

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Рожков Олексій Пилипович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.121

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення методики експрес-контролю побутових лічильників газу

(назва роботи)

175-Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва спеціальності)

О.П.Рожков

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Середюк Орест Євгенович, д.т.н., професор

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О.Є. Середюк

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

Рецензент

З.П. Лютак

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

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківськ – 2024

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень магістр

Спеціальність 175-Інформаційно-вимірювальні технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Рожкову Олексію Пилиповичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення методики експрес-контролю побутових лічильників газу
керівник роботи Середюк Орест Євгенович, д.т.н., професор,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від "03" 12 2024 року № 784/7

2. Строк подання студентом роботи 23.12.2024

3. Вихідні дані до роботи: установка для без демонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу: діапазоні об'ємної витрати від 0,016 м³/год до 6 м³/год, допустима основна похибка ±1,0%, робоче середовище: природний газ.. Умови експлуатації: темпер. навк. повітря 5...35°C, відн. вологістю до 80 % і атм. тиск від 84,0 кПа до 106,7 кПа.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз існуючих методик і технічних засобів для експрес-контролю побутових лічильників газу

2. Розроблення вдосконаленої методики експрес-контролю побутових лічильників газу

3. Метрологічний аналіз методики експрес-контролю побутових лічильників газу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Експериментальний стенд. Схема комбінована функціональна. 2. Результати моделювання зміни тиску в трубопроводі.

3. Результати моделювання зміни температури в трубопроводі.

4. Пристрій діагностування побутових лічильників газу. Схема комбінована функціональна.

5. Схема повірки установки для експрес-контролю побутових лічильників газу.

6. Метрологічна модель установки для експрес-контролю ПЛГ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
нормоконтроль	<i>Проф. Лютак З.П.</i>		

7. Дата видачі завдання 30.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>05.12.2024</i>	
2	<i>Аналіз існуючих методик і технічних засобів для експрес-контролю побутових лічильників газу</i>	<i>05.12.2024</i>	
3	<i>Розроблення вдосконаленої методики експрес-контролю побутових лічильників газу</i>	<i>10.12.2024</i>	
4	<i>Метрологічний аналіз методики експрес-контролю побутових лічильників газу</i>	<i>15.12.2024</i>	
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>23.12.2024</i>	

Студент _____

(підпис)

Рожков О.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Середюк О.Є.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: «Розроблення методики експрес-контролю побутових лічильників газу» 72 с., 7 рис., 8 табл., 27 джерел, 6 аркушів графічного матеріалу.

Об'єкт дослідження – процес визначення метрологічних характеристик побутових лічильників газу в умовах експлуатації.

Мета роботи полягає у розробленні технічного засобу і методики для бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників на природному газі.

У даній магістерській роботі проведено аналіз основних методів і установок для проведення перевірки побутових лічильників газу.

На основі цих даних розроблено установку для проведення бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу. Установка дозволяє визначати метрологічні характеристики побутових лічильників газу в умовах експлуатації із застосуванням природного газу як робочого середовища.

Особливістю даної установки є її мобільність та використання в умовах експлуатації.

ПОБУТОВИЙ ЛІЧИЛЬНИК ГАЗУ, ПРИРОДНИЙ ГАЗ, МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГАЗОСПОЖИВАЧ, СОПЛО, ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ, ВИТРАТА, ПОВІРКА.

ABSTRACT

Master's thesis: "Development of a method for express control of household gas meters" 72 p., 7 fig., 8 tables, 27 sources, 6 sheets of graphic material.

The object of the study is the process of determining the metrological characteristics of household gas meters in operating conditions.

The purpose of the work is to develop a technical means and methodology for non-dismantling express control of household natural gas meters.

This master's thesis analyzes the main methods and installations for verifying household gas meters.

Based on these data, a device for non-dismantling express control of household gas meters was developed. The device allows determining the metrological characteristics of household gas meters in operating conditions using natural gas as a working medium.

A feature of this device is its mobility and use in operating conditions.

HOUSEHOLD GAS METER, NATURAL GAS, METROLOGICAL CHARACTERISTICS, GAS CONSUMER, NOZZLE, EXPRESS CONTROL, FLOW, VERIFICATION.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз існуючих методик і технічних засобів для експрес-контролю побутових лічильників газу	7
1.1 Аналіз побутових лічильників газу як об'єкта експрес-контролю.....	7
1.1.1 Роторні лічильники газу.....	8
1.1.2 Мембранні лічильники газу.....	12
1.1.3 Ультразвукові лічильники.....	15
1.2 Сучасний стан метрологічного забезпечення побутових лічильників газу.....	18
1.2.1 Нормативне забезпечення.....	18
1.2.2 Повірочні установки та їх можливість експрес-контролю.....	20
1.2.3 Дзвонові еталонні установки.....	21
1.2.4 Поршневі еталонні установки.....	22
1.2.5 Еталонні установки неперервної дії.....	23
1.2.6 Еталонні установки виконані на базі зразкових лічильників газу...	23
1.3 Аналіз експрес-контролю побутових лічильників газу.....	25
1.4 Постановка завдання на магістерську роботу.....	28
2 Розроблення методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу.....	30
2.1 Теоретичні основи розроблення методики експрес-контролю.....	30
2.1.1 Теоретичне моделювання втрат тиску.....	30
2.1.2 Теоретичне моделювання зміни температури.....	33
2.2 Розроблення методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу.....	34
2.3 Експериментальні дослідження газодинамічних процесів в трубопровідних мережах.....	39
2.4 Розробка алгоритму функціонування пристрою для експрес-контролю побутових лічильників газу.....	40

2.5 Проектування пристрою для реалізації методики експрес-контролю побутових лічильників газу.....	41
2.6 Розрахунок контрольної дози газу і тривалості часу дослідження.....	43
2.7 Розрахунок звужуючих пристроїв.....	44
3 Метрологічний аналіз методики експрес-контролю побутових лічильників газу.....	49
3.1 Розробка метрологічної моделі методики експрес-контролю побутових лічильників газу	49
3.2 Розрахунок основних складових похибки методики експрес-контролю побутових лічильників газу.....	50
3.3 Розробка метрологічного забезпечення для реалізації методики експрес-контролю побутових лічильників газу.....	66
Висновки.....	69
Перелік використаних джерел.....	70

ВСТУП

Актуальність теми. Природний газ – цінний енергетичний ресурс, який неможливо поновити, тому його використання має бути раціональним та економним. На сьогоднішній день газова промисловість України є однією із небагатьох найважливіших галузей енергетичного напрямку економіки держави, оскільки частка природного газу у загальному обсязі споживання первинної енергії перевищує 45%.

Споживачів природного газу умовно можна поділити на три групи: промислові підприємства, комунальні котельні та індивідуальні споживачі (населення). Останніми роками загальні тенденції в галузі теплопостачання населення спрямовані на поступову заміну централізованого опалення, яке забезпечують комунальні котельні, на індивідуальне. Зважаючи на ці факти, особливої уваги потребує комунально-побутова сфера обліку природного газу, тобто облік газу безпосередньо спожитого населенням

Облік спожитого природного газу населенням реалізується двома шляхам. Один з них передбачає здійснення нарахування щомісячної споживаної норми користувачем за затвердженими газопостачальними органами методиками. Іншим шляхом є безпосереднє встановлення індивідуальних поквартирних або побудинкових побутових лічильників газу (ПЛГ), а облік газу ведеться за їх показами. Слід зазначити, що саме індивідуальний облік газу є найбільш ефективним з точки зору економії і коректності розрахунку з населенням.

Мета роботи полягає у розробленні методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників на природному газі.

Задачі дослідження полягають у наступному:

- розробка теоретичних основ практичної реалізації методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу на місці експлуатації;

- розробка методики для бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу на місці експлуатації;
- розробка принципової схеми практичної реалізації пристрою на базі розробленої методики бездемонтажного експрес-контролю;
- проведення метрологічного аналізу розробленої методики бездемонтажного експрес-контролю;
- розробка метрологічного забезпечення для практичної реалізації методики;
- конструювання окремих вузлів і пристроїв обладнання для технічної реалізації розробленої методики побутових лічильників газу.

Об'єктом дослідження є процес визначення метрологічних характеристик побутових лічильників газу в умовах експлуатації.

Предметом дослідження є принципи, методи та засоби для експрес-контролю побутових лічильників газу на природному газі.

Методи дослідження. Математичне і фізичне моделювання термо- та газодинамічних процесів в трубопроводах низького тиску з використанням теорії гідродинамічної подібності, теплообміну, планування та постановки експериментів. Метрологічні дослідження здійснювалися із застосуванням основних положень метрології, теорії похибок, статистичної обробки даних при структурному аналізі складових похибки.

