск робочого середовища повинно перевищувати сумарні втрати тиску в робочому еталоні об'єму газу та лічильнику, що повіряється, та газодинамічні втрати по тракту пневматичної системи.

Протягом перевірки зміна температури газу не повинна перевищувати 0,2 °С.

Установку вважають герметичною, якщо протягом 10 хвилин покази ЗВТ тиску не змінились або зменшення об'єму повітря не перевищило 0,1 дм³/год або об'єму, що не перевищує 0,1% від пропущеного об'єму за найменшого значення витрати.

3.3.5.6 Контроль сумарної похибки

Визначення похибки передачі розміру одиниці об'єму газу до ЗВТ об'єму газу.

Визначення НСП та СКВ передачі одиниці об'єму газу Сума НСП передачі установкою одиниці об'єму газу:

$$\Sigma \theta = 1.1 \sqrt{\left(\frac{\delta_{PE}}{100}\right)^2 + n \cdot \left(\frac{dV}{dT} \cdot \Delta T_E\right)^2 + n \cdot \left(\frac{dV}{dP} \cdot \Delta P_E\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dV}{dT} \cdot \Delta T_{ci}\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dV}{dP} \cdot \Delta P_{ci}\right)^2}, (3.24)$$

де δ_{PE} - максимальна відносна похибка робочих еталонів об'єму газу (береться із свідоцтва про державну метрологічну атестацію або повірку), %; ΔT_E - абсолютна похибка робочого еталона температури (термостату), за допомогою якого проводилась повірка каналів вимірювання температури, °С; ΔP_E - абсолютна похибка робочого еталону тиску, за допомогою якого проводилась повірка каналів вимірювання тиску, Па; n - кількість вимірювальних каналів температури та тиску, результати вимірювання яких беруться при розрахунках відносної похибки лічильника (-ів) газу, що повіряється (- ються) на установці; ΔT_{ci} -

максимальна абсолютна систематична похибка i -того каналу вимірювання установки, °С; ΔP_{ci} - максимальна абсолютна систематична похибка i -того каналу вимірювання тиску установки, Па; $\frac{dV}{dT}$, $\frac{dV}{dP}$ – коефіцієнти впливу вимірюваних величин на величину об'єму газу.

Зміна температури на 1 °С зумовлює зміну об'єму на $\approx 10,34\%$, тобто

$$\frac{dV}{dT} = 3,4 \cdot 10^{-3} .$$

Зміна тиску на 1 Па зумовлює зміну об'єму на $\approx 0,00099\%$, тобто

$$\frac{dV}{dP} = 9,9 \cdot 10^{-6} .$$

З врахуванням величини коефіцієнтів впливу формула (3.7) запишеться в наступному вигляді:

$$\Sigma \theta = 1.1 \sqrt{\left(\frac{\delta_{PE}}{100}\right)^2 + n \cdot (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T)^2 + n \cdot (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P)^2 + \sum_{i=1}^n (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T_{ci})^2 + \sum_{i=1}^n (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P_{ci})^2}, \quad (3.25)$$

СКВ передачі установкою одиниці об'єму газу:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dV}{dT} \cdot \sigma_{Ti}\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{dV}{dP} \cdot \sigma_{Pi}\right)^2}, \quad (3.26)$$

де - σ_{Ti} , σ_{Pi} - максимальні значення СКВ результатів вимірювання відповідних параметрів i -тими вимірювальними каналами. Отже, сумарне СКВ рівне:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_{Ti})^2 + \sum_{i=1}^n (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{Pi})^2}. \quad (3.27)$$

Оцінку середнього квадратичного відхилення (СКВ) суми невилучених систематичних похибок (НСП) і випадкових похибок передачі одиниці об'єму газу установкою обчислюють за формулою:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\theta}^2}, \quad (3.28)$$

де S - середньоквадратичне відхилення суми випадкових похибок; S_{θ} - середньоквадратичне відхилення суми НСП, $S_{\theta} = \sqrt{1/3 \Sigma \theta^2}$.

Границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу до ЗВТ об'єму газу визначаються за наступною формулою:

$$\delta_{\Pi} = \pm t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \cdot 100\% , \quad (3.29)$$

де $t_{\Sigma} = \frac{\Sigma_{\Theta+t} \cdot s}{s_{\Theta+s}}$, t – квантиль нормального закону розподілу для відповідної довірчої ймовірності (для довірчої ймовірності $P = 0,95$, $t = 1,96$).

Установку вважають придатною для перевірки лічильників газу, якщо границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу не перевищують $\pm 0,30\%$ при повірці лічильників газу з нормованими границями відносної похибки не більше $\pm 1\%$, або не перевищують $\pm 0,5\%$ при повірці лічильників газу з нормованими границями відносної похибки не більше $\pm 1.5\%$.

3.4 Дослідження впливу неодимового магніту на метрологічні характеристики побутових лічильників газу

Досліджувався вплив неодимового магніту на покази мембранних лічильників різних заводів-виробників.

Експерименти проводилися в метрологічній службі ВАТ «Криворіжгаз» на комп'ютеризованій установці по повірці побутових лічильників газу «ТЕМПО», яка працює за принципом розрідження.

Експеримент проводився при температурі $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості 67-68%. Лічильники газу, використані в експерименті мають стабільну, допустиму похибку вимірювання, падіння тиску на лічильнику склав 10-20 кгс/м².

Під час експерименту неодимовий магніт, висотою 50 мм і діаметром 70 мм, знаходився на передній стінці корпусу. Послідовність проведення експерименту була такою.

1. Лічильник “Gallus 2000” (заводи-виробники “Schlumberger”, “Actaris”, “Itron”, роки випуску, починаючи з 1996 р). Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів сталеві. При проходженні через лічильник мінімальної витрати похибка вимірювання складає – 99,5% (тобто газ через лічильник проходить, але враховується тільки 0,5%), падіння тиску при цьому складає 240-280 кгс/м². При проходженні через

лічильник номінальної витрати похибка складає -70%. При роботі на максимальній витраті ситуації зворотня. Похибка складає приблизно +40% оскільки викид повітря з камери вимірювального механізму лічильника відбувається досить різко, таким чином лічильний механізм, за інерцією “докидає” об’єм, який фактично через лічильник не пройшов.

Після неперервної роботи лічильника “Gallus 2000” на максимальній витраті (40 хвилин) із встановленим магнітом, мембрана з боку впливу магнітного поля розтягнулася. При подальшій перевірці без неодимового магніту похибка лічильника збільшилася на -2,5%.

2. Лічильник “Gallus 2000” (заводи-виробники ті ж). Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів дюралеві, випускалися до 1996 р. Неодимовий магніт впливу не робить.

3. Лічильник “Октава” (завод-виробник “Генератор”). Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів сталеві. При проходженні через лічильник мінімальної витрати похибка вимірювання складає -99,5% (тобто газ через лічильник проходить, але не враховується) перепад тиску на лічильнику при цьому складає 230-260 кгс/м². При роботі на номінальній витраті похибка складає близько +60%, на максимальній витраті +42%.

Після неперервної роботи лічильника “Октава” на максимальній витраті (30 хвилин) із встановленим магнітом, мембрана з боку впливу магнітного поля розтягнулася. При подальшій перевірці без неодимового магніту похибка лічильника збільшилася на -2%.

4. Лічильник “Візар”. Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів дюралеві, але важіль вимірювального механізму, який з’єднує корпус вимірювальної камери і пластину на мембрані сталевий, і мабуть, через те, що і корпус лічильника, і корпус вимірювальної камери сталеві, магнітне поле розсіюється і неодимовий магніт такого розміру впливу на сталевий важіль не робить.

5. Лічильник “Premagas” МКМ-У. Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів сталеві. Похибка вимірювання на всіх витратах дає збільшення показів лічильного механізму по відношенню до об'єму газу що пройшов через лічильник.

Похибка при мінімальній витраті склала +18%; на номінальній +13%; на максимальній +4%.

6. Лічильник “Метрікс”. Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів сталеві. Похибка при мінімальній витраті склала +15%; на номінальній +12%; на максимальній +3%. Передача, що зв'язує вимірювальний механізм і лічильний механізм, здійснюється магнітними муфтами (без механічних елементів: роликів, шестерень і т.д.). Але при дослідженні, вплив магнітного поля на роботу цього елемента не виявлений.