Наукова новизна полягає у встановленні математичних моделей для визначення втрат тиску і зміни температури у будинкових газопроводах з урахуванням їх конструктивних параметрів, що дозволяє опосередковано визначати робочі умови побутових лічильників газу. Розроблено методику бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу.

Практичне значення даної магістерської роботи полягає у розробленні проекту нормативного документу для проведення експрес-контролю побутових лічильників газу.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДИК І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

1.1 Аналіз побутових лічильників газу як об'єкта експрес-контролю

Пристрої для вимірювання кількості речовини, тобто для виміру сумарного об'єму чи маси речовини, що протікає через трубопровід за будь-який відрізок часу називаються лічильниками.

В сучасному побуті застосовують лічильники, що відрізняються один від одного призначенням, принципом дії та конструкцією. Для оцінки і порівняння різних конструкцій і модифікацій лічильників, як вимірювальних пристроїв і визначення реальної точності виміру кількості, нормуються наступні характеристики:

- калібр–діаметр умовного проходу вхідного патрубка лічильника, в міліметрах;

- відносна похибка показів в відсотках – різниця між показами лічильника $V_{л}$ і дійсною кількістю речовини $V_{д}$ яка пройшла через лічильник [2]:

$$\delta = \frac{(V_{л} - V_{д})}{V_{д}} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

- втрата тиску – різниця тисків, що визначається за показами манометрів на вхідному і вихідному патрубках лічильників обумовлена гідравлічними і механічними опорами в його механізмі;

- діапазон вимірювання – область значень величини, в межах якої є нормовані допустимі границі похибки;

- нижня границя вимірювань – найменша годинна витрата при якій відносна похибка показів лічильника не буде виходити за межі допустимих значень;

- верхня межа вимірювань – найбільша годинна витрата, при якій похибка показів і втрата напору не виходить за межі установлених допусків (робота

лічильників на верхній межі , допускається тільки при короткочасових пікових навантаженнях – в загальній складності не більше однієї години на добу);

- номінальна витрата – найбільша годинна витрата, при якій похибка показів не виходить за межі допустимих значень а витрата напору при цій витраті не створює в пристрої зусиль , що приводять до швидкого зносу частин які труться;

- поріг чутливості – найменша годинна витрата, при якій чутливий елемент пристрою набуває устанавленого руху , а лічильник починає «давати» покази з будь-якою похибкою. Поріг чутливості характеризує тертя в лічильнику, яке залежить від його конструкції, якості виготовлення, складання його механізму та від фізико-хімічних властивостей вимірювальної речовини.

- об'єм лічильного механізму – найбільша кількість речовини , яка може бути підрахованою лічильним механізмом пристрою;

- позначення типорозміру лічильника – умовний знак для характеристики лічильника газу, який складається з латинської літери G і значення номінальної витрати. в м³/год, наприклад G4, G6;

- вимірювальний об'єм — це об'єм, розташований між ротором і стінкою лічильника;

- максимальний допустимий робочий надлишковий тиск - різниця між абсолютним і барометричним тисками яка не повинна бути перевищена при експлуатації лічильника.

Для обліку спожитого газу в комунальній та побутовій сфері в даний час найбільш поширені роторні , мембранні та ультразвукові лічильники.

1.1.1 Роторні лічильники газу

Роторні лічильники є різновидністю об'ємних. Роторними називаються тахометричні витратоміри і лічильники, що мають один чи кілька рухомих елементів, які, рухаючись, відмірюють певні об'єми газу. За принципом дії вимірювання витрати і кількості в них відбувається шляхом відсікання певних порцій (об'єму) газу.

Роторні лічильники призначені для вимірювання об'єму газу при витратах 4-4000 м³/год. Вони відрізняються від лічильників газу інших типів меншими габаритними розмірами при тих самих межах вимірювань і нечутливістю до перевантажень.

Витрата газу за будь-який проміжок часу є сумою виміряних об'ємів, віднесених до визначеного періоду часу.

Об'ємна кількість газу V , яка пройшла через лічильник за час t , визначається з рівняння :

$$V = mV_0 + qt, \quad (1.2)$$

де V_0 - об'єм газу, який витісняється розділювальними елементами (поршнем, диском, роторами і т.п.) за один цикл чи оберт, практично дорівнює об'єму вимірювальної камери або ж камер приладу; m - кількість ходів чи обертів розподільного елемента за час t ; q - об'єм газу, що протікає через внутрішні зазори приладу за одиницю часу.

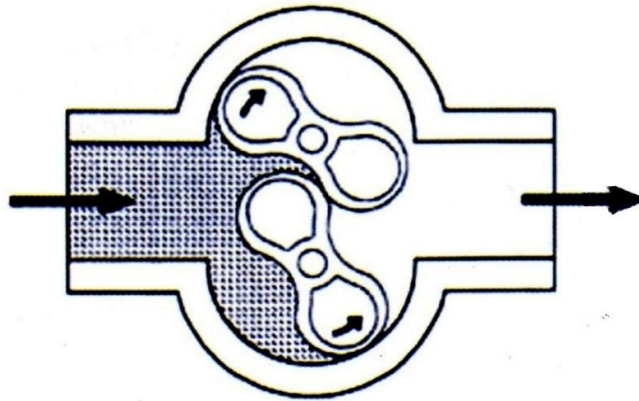
Вираз для визначення похибки має такий вигляд:

$$\delta_V = \frac{V_{\pi} - V}{V}, \quad (1.3)$$

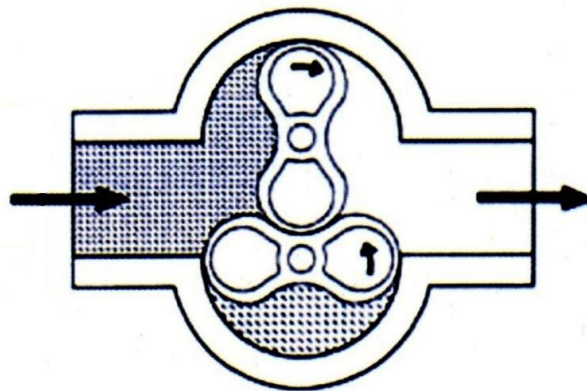
До недоліків роторних лічильників відносяться підвищені оберти лопасних поршнів і, як наслідок, інтенсивне зношування робочих органів.

Принцип дії роторних лічильників ґрунтується на витисненні під дією різниці тисків між входом і виходом лічильника двома роторами вісімкоподібної форми по черзі порцій газу, що відсікаються роторами і стінками лічильника (рис.1.1). Ротори обертаються у взаємно протилежних напрямках. За повний цикл вимірювання на вихід поступає чотири вимірювальних об'єми. Оберти роторів передаються передавальним механізмом в головку лічильника на відліковий пристрій, який відображає об'єм газу, що пройшов через лічильник. Існують роторні лічильники з корекцією показів по тиску і температурі газу. Шкалу лічильника в такому випадку градуують в одиницях об'єму газу, приведенного до стандартних умов.

Роторні лічильники складаються з вимірювального механізму, синхронізуючих шестерень, передавального механізму, корпусу, головки.



а – положення роторів при наповненні камери



б – положення роторів при фіксації об'єму вимірювальної камери і початку заповнення верхньої камери

Рисунок 1.1 – Схема принципу дії роторного лічильника газу

В типовому роторному лічильнику вимірювальний механізм складається із вимірювальної камери, в якій розміщені ротори вісімкоподібної форми.

Синхронізуючі шестерні з'єднані з роторами і служать для синхронізації їх руху та для забезпечення обертання роторів у взаємно протилежних напрямках.

Передавальний механізм забезпечує передачу обертів роторів до головки лічильника. Передача може здійснюватися або за допомогою магнітної муфти, або безпосередньо механічною передачею. В головці лічильника розміщений відліковий пристрій зазвичай барабанного типу. В багатьох лічильниках в

головці розташовують давачі імпульсів, які перетворюють оберти коліщат відлікового пристрою в електричні імпульси. Давачі можуть бути низькочастотні, середньочастотні або високочастотні. Найчастіше застосовуються давачі типу "сухий контакт", а також індуктивні давачі (аналогічно турбінним лічильникам).

Похибки вимірювань роторних лічильників визначаються втратами в зазорах між роторами та між роторами і корпусом, значення яких може бути знайдено за формулами [2]:

$$\delta_V \approx \frac{V_1}{iV_0} \left(1 - \frac{qt}{V} \right) - 1, \quad (1.4)$$

де

$$i = \frac{m}{m_{\pi}} = n \frac{n}{n_{\pi}}, \quad (1.5)$$

V_1 - об'єм газу, що враховується приладом за одне спрацювання лічильного механізму; V_0 - об'єм газу, який витісняється розділювальними елементами (поршнем, диском, роторами і т.п.) за один цикл чи оберт, практично дорівнює об'єму вимірювальної камери або ж камер приладу; q - об'єм газу, що протікає через внутрішні зазори приладу за час t ; t - час протікання газу; m - кількість ходів чи обертів розподільного елемента за час t ; n - кількість ходів чи обертів розподільного елемента за час t ; m_{π} - кількість спрацювань лічильного механізму за час t ; n_{π} - кількість спрацювань лічильного механізму за час t .

Оскільки значення похибки пропорційне перетокам і обернено пропорційне витраті, то при малих витратах за рахунок падіння тиску на виході лічильника відносно тиску на його вході частина газу може проходити через лічильник невиміряною.

Недоліком роторних лічильників є нерівномірність переміщення газу в межах одного оберту і як наслідок виникнення пульсацій витрати та тиску.

Виробниками даних лічильників газу, являються наступні підприємства :

- ВАТ «Промприлад» (м.Івано-Франківськ);
- ДП «Завод Арсенал» (м.Київ);
- ВО «Новатор» (м.Хмельницький);

- ІВФ «ТЕМПО» (м.Івано-Франківськ).

Основні технічні характеристики наведені в таблиці 1.1 [2].

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики роторних лічильників газу

№ п/п	Назва параметра	Нормоване значення для виконань і типорозмірів		
		G2.5	G4	G6
1.	Мінімальна витрата Q_{\min} м ³ /год	0,06	0,06	0,08
2.	Номінальна витрата Q_{nom} м ³ /год	2,50	4,00	6,00
3.	Максимальна витрата Q_{max} м ³ /год	4,00	6,00	10,00
4.	Межі допустимої відносної похибки : - в діапазоні витрат від Q_{\min} до $2Q_{\min}$, % - в діапазоні витрат від $2Q_{\min}$ до Q_{max} , %	±3 ±2		
5.	Діапазон робочих тем-ператур навколишнього та вимірювального середовища , °С	25..+50		
6.	Середній термін служби , років	20		

1.1.2 Мембранні лічильники газу

Мембранні газові лічильники відносяться до маловитратних засобів обліку газу і знаходять застосування переважно для побутових цілей і в невеликих опалювальних котельнях. Діапазон робочих витрат як правило не перевищує 10 м³/ год [2].

Лічильники виготовляють з однією або двома мембранами і залежно від цього з двома або чотирма вимірювальними камерами. Газ по камерах розподіляється за допомогою золотників або клапанів. Золотниковий розподіл застосовується тільки в закордонній практиці в приладах з двома мембранами

для вимірювання різного тиску і витрат газу (фірма «Singer»). Клапанний розподіл застосовують в приладах як з однією, так і з двома мембранами.

Принципова схема газового лічильника з клапанним розподілом зображена на (рис.1.2). Основними частинами лічильника є корпус, газорозподільний і відліковий механізми. Корпус є герметичним штампованим з жерсті циліндром, що має всередині дві газорозподільні камери з патрубками для приєднання лічильника до системи газопостачання. Камери розділені вимірювальною рухомою перетинкою (мембраною). Перетинку виконують у вигляді еластичної діафрагми з шкіри, її замінників або поліхлорвінілу. В центрі діафрагми закріплений металевий диск. Під дією різниці тиску газу діафрагма (мембрана) розтягується або стискається, диск набуває зворотно-поступального руху. При цьому клапани газорозподільного механізму, які зв'язані з рухомою мембраною системою важелів, автоматично перемикаються. При перемиканні клапанів газ по черзі поступає то в одну, то в іншу розподільні 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 лічильник розміщений в корпусі [2].

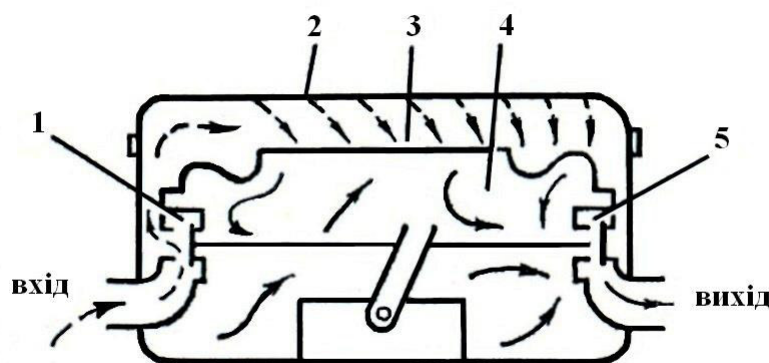


Рисунок 1.2 – Типова конструкція мембранного лічильника

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

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 та інших джерел тепла, також в приміщеннях з високою температурою.

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.

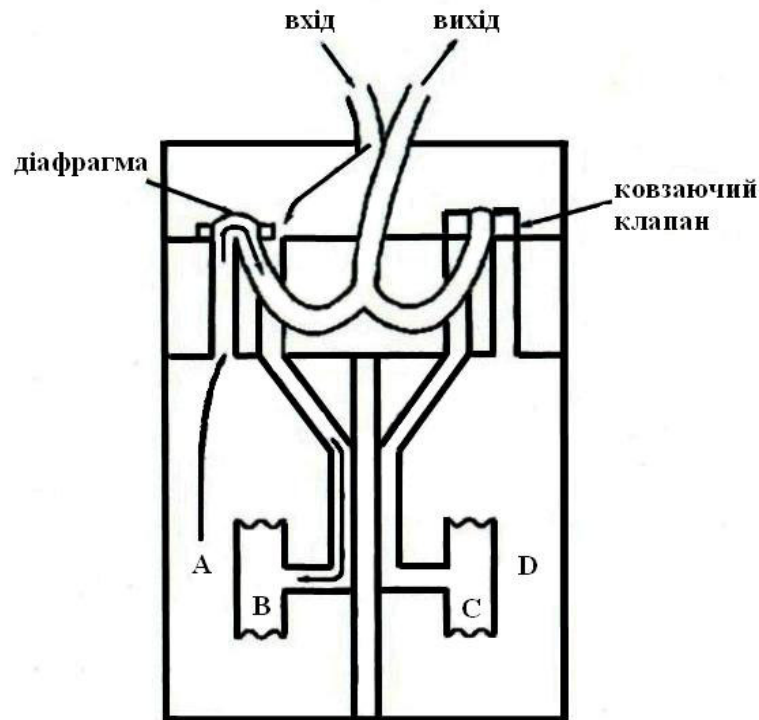


Рисунок 1.3 – Принципова схема мембранного лічильника газу з ковзаючим клапаном

На (рис.1.3) зображений інший варіант мембранного лічильника, який інколи називають діафрагмовим лічильником внаслідок застосування діафрагми у конструкції ковзаючого клапана. Він має чотири камери: А, В, С, D, які можуть бути порожніми або заповненими газом. Для випадку, зображеного на рисунку, порожнина А спорожнюється, камера В — заповнюється,

камера С - порожня, порожнина D - тільки що заповнена. Далі слідує рух ковзаючого клапана вправо для того, щоб перекрити входи в камери А і В і відкрити входи до камер С і D. Тепер порожнина А - порожня, В - повна, С - заповнюється, D - спорожнюється. Клапан продовжує рухатися вправо і відкриває камери А і В, закриваючи при цьому камери С і D. Тоді відповідно камери: А- заповнюється, В - спорожнюється, С - повна, D - порожня. Ковзаючий клапан Починає рухатися вліво, щоб закрити камери А і В і відкрити Камери С і D. Тоді камери: А - заповнена, В - спорожнена, С спорожнюється, D - заповнюється. Вказана послідовність операцій повторюється. Цей принцип роботи застосовується для побудови побутових лічильників газу.

Таблиця 1.2 – Основні технічні характеристики мембранних лічильників газу

№ п/п	Назва параметра	Нормоване значення для виконань і типорозмірів		
		G1.6	G2.5	G4
1.	Номінальна об'ємна витрата, м ³ /год	1.6	2.5	4
2.	Максимальна об'ємна витрата, м ³ /год	2.5	4	6
3.	Мінімальна об'ємна витрата, м ³ /год	0.016	0.025	0.04
4.	Діапазон робочих температур, °С	-20...+60		
5.	Максимальний робочий надлишковий тиск, кПа	50		
6.	Ціна одиниці молодшого розряду, дм ³	0.2		
7.	Межі допустимої відносної похибки, % :			
	- від Q _{min} до 2 Q _{min}	±3		
	- від 2 Q _{min} до Q _{max}	±2		
8.	Втрати тиску при Q _{max} , не більше, Па	200		
9.	Ємність відлікового пристрою, м ³	99999.998		
10.	Маса, кг	1.9		
11.	Об'єм вимірювальної камери, дм ³	1.2		

В таблиці 1.2 наведено основні техніко-метрологічні характеристики мембранних лічильників газу [2].