7. Лічильник “Калекаліп”. Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів дюралеві. Неодимовий магніт впливу не робить.

8. Лічильник “Візар ВР”. Встановлені заводом-виробником пластини на мембранах вимірювальних механізмів дюралеві. Неодимовий магніт впливу не робить.

Протягом місяця неодимовий магніт був прикріплений до передньої стінки лічильника “Gallus 2000”. За допомогою металевої голки підвішеної на нитці, металевого дроту $\varnothing 0,1$ мм металевої стружки залишкового намагнічення не виявлено.

На підставі вищевикладеного можна зробити наступні висновки: установка неодимового магніту розміром 50 на 70 мм на мембранний лічильник з металевою пластиною на вимірювальному механізмі робить вплив і знижує кількість облікованого газу по відношенню до спожитого, а у разі мінімального споживання практично зупиняє його. В ході експерименту також було виявлено, що неодимовий магніт при тривалій дії на роботу лічильника розтягує і в результаті чого рве мембрану вимірювального механізму, а також призводить до

швидкого зносу робочих елементів і пластмасових деталей лічильника, тим самим вказує на те, що застосування магніту на протязі деякого часу достатнє, щоб змінити метрологічні характеристики лічильника в мінус, або поломки вимірювального механізму, що дозволить споживати природний газ практично без обліку, при цьому вже не використовувати неодимовий магніт. При співвідношенні ціни газу до ціни лічильника, вивести з ладу лічильник значно вигідніше, ніж оплачувати реально спожитий об'єм газу.

Падіння тиску, спостережуване на лічильнику при застосуванні неодимового магніту, призводить до нестабільного подання газу, тобто газ подається на газоспоживаюче обладнання імпульсно, що може призвести до загасання полум'я пальника і подальшого відновлення подання газу, і як правило скупченню природного газу в приміщенні, в якому встановлене газове обладнання. Ця ситуація пов'язана з тим, що магніт досить сильний.

Ефект збільшення показів лічильного механізму по відношенню до об'єму що пройшло через лічильник на середній і максимальній витратах під впливом неодимового магніту отриманий цим дослідженням можливо пояснюється тим, що установка по перевірці побутових лічильників газу на якій робилися експерименти, працює в цих режимах витрат на розрідження (повітря не подається на вхід лічильника під тиском, а створює розрідження на виході з нього), при цьому значення розрідження, що створюється установкою перевищує тиск в газопроводі. У реальних умовах лічильник буде частково або повністю зупинений, при цьому споживання газу не припинеться.

Висновки до розділу

На основі опису видів похибок та методів їх визначення, проведений метрологічний аналіз мембранних лічильників. Визначено основні фактори впливу на точність вимірювання та розроблено удосконалені методики визначення похибок та методики повірки мембранних лічильників газу.

Описано конструктивні особливості установки для перевірки лічильників та розроблено удосконалену методику забезпечення передачі одиниці витрати повірочною установкою.