Виробниками даних лічильників являються наступні підприємства:

- СП «САМГАЗ» (м.Рівне);
- ВАТ «Мукачівприлад» (м.Мукачеве , Закарпатська область);
- «PREMAGAS s.r.o.» (Словацька республіка);
- Жулянський машинобудівний завод «Візар» (м.Вишневе);
- ЗАТ «Шлюмберже УкрГаз метерс компанії» (м.Київ).

1.1.3 Ультразвукові лічильники

Ультразвукові лічильники базуються на вимірюванні, яке залежить від витрати того чи іншого акустичного ефекту, що виникає під час проходження ультразвукових коливань через потік газу[2].

В даний час застосовуються два різновиди ультразвукових лічильників:

- лічильники, які базуються на переміщенні ультразвукових коливань (УЗК) рухомого середовища: а) УЗК направляються за потоком і проти потоку; б) УЗК направляються перпендикулярно до руху потоку;
- лічильники , що базуються на ефекті Доплера.

Основними елементами перетворювачів ультразвукових лічильників є випромінювачі і приймачі УЗК. їх дія базується на п'єзоелектричному ефекті, який полягає в тому, що при стисненні і розтягуванні в визначених напрямках деяких кристалів (п'єзоелементів) на їх поверхнях виникають електричні заряди. Якщо ж до цих поверхонь прикласти різницю електричних потенціалів, то п'єзоелемент розтягнеться чи стиснеться залежно від того, на якій із цих поверхонь буде більша напруга.

Одним з найбільш відомих природних п'єзоелементів є кварц. Однак в даний час в ультразвукових лічильниках як п'єзоелементи застосовуються різні п'єзокерамічні матеріали, такі як титанат барію, цирконат титанату свинцю.

П'єзоелементи зазвичай виготовляють у вигляді круглих дисків діаметром 10-20 мм і оснащують електродами. Щоб отримати інтенсивні УЗК, потрібно працювати на резонансній частоті п'єзоелемента.

Час τ_1 проходження УЗК деякої відстані L в напрямі швидкості потоку менший від часу τ_2 проходження цієї ж відстані проти швидкості потоку:

$$\left. \begin{aligned} \tau_1 &= \frac{L}{c+v} = \frac{L}{c} \left(1 + \frac{v}{c}\right)^{-1}; \\ \tau_2 &= \frac{L}{c-v} = \frac{L}{c} \left(1 - \frac{v}{c}\right)^{-1}, \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

де c - швидкість звуку в даному середовищі; v - швидкість руху середовища.

Звідси

$$\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2L}{c^2} \frac{v}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}, \quad (1.7)$$

Оскільки $v/c \ll 1$, то рівняння (1.7) з великим ступенем точності може бути переписане так:

$$\Delta\tau = \frac{2L}{c^2} v, \quad (1.8)$$

Таким чином, різниця часу $\Delta\tau$ прямо пропорційна швидкості потоку v .

Існує кілька методів вимірювання $\Delta\tau$:

- вимірювання різниці фазових зсувів ультразвукових коливань, що направляються по потоку і проти нього (фазові витратоміри);

- вимірювання різниці частот повторення коротких імпульсів чи пакетів ультразвукових коливань, що направляються одночасно по потоку і проти нього (частотні витратоміри);

- безпосереднє вимірювання різниці часу проходження коротких імпульсів, що направляються по потоку і проти нього (часово-імпульсні витратоміри).

Крім цього, ультразвукові витратоміри діляться на: однопроменеві чи одноканальні та двопроменеві чи двоканальні. В першому випадку є тільки два п'єзоелементи, кожен із яких по черзі є випромінюючим і приймальним, в другому — чотири п'єзоелементи, із яких два є випромінюючими, а два — приймальними, що утворюють два незалежні канали передавання

ультразвукових коливань. Фазові витратоміри виготовляються як однопроменеві, так і двопробеневі. Частотні і часово-імпульсні зазвичай бувають двопробеневими.

Зустрічаються також перетворювачі контактні і неконтактні залежно від того, доторкається п'єзоелемент чи його мембрана до газу чи ні. До і після місця установки п'єзоелементів ділянки трубопроводів повинні бути прямими.

Перетворювач ультразвукового лічильника складається із відрізка труби, на якому установлені два чи чотири п'єзоелементи.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики ультразвукових лічильників

№ п/п	Назва параметра	Нормоване значення для виконань і типорозмірів
		G4(E6)
1.	Номінальна об'ємна витрата, м ³ /год	4
2.	Максимальна об'ємна витрата, м ³ /год	6
3.	Мінімальна об'ємна витрата, м ³ /год	0.04
4.	Діапазон робочих температур, °С	-40...+50
5.	Максимальний робочий надлишковий тиск, кПа	25
6.	Ціна одиниці молодшого розряду, м ³	0.0001
7.	Межі допустимої відносної похибки, % :	
	- від Q _{min} до 0.1Q _{max}	±3
	- від 0.1Q _{max} до Q _{max}	±1.5
8.	Діаметр умовного проходу, мм	20
9.	Ємність відлікового пристрою, м ³	99999.998
10.	Маса, кг	1.9
11.	Об'єм вимірювальної камери, дм ³	1.2
12.	Поріг чутливості, м ³ /год	0.005

При обліку газу найчастіше застосовуються ультразвукові лічильники, принцип дії яких ґрунтується на вимірюванні часу проходження ультразвукового сигналу за і проти потоку. Для покращання характеристик використовують не одну пару випромінювач-приймач, а кілька.

Похибки ультразвукових лічильників визначаються перш за все несиметричністю профілю швидкостей потоку по діаметру трубопроводу, наявністю домішок в потоці, які спотворюють ультразвукові коливання.

Виробниками даних лічильників являються наступні підприємства:

- ДНВП «Укрспецтехніка» (м.Київ);
- ПП «СОФІЯ» (м.Івано-Франківськ);
- ПП «Укртехсервіс» (м.Єнакієве, Донецька область).

Основні техніко-метрологічні характеристики наведені в таблиці 1.3 [2].

1.2 Сучасний стан метрологічного забезпечення побутових лічильників газу

1.2.1 Нормативне забезпечення

Метрологічне забезпечення – установлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, необхідних для досягнення єдності і потрібної точності вимірювань. Метрологічне забезпечення складається із наукової, законодавчої, нормативної, технічної та організаційної основ [7].

Законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закони України, Декрети і постанови Кабінету Міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань.

Нормативною основою метрологічного забезпечення є державні стандарти та інші документи державної системи забезпечення єдності вимірювань (ДСВ), відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки і рекомендації, які регламентують єдину номенклатуру, способи подання та оцінювання метрологічних характеристик, правила

стандартизації й атестації засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), вимоги до проведення державних випробувань, перевірки, ревізії та експертизи ЗВТ.

Повірка побутових лічильників газу регламентується відповідно наступних нормативних документів та стандартів [7]-[10]:

- Закон України “Про метрологію та метрологічну діяльність”;

- ДСТУ 3336 - 98 Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги;

- ДСТУ 3607-97 Лічильники газу побутові . Правила приймання та методи випробувань;

- ДСТУ 3383 - 96 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу;

- Р50-071-98 - Лічильники газу побутові , методи та засоби повірки;

Також набули чинності нові європейські стандарти [12]-[13]:

- ДСТУ EN 12480:2006 Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови.

- ДСТУ EN 1359:2006 лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови.

Дані стандарти , закони та нормативна документація обов'язкові до застосування у всіх сферах виробництва , комунальної власності та побуту.

Відповідно до закону “Про метрологію та метрологічну діяльність” лічильники – це засоби вимірювальної техніки, повірка яких проводиться територіальними органами, уповноваженими на її проведення. У разі якщо територіальні органи через відсутність відповідних еталонів не можуть провести повірку окремих типів засобів вимірювальної техніки, повірка цих засобів проводиться метрологічними центрами, уповноваженими на її проведення.

Повірку засобів вимірювальної техніки під час експлуатації та випуску з виробництва і ремонту можуть виконувати повірочні лабораторії підприємств і організацій, уповноважені на її проведення. Повірка проводиться працівниками цих лабораторій, атестованими як повірники у порядку, встановленому нормативно-правовим актом ЦОВМ [7].

Однак існує ряд проблем, які відіграють важливу роль в забезпеченні процесу повірки побутового лічильника газу. Зокрема повірка побутових лічильників газу здійснюється на повірочних стендах, робочим середовищем

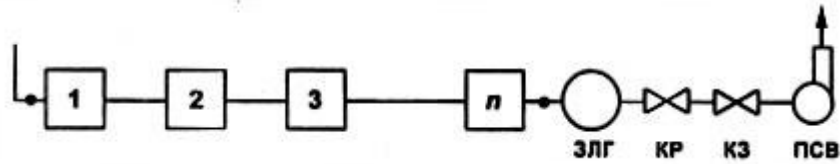
яких є повітря. Цей факт дає підстави вважати, що характеристики лічильника під час повірки можуть суттєво відрізнятись від реальних значень, виміряних лічильником на місці експлуатації. Ще однією проблемою є можлива зміна метрологічних характеристик під час транспортування а також закінчення терміну експлуатації побутових лічильників, який складає 20 років. Важливим є той факт, що не проводиться діагностування лічильників на місці експлуатації, що би дало змогу контролювати його метрологічні характеристики в робочих умовах.

1.2.2 Повірочні установки та їх можливість експрес-контролю

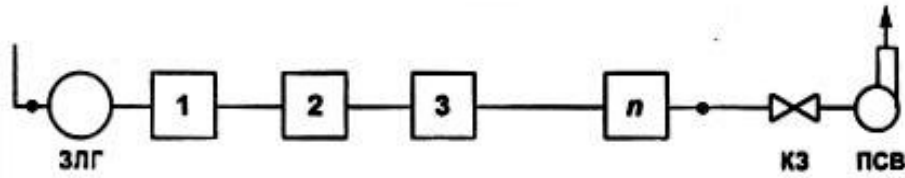
Для технічного діагностування та повірки побутових лічильників газу використовуються наступні схеми повірочних установок [11]:

- повірочні установки, що виконані на базі зразкових лічильників газу (рис. 1.4 а,б);
- повірочні установки з використанням мікросопел (рис.1.4 в);
- повірочні установки дзвонового типу (рис.1.4 г);
- повірочні установки трубопоршневого типу (рис.1.4д).

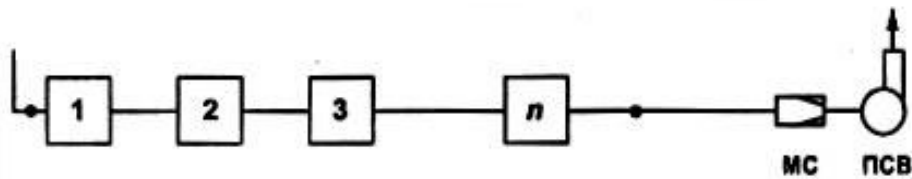
Умовні позначення: 1,2,3...n - Порядковий номер лічильника; КР, КЗ – крани запірний та регулюючий; ЗЛГ – зразковий лічильник газу; МС – мікросопло; ДВ – дзвонова установка; ТПУ – трубопоршенева установка; ПСВ – пристрій створення витрати (розрідження); ● – місця виміру температури та тиску.



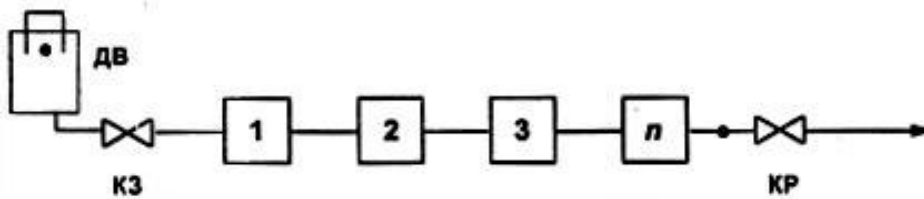
а) повірочна установка зі зразковим лічильником газу, що розташований після лічильника;



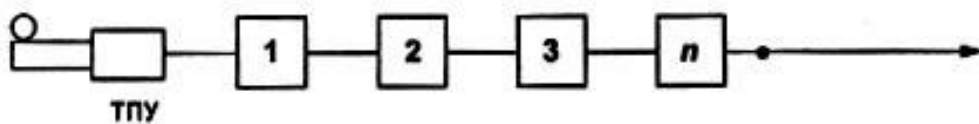
б) повірочна установка зі зразковим лічильником газу, що розташований перед лічильником;



в) повірочна установки з використанням мікроскопел;



г) повірочна установка дзвонового типу;



д) повірочна установка трубо поршневого типу;

Рисунок 1.4 Схеми повірочних установок

1.2.3 Дзвонові еталонні установки

Еталонні установки на базі дзвонових мірників є загальновизнаним метрологічним засобом для вимірювання об'єму і витрати газу [14]. Основним вузлом дзвонових еталонних установок, є мірник. Він містить дзвін, який своєю

нижньою частиною занурений в ємність з рідиною, що має назву витіснювача. У підготовчий період випробування здійснюється подача газу під дзвін від стороннього джерела витрати, завдяки чому дзвін підіймається. Після наповнення мірника до необхідного об'єму трубопровід подачі газу перекривають. При відкритті запірної пристрою в трубопроводі, що сполучає піддзвоновий простір з досліджуваним приладом, починається витіснення газу з-під дзвона через досліджуваний прилад. Об'єм газу, що витісняється, відлічується з контрольної лінійки. Після цього запірний пристрій закривають. За різницею показів відлікового пристрою ДП і відомому об'єму газу V_E який переданий від ЕУ до ДП, визначають відносну похибку лічильника δ_L за формулою:

$$\delta_L = \frac{V_L - V_E}{V_E} \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

де V_L – об'єм повітря, виміряний лічильником.

1.2.4 Поршневі еталонні установки

Поршневі еталонні установки реалізуються як неперервно-циклічні, так і дискретно-динамічні. Їх принцип дії полягає у виділенні з потоку робочого середовища контрольного об'єму газу за допомогою поршневого розділювача і детекторів, розміщених на каліброваному вимірювальному трубопроводі (ВТ). При випробуванні досліджуваного приладу здійснюють збір вимірювальної інформації з нього за період проходження поршневим розділювачем від одного детектора до іншого. При цьому вимірюваний контрольний об'єм газу рівний каліброваному об'єму вимірюваного трубопроводу між двома детекторами, а досліджуваний прилад монтується послідовно з вимірюваним трубопроводом.

Діапазон усереднених значень об'ємної витрати газу складає $0,001 \dots 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$ ($3,6 \dots 54 \text{ м}^3/\text{год}$). Відтворення одиниці витрати забезпечується з СКВ результату вимірювань не більш 8×10^{-4} при НСП $5 \cdot 10^{-4}$. Поряд з цим установка дозволяє відтворювати лише порівняно незначні витрати газу. На

основі цієї установки була реалізована загальносоюзна повірочна схема для засобів вимірювання об'ємної витрати газу в діапазоні $(1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^2)$ м³/с [15].

У числі переваг поршневих еталонних установок є можливість функціонування при високих тисках і реальних середовищах. Поряд з цим їм властиве зниження точності при відтворенні малих витрат внаслідок зростання перетоків газу між рухомим ПР і стінкою ВТ, що обмежує нижні межі вимірювання таких еталонних засобів.

1.2.5 Еталонні установки неперервної дії

Соплові еталонні установки базуються на вимірюванні витрати газу індивідуально градуйованими соплами або діафрагмами і порівнянні їх показів з результатами вимірювання витрати цього ж потоку досліджуваного приладу [16]. Такі еталонні засоби застосовуються внаслідок простоти конструкції і можливості проведення випробувань приладів за реальних умов при великих витратах і статичних тисках. Найбільш поширені схеми еталонних установок з соплами, що містять джерело витрати, за допомогою якого створюється потік газу через досліджуваний прилад, величина якого регулюється задавачем і вимірюється одним або декількома паралельно під'єднаними соплами.

Безумовною перевагою всіх еталонних установок неперервної дії є простота, необмежена тривалість вимірювального циклу і можливість повірки багаточисельного парку побутових і промислових лічильників газу. Серед найбільш суттєвих недоліків є недостатня точність для створення ЕУ вищої точності.

1.2.6 Еталонні установки виконані на базі зразкових лічильників газу

Принцип дії еталонних установок, виконаних на базі зразкових лічильників газу, базується на безпосередньому звіренні показів повірюваного лічильника з показами зразкових, попередньо проградуйованих, лічильників газу [14].

Дані установки забезпечують одночасну перевірку побутових роторних та мембранних лічильників газу типорозмірів G1,5, G2,5, G4 – до 10 штук .
Номінальні значення об'ємних витрат: Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} .

Діапазон вимірювальної витрати складає від 0,100 до 250 м³/год.