Проведено аналіз впливу неодимового магніту на точність показів мембранних лічильників, виготовлених різними заводами-виробниками.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано вибір лічильника мембранного типу для вимірювання витрати і кількості газу в трубопроводах низького тиску.
2. Проаналізовано вплив характеристик газу та навколишнього середовища на точність вимірювання витрати та кількості газу мембранними лічильниками.
3. Проаналізовано особливості конструкції мембранних лічильників різних виробників і теоретично обґрунтувати їх вплив на точність вимірювання.
4. Проаналізовано технічні та метрологічні характеристики мембранних лічильників.
5. Розроблено методику перевірки технічних та метрологічних характеристик лічильників та введення поправок на результати вимірювання.
6. Розроблено удосконалене метрологічне забезпечення мембранних побутових лічильників мембранного типу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вимірювання витрати та кількості газу: Довідник/ М.П.Андріішин, С.О.Даневський, Є.Ф.Марчук, О.М.Карпаш, І.С.Петришин, О.Є.Середюк, С.А.Чеховський. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2004. – 160 с.
2. Стаття: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5591582/page:4/>.
3. Стаття: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://helpiks.org/6-52252.html>.
4. Дж. Фрайден Сучасні давачі. Довідник К.: Техносфера, 2005. – 592 с. ISBN 5-94836-050-4.
5. Стаття: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.naftogaz.com/www/3/nakweb.nsf/0/9A81628485529AC3C2257ACB002EDA94.
6. Стаття: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kurs.ua/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=19&Itemid=23.
7. Pisarets A. Optimization of turbine type flow rate transducer with hydrodynamic balancing of sensitive element / A. Pisarets, I. Korobko // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 54(2). – С. 65 – 71.
8. Писарець А. В. Вимірювання кількості теплової енергії із застосуванням ультразвукового методу / А. В. Писарець, С. О.Поліщук // Вісник НТУУ "КПІ".Серія приладобудування. – 2017. – Вип. 53(1). – С. 56 – 61.
9. Коробко І.В. Дослідження плунжерного витратоміра з лінійними декодером у складі одоризаційної установки./ І.В.Коробко, В.В.Кротевіч// Метрологія і прилади. 2017. №4 (66) – С.17-20.
10. Патент № 113091 Україна, МПК(2016) G01F1/05, G01F1/34, G01F1/66, G01F 15/04. Комплекс вимірювання витрати газу з потрібною системою реєстрації і формувачем потоку /І.В.Коробко , О.О.Драчук,

В.А.Коваленко, А.М.Рак./ Заявл.23.01.2015; опубл. 12.12.2016, Бюл. № 23.

11. Патент № 113648 Україна, МПК(2016) G01F 25/00. Еталонна дзвонова дискретно-динамічна установка для точного відтворення та вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу /І.В.Коробко, А.М.Рак., І.В.Щупак, Ю.В.Кузьменко./ /Заявл. 09.12.2014; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.

12. Коробко І. В. Оцінка якості визначення об'єму та об'ємної витрати води / І. В. Коробко, Є. В. Писарець, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія приладобудування. – 2016. – Вип. 51(1). – С. 89 – 94.

13. М.В.Кузь Пристрій для компенсації впливу температури природного газу на точність його обліку побутовими лічильниками газу. Вісник НТТУ «КПІ». Серія Приладобудування, 2012. Вип.4, С. 80-86.

14. ДСТУ 9035. 2020. Лічильники газу для побутових потреб та комерційного обліку. Методика повірки. К. ДП «УкрНДНЦ». 2020.

15. Посібник з експлуатації та технічного обслуговування: iTF — inotech Test Facility. Повірочна установка для лічильників газу.

16. Метрологія. Установки повірочні з еталонними лічильниками газу. Методика повірки. МПУ 168/03-2006. Івано-Франківськ 2006р. ДП “Івано-Франківськстандартметрологія”. Розробники: Петришин І.С., Кузь М.В., Безгачнюк Я.В., Середюк Д.О.

17. В. В. Ільницький, Л. А. Витвицька. Аналіз впливу температури газу на точність вимірювання об'ємної витрати мембранними лічильниками//Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», м. Івано-Франківськ, 13 жовтня 2023 р., с. 102-103.

18. Кісіль І.С. Основи вимірювальної техніки. Конспект лекцій // І.С. Кісіль, Л.А.Витвицька, О.Є. Середюк ., – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 156 с. МВ 022070855-737-2000.

19. Поліщук Є. С. Методи та засоби вимірювань неелектричних величин. – Львів: Вид-во державного університету “Львівська політехніка”,

2000. – 359 с.

20. Основи метрології та вимірювань / Д.Б. Головка, К.Г. Реґо, Ю.О. Скрипник.- К.: Либідь, 2001.-408 с.

21. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник: у 2-х томах / М.К.Дорожовець, В.С.Мотало, Б.М. Стадник, В.Б.Василюк, Р.В. Борек, А.В.Ковальчик. – Львів: Львівська політехніка, 2005. – 1529 с.

22. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості. –навч.пос./ під ред. Чеховського С.А. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 534 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Повірна установка Inotech в Івано-Франківському Метрологічному центрі
«ЗАХІД»



Рисунок А.1



Рисунок А.2

ДОДАТОК Б

Повірна установка ТЕМПО в Івано-Франківському Метрологічному центрі

«ЗАХІД»