В склад установки входять ряд еталонних лічильників роторного типу, еталонний лічильник барабанного типу, еталонний лічильник турбінного типу.

Перевірка лічильників на установці проводиться з використанням високочастотних та низькочастотних давачів, а також безпосередньо за показами зразкових лічильників. Установка змонтована на єдиному стенді та обладнана ЕОМ.

1.3 Аналіз експрес-контролю побутових лічильників газу

На сьогоднішній день перевірка метрологічних характеристик побутових лічильників газу виконується методом демонтажу лічильника , та подальше направлення його в органи Держспоживстандарту [7]. Даний факт являє собою трудомістку та складну операцію , що вимагає залучення робочого персоналу , спеціального обладнання та в кінці-кінців створює незручності самому власнику побутового лічильника газу.

Експрес-контроль передбачає процедуру бездемонтажного діагностування метрологічних характеристик побутового лічильника газу , шляхом послідовного під'єднання діагностуваного пристрою [17].

Виконання експрес-контролю побутових лічильників газу значною мірою спрощує процедуру перевірки метрологічних характеристик а також зменшує незручності , пов'язані з демонтажем лічильника.

Обслуговування і експрес-контроль побутових лічильників здійснюють підприємства і організації, які одержали в адміністративному порядку дозвіл на проведення цих робіт.

Методика експрес-контролю передбачає виконання наступних операцій:

- підготовка роботи;
- зовнішній огляд;

- перевірка герметичності кожної магістралі і лічильника;
- контроль працездатності лічильника;
- визначення дійсного відхилення результатів вимірювання об'єму газу.

При проведенні експрес-контролю повинні дотримуватись такі умови:

- атмосферний тиск від 80 до 105 кПа;
- відносна вологість навколишнього повітря до 80%;
- температура навколишнього середовища від 0 до 25 С;
- робоче середовище - природній газ або пари зрідженого газу;
- надлишковий тиск до 3.0кПа.

Перед проведенням експрес-контролю необхідно перевірити відсутність загазованості приміщень, де встановлені газовий лічильник і газовий прилад, за допомогою газоаналізатора. При зовнішньому огляді лічильника, що перевіряється, повинні бути дотримані такі вимоги: таврування лічильника повинно бути чітким; скло повинно бути чистим і прозорим; цифри на відліковому механізмі повинні легко зчитуватись.

Лічильник повинен мати тавро про державну повірку, мати пломби в місцях відповідного пристрою та вимірювального механізму. Лічильник не повинен мати механічних пошкоджень, які впливають на його працездатність.

Після цього здійснюється збирання схеми для проведення експрес-контролю ПЛГ. При цьому використовується штуцер, який встановлюється на вході контрольного для задання витрати газу, яка спалюється інвентарним пальником. Висновки про результат контролю повинні бути занесені до протоколу.

Далі перевіряється герметичність з'єднань виконується шляхом нанесення водяного розчину стійкої мильної піни на всі роз'ємні з'єднання від крану перед лічильником, що перевіряється, до кранів газового пальника, інших газових приладів.

При контролі лічильника перевіряється його функціонування на режимах. На першому запалюється один пальник газової плити і зменшується подача газу краном цього пальника до мінімальної витрати, на другому запалюються всі

пальники газової плити. При випробуванні візуально встановлюється, чи ролики відлікового пристрою приладу обертаються рівномірно. Покази відлікового механізму повинні зрости, робота лічильника повинна проходити без стороннього шуму.

Потім визначаючи відносне відхилення результатів вимірювання об'єму. З цією метою залежності від типів лічильника, що перевіряється, визначають величину об'ємних витрат газу $2Q_{\min}$ (дм³/год), при яких проводяться визначення відносного відхилення результатів вимірювань об'єму, а також об'єм газу який треба пропустити через контрольний лічильник V_k (дм³/год).

Далі встановлюють потрібне положення крану газового пальника для забезпечення об'ємної витрати газу $2Q_{\min}$.

$$Q = \frac{V_k^{\text{кін}} - V_k^{\text{поч}}}{T} \cdot 3600, \quad (1.10)$$

де $V_k^{\text{кін}}$ - покази кінцеві контрольного лічильника, дм³; $V_k^{\text{поч}}$ - покази початкової контрольного лічильника, дм³; T - час, за який змінились покази від $V_k^{\text{кін}}$ до $V_k^{\text{поч}}$.

До початку показів контрольного лічильника $V_k^{\text{поч}}$ додається значення контрольного об'єму V_k і одержується кінцеве значення показів контрольного лічильника: $V_k^{\text{кін}}$, при якому буде потрібно припинити вимірювання при конкретній витраті газу. Значення $V_k^{\text{кін}}$ вносять до протоколу.

Відносне відхилення, в процесах, результатів вимірювань об'єму газу лічильником, що перевіряється, визначається за формулою:

$$\delta = \frac{V_n - V_k}{V_k} \cdot 100, \quad (1.11)$$

Границі відносного відхилення результатів вимірювання об'єму газу лічильником, що перевіряється, встановлені данною інструкцією $= \pm 10\%$.

Однак дана схема, являє собою складний технологічний виріб та не знайшла свого застосування, через складність виконання та градування вимірювальних камер.

1.4 Постановка завдання на магістерську роботу

Враховуючи, що в сучасних умовах України необхідно заощаджувати усі види енергоносіїв, дуже актуальним і необхідним для впровадження є питання розробки газозаощаджувальних технологій і методик, які дозволяють економити і раціонально застосовувати всі види енергоносіїв одним з яких є газ. Одним із шляхів практичної реалізації може бути, дотримання на належному рівні метрологічних характеристик побутових лічильників. При цьому цей контроль повинен здійснюватись не періодично з інтервалом один в п'ять років, що передбачено діючим нормативно технічним документом на перевірку побутових лічильників газу [8] а значно частіше, наприклад, це підтверджують результати діагностування. Згідно досліджень метрологічні характеристики 25% побутових лічильників газу, що знаходяться в експлуатації, не відповідають діючим нормативно технічним документам. Це вказує на наявність проблем з оцінкою фактичних метрологічних характеристик побутових лічильників газу. Необхідно розробити методику, яка би пов'язувала реальну експлуатаційну точність побутових лічильників газу з визначенням експериментальним шляхом похибками на фіксованих регламентованих інструкцією [17] значеннях витрат. При цьому реальна експлуатаційна точність побутових лічильників газу повинна корелювати з фактичним експлуатаційними режимами побутових лічильників газу, тобто перш за все відображати, наприклад, середнє зважене значення витратних режимів побутових лічильників газу. Задачами на магістерську роботу буде:

- розробка теоретичних основ практичної реалізації методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу на місці експлуатації;

- розробка методики для бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу на місці експлуатації;

- розробка принципової схеми практичної реалізації пристрою на базі розробленої методики бездемонтажного експрес-контролю;

- проведення метрологічного аналізу розробленої методики бездемонтажного експрес-контролю;
- розробка метрологічного забезпечення для практичної реалізації методики;
- конструювання окремих вузлів і пристроїв обладнання для технічної реалізації розробленої методики побутових лічильників газу.

2 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ БЕЗДЕМОНТАЖНОГО ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

2.1 Теоретичні основи розроблення методики бездемонтажного експрес-контролю

2.1.1 Теоретичне моделювання втрат тиску

Можливість достовірного розрахунку параметрів потоку газу в трубопроводах має важливе значення при експлуатації різноманітних газопостачальних і газоспоживних об'єктів. Саме зміна тиску і температури газу, в залежності від геометричних розмірів будинкових газопроводів та параметрів навколишнього середовища проходження газопроводу, є одним із важливих моментів в питаннях підвищення точності обліку природного газу, в комунально-побутовій сфері.

Теоретичне моделювання втрат тиску газу здійснюється за умов наявності в трубопроводі ламінарного, перехідного і турбулентного режимів течії. При цьому використовувалися відомі апроксимаційні залежності [18-20] для різних видів гідравлічних опорів.

Втрати тиску на тертя в трубі $\Delta p_{\text{тр}}$ можна визначити за формулою [18]:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.1)$$

де l – довжина досліджуваної ділянки труби, мм; D – внутрішній діаметр труби, мм; ρ – густина робочого середовища, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; v – швидкість руху робочого середовища, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\lambda_{\text{тр}}$ – коефіцієнт опору одиниці відносної довжини ділянки труби.

Значення коефіцієнта $\lambda_{\text{тр}}$ залежить від числа Рейнольдса Re , шорсткості внутрішніх стінок труби Δ і внутрішнього діаметра D труби наступним чином:

$$\lambda_{\text{тр}} = \begin{cases} \frac{64}{Re} & \text{при } Re \leq 2000, \\ \frac{1}{(1.8 \lg Re - 1.64)^2} & \text{при } 2000 \leq Re \leq 4000, \\ \frac{0.3164}{Re^{0.25}} & \text{при } 4000 \leq Re \leq 10 \frac{D}{\Delta}, \\ 0.11 \left(\frac{\Delta}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} & \text{при } 10 \frac{D}{\Delta} \leq Re \leq 560 \frac{D}{\Delta}, \\ 0.11 \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0.25} & \text{при } Re > 560 \frac{D}{\Delta}. \end{cases} \quad (2.2)$$

Для визначення втрат тиску $\Delta p_{\text{гш}}$ на тертя в гумовому гнучкому шлангу приймемо, що його коефіцієнт опору $\lambda_{\text{гш}}$ буде відповідати умовам протікання потоку у гладкостінних трубах. Тому втрати тиску можуть бути розраховані за формулою (1), а значення $\lambda_{\text{гш}}$ - визначається наступними формулами [20]:

$$\lambda_{\text{гш}} = \begin{cases} \frac{64}{Re} & \text{при } Re \leq 2000, \\ \frac{0.3164}{Re^{0.25}} & \text{при } 2000 \leq Re \leq 4000, \\ \frac{1}{(1.8 \lg Re - 1.64)^2}, & \text{при } Re > 4000. \end{cases} \quad (2.3)$$

Втрати тиску на опір згину труби визначається за формулою [19]:

$$\Delta p_{\text{зг}} = 0.017 \lambda_{\text{зг}} \delta^{\circ} \frac{R}{D} \cdot \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2.4)$$

де $\Delta p_{\text{зг}}$ - втрати тиску на опір одного коліна, Па; δ° – кут згину труби, $^{\circ}$; R – радіус згину труби, мм; $\lambda_{\text{зг}}$ - коефіцієнт опору одного згину труби на 90° .

При цьому значення коефіцієнта $\lambda_{\text{зг}}$ визначається наступним чином [20]:

$$\lambda_{\text{зг}} = \begin{cases} \frac{20}{Re^{0.65}} k^{0.175} & \text{при } 50 < Re \sqrt{k} \leq 600, \\ \frac{10.4}{Re^{0.55}} k^{0.225} & \text{при } 600 < Re \sqrt{k} \leq 1400, \\ \frac{5}{Re^{0.45}} k^{0.275} & \text{при } 1400 < Re \sqrt{k} \leq 5000. \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\text{де} \quad k = \frac{D}{2R'}, \quad (2.6)$$

- параметр геометричної форми згину.

З урахуванням конкретної форми внутрішнього поперечного перерізу гумового гнучкого шланга розрахунок втрат тиску на ньому повинен передбачати обчислення втрат на окремих місцевих опорах, зокрема, на переході від внутрішнього діаметру сталеві труби 16мм до 6мм у місці затискання кріплення штуцера шланга і перехід від цієї ділянки до фактичного значення діаметру 9мм гумового шланга, а також наступний зворотний перехід, тобто від 9мм до 6мм і далі до 16мм. Тому втрати тиску при звуженні потоку $\Delta p_{зв}$ визначаються за формулою [19]:

$$\Delta p_{зв} = \xi_{мзв} \frac{\rho v^2}{2} \quad (2.7)$$

де $\xi_{мзв}$ - коефіцієнт місцевого гідравлічного опору при звуженні потоку.

Значення $\xi_{мзв}$ при $Re < 10^4$ вибираються з діаграми [20], а при $Re \geq 10^4$ розраховуються за формулою Борда-Карно [20]:

$$\xi_{мзв} = 0.5 \cdot \left(\frac{1-F_1}{F} \right)^2, \quad (2.8)$$

де F, F_1 – площі поперечного перерізу ділянки до і після звуження труби відповідно.

Втрати тиску $\Delta p_{мрш}$ ділянці розширення визначається за формулою (2.1). Значення $\xi_{мрш}$ при $Re < 3,3 \cdot 10^3$ вибираються з діаграми [20], а при $Re \geq 3,3 \cdot 10^3$ розраховуються за формулою Борда-Карно [20]

$$\xi_{мрш} = \left(\frac{1-F_2}{F} \right)^2, \quad (2.9)$$

де F_2, F – площі поперечного перерізу ділянки до і після розширення труби відповідно.

На базі алгоритму (2.1)-(2.9) здійснене теоретичне моделювання втрат тиску для умов експериментальної установки, що відображено пунктирними лініями (див. лист МР.ІПО.МТТм-02.00.00.001) для різних типів місцевих опорів.

Обчислення числа Re здійснювалося за відомою формулою [20]:

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D \mu}, \quad (2.10)$$

де μ - коефіцієнт динамічної в'язкості повітря; Q – витрата, м³/год.

З врахуванням умов проведення експериментальних досліджень, які відповідали надлишковому тиску повітря 2,5 кПа, температурі 200°C і відповідному розрахованому значенню витрати в м³/год. для сталеві труби з внутрішнім діаметром 16 мм, можна подати такий спрощений вираз для взаємозв'язку витрати газу і числа Рейнольдса:

$$Q = 0,000696 \times Re, \quad (2.11)$$

Результати фізичного моделювання, зображені в таблиці. 2.1

Таблиця 2.1 – Результати фізичного моделювання втрат тиску в будинкових газопроводах

Вид ділянки трубопроводу	Вид апроксимаційної залежності	Достовірність апроксимації
Прямолінійна (втрати тиску на 1м довжини)	$\Delta p(Re) = 8 \cdot 10^{-7} Re^2 + 0,0038 Re - 2,9869$	0,9965
	$\Delta p(Re) = 5,4079 e^{0,0003 Re}$	0,8804
	$\Delta p(Q) = 1,7245 Q^2 + 5,4997 Q - 2,9869$	0,9965
	$\Delta p(Q) = 5,4079 e^{0,4336 Q}$	0,8804
Згин на 90 ⁰	$\Delta p(Re) = 10^{-7} Re^2 + 0,0008 Re + 0,051$	0,9923
	$\Delta p(Re) = 0,807 e^{0,0003 Re}$	0,6532
	$\Delta p(Q) = 0,2124 Q^2 + 1,2056 Q + 0,051$	0,9923
	$\Delta p(Q) = 0,807 e^{0,4515 Q}$	0,6532
Гнучкий гумовий шланг з двома приєднувальними штуцерами (довжина шланга 2м)	$\Delta p(Re) = 2 \cdot 10^{-5} Re^2 + 0,1843 Re - 95,323$	0,9897
	$\Delta p(Re) = 78,224 e^{0,0004 Re}$	0,8145
	$\Delta p(Q) = 102,97 Q^2 + 470,93 Q - 95,323$	0,9897
	$\Delta p(Q) = 78,224 e^{1,0681 Q}$	0,8145

Аналогічні до формули (2.11) вирази можна отримати для діаметрів інших ділянок трубопроводу експериментальної установки, а також для інших

параметрів тиску і температури робочого середовища з врахуванням виразу (2.10).

2.1.2 Теоретичне моделювання зміни температури

В загальному випадку зміну температури газу при його протіканні трубопроводом визначають дві складові: дроселювання потоку і теплообмін газу з навколишнім середовищем.

При протіканні газового потоку вздовж трубопроводу, а також під час зміни діаметру внутрішнього перерізу труби (ефект Джоуля-Томсона), внаслідок якого зміна температури газу зумовлена зміною його тиску:

$$dT = D_h dp, \quad (2.12)$$

де dT і dp – зміна температури і тиску відповідно; D_h – коефіцієнт Джоуля-Томсона.

Математичне моделювання для параметрів будинкової газової мережі і побутових величин витрат газу показало, що зміна температури внаслідок дроселювання є мізерно малою (до 0,05К), тому цією складовою можна знехтувати [21].

Для визначення зміни температури газу в трубі внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем використано вираз який виведений на базі формули Шухова.

$$\Delta T = \Delta T_0 \left(1 - e^{-\frac{4k}{w\rho d c_p} L} \right), \quad (2.13)$$

де ΔT , – різниця між кінцевим і початковим значення температури ділянки довжиною L , °К; ΔT_0 – різниця між температурою оточуючого середовища і початковою температурою газу, °К; w – швидкість руху газу, м/с; ρ – густина газу, кг/м³; d – внутрішній діаметр трубопроводу, мм; c_p – питома теплоємність газу, Дж/(кг*К); k – коефіцієнт теплопередачі від потоку газу в навколишнє середовище.

Результати моделювання зображені у вигляді графічних залежностей (див. аркуш МР.ІПО.МТТм-02.00.00.003).

2.2 Розроблення методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу

Розроблювана методика належить до витратовиміральної галузі та метрології і може бути використана для експрес-контролю та перевірки побутових лічильників газу (ПЛГ).

Відомий спосіб перевірки побутових лічильників газу, який передбачає застосування для перевірки однієї із чотирьох типів повірочних установок: на базі зразкових лічильників газу, з використанням мікросопел, з використанням дзвонової установки і з використанням трубопоршневої установки [11].

Однією із умов практичної реалізації цього способу є визначення метрологічних характеристик побутових лічильників газу шляхом пропускання через них певного об'єму повітря за об'ємних витрат, номінальне значення яких повинне становити Q_{\min} , $0,2Q_{\max}$, Q_{\max} (де Q_{\min} і Q_{\max} - відповідають мінімальній і максимальній об'ємній витраті робочого діапазону побутових лічильників газу). При цьому визначають відносну похибку лічильників шляхом порівняння об'ємів повітря, які виміряні лічильником та зразковим (еталонним) засобом виміральної техніки. Проте, незважаючи на простоту даного способу, найбільш суттєвим його недоліком є проведення перевірки побутових лічильників газу з застосуванням робочого середовища повітря, а не реального природного газу, для обліку якого призначені побутові лічильники газу. Крім того, при демонтажі і транспортуванні побутових лічильників газу до повірочної установки їх метрологічні характеристики можуть суттєво змінитися внаслідок як додаткового очищення при попередньому промиванні перед перевіркою, так і внаслідок дії транспортної тряски або взагалі внаслідок зміни положення побутових лічильників газу при експлуатації і при перевірці. Тому цей спосіб характеризується недостатньою достовірністю перевірки метрологічних характеристик побутових лічильників газу і принципово не може бути застосований для експрес-контролю стану побутових лічильників газу в експлуатаційних умовах безпосередньо у газоспоживачів.

Поставлена задача розробки нового способу експрес-контролю та перевірки побутових лічильників газу шляхом визначення зміни фактичних метрологічних характеристик побутових лічильників газу безпосередньо на діючій лінії газопостачання, що дозволяє виявляти несправності приладу в експлуатаційних умовах і одночасно забезпечує можливість перевірки їх метрологічних характеристик безпосередньо у газоспоживача.

Поставлена задача вирішується тим, що порівнюють величину об'єму газу відміряного побутовим лічильником газу з об'ємом газу, який розрахований за результатами вимірювань проградуйованого спеціального звужувального пристрою, причому значення параметрів тиску і температури газу перед звужувальним пристроєм розраховують шляхом їх вимірювання на побутовому лічильнику газу з наступним приведенням до умов звужувального пристрою згідно заданої витрати і технологічних параметрів з'єднувальних трубопроводів між побутовим лічильником газу і звужувальним пристроєм [22].

Застосування методу опосередкованого вимірювання витрати за допомогою спеціального звужувального пристрою, вмонтованого у пальнику газоспоживного апарату дає можливість розрахувати витрату природного газу, який протікає через побутовий лічильник газу і подається до газоспоживача. Попереднє проведення градування звужувального пристрою на еталонній установці забезпечує можливість його використання як еталонного вимірювального засобу і визначення похибки побутових лічильників газу шляхом порівняння його показів з об'ємом газу, який розрахований за допомогою спеціального звужувального пристрою в комплекті з технічними засобами, які вимірюють параметри природного газу.

Застосування при експрес-контролі і перевірці побутових лічильників газу коригування тиску і температури природного газу до умов вимірювання витрати звужувальним пристроєм в залежності від значення витрати і параметрів з'єднувальних трубопроводів між побутових лічильників газу і звужувальним пристроєм пальника газу споживача дозволяє відмовитись від безпосереднього вимірювання параметрів природного газу перед звужувальним пристроєм і

дозволяє використовувати параметри природного газу, які вимірюють безпосереднього в умовах експлуатації побутових лічильників газу. Такий підхід водночас дозволяє приводити результати опосередкованого вимірювання витрати і об'єму газу до умов вимірювання об'єму побутовим лічильником.

Можливість використання різних типорозмірів звужувальних пристроїв забезпечує відтворення і вимірювання витрати природного газу для різних значень витрат, тобто як в діапазоні мінімальних і менших витрат (режим експрес-контролю побутових лічильників газу), так і в діапазоні від мінімальних до середніх і максимальних витрат (перевірка метрологічних характеристик побутових лічильників газу).

Спосіб експрес-контролю здійснюють таким чином.

Спочатку із пальника газоспоживчого апарату викручують існуючий дроселюючий пристрій (сопло) або цілком знімають пальник. В залежності від вибраного значення досліджуваної витрати, наприклад мінімальної, вибирають необхідний попередньо проградуєований звужувальний пристрій із їх набору для відтворення різних значень витрат і монтують його у технологічне обладнання газоспоживного апарату. Після цього під'єднують до побутових лічильників газу давачі тиску, температури і густини природного газу, наприклад в місцях технологічного отвору збору вимірювальної інформації для роторних побутових лічильників газу або до попередньо спеціально виготовленого отвору у вихідному патрубку побутового лічильника газу, який після проведення досліджень закривається герметичною гайкою-заглушкою і пломбується. Далі відкривають кран подачі газу до газоспоживача і запалюють пальник. Наступною операцією є проведення візуального або за допомогою спеціального пристрою відліку моментів початку і кінця пропускання контрольного об'єму газу і вимірювання тиску, температури і густини природного газу.

Похибка побутових лічильників газу під час його експрес-контролі або перевірки обчислюється за наступною формулою:

$$\delta = \left(\frac{V}{V_0} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} - 1 \right) \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де V – об’єм газу, виміряний досліджуваним побутовим лічильником газу, м^3 ; V_0 – об’єм газу, розрахований опосередкованим методом з використанням звужувального пристрою, м^3 ; p – значення абсолютного тиску на досліджуваному побутовому лічильнику газу, Па; p_0 – значення абсолютного тиску перед звужуючим пристроєм, Па; T – значення абсолютної температури на досліджуваному побутовому лічильнику газу, $^\circ\text{К}$; T_0 – значення абсолютної температури перед звужуючим пристроєм, $^\circ\text{К}$.

Об’єм природного газу, що проходить через звужувальний пристрій, розраховується за формулою:

$$V_0 = \alpha \varepsilon F_0 \tau \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho_0}}, \quad (2.15)$$

де α - коефіцієнт витрати звужувального пристрою; ε - поправний множник на розширення газу; F_0 – площа отвору звужувального пристрою, мм^2 ; Δp – перепад тиску на звужувальному пристрої, Па; ρ_0 - густина природного газу в робочих умовах звужувального пристрою, $\text{кг}/\text{м}^3$; τ - тривалість пропуску контрольного об’єму газу через побутовий лічильник газу, с.

Далі проводять заміну звужуючого пристрою для відтворення іншої витрати газу, або здійснюють монтаж звужувального пристрою в іншому пальнику газоспоживача або монтують одночасно декілька звужувальних пристроїв в декількох пальниках газоспоживачів і повторюють визначення похибки побутових лічильників газу на іншій витраті газу.

Отримані значення похибок, які розраховані згідно алгоритму (2.14) дають можливість зробити висновок про результати експрес-контролю чи перевірки побутових лічильників газу.

Враховуючи, що дослідження побутових лічильників газу проводять у газоспоживача і за умови застосування реального робочого середовища (природний газ) стає можливим проведення експрес-контролю побутового лічильника газу безпосередньо за реальних умов його функціонування на витратах, які відповідають її мінімальному значенню чи порогу чутливості побутового лічильника газу. При отриманні негативних результатів експрес-контролю чи перевірки стає можливим формулювання висновку щодо

необхідності проведення позачергової перевірки метрологічних характеристик чи повірки побутового лічильника газу, а при отриманні позитивних результатів - формулювання висновку щодо продовження терміну експлуатації побутового лічильника газу до чергової періодичної повірки. Зважаючи на ту обставину, що за рахунок різних типів і типорозмірів звужувальних пристроїв у пальниках газоспоживачів стає можливим визначення метрологічних характеристик на всьому діапазоні вимірюваних витрат побутового лічильника газу запропонований спосіб забезпечує проведення не тільки діагностування, але і перевірку побутових лічильників газу, тобто визначення метрологічних характеристик для всього робочого діапазону.

2.3 Експериментальні дослідження газодинамічних процесів в трубопровідних мережах

Експериментальні дослідження проводились на установці для фізичного моделювання впливу тиску і температури робочого середовища при зміні витрати природного газу в будинкових і квартирних мережах (див. аркуш МР.ПО.МТТм-02.00.00.001 С2). Установка реалізована на базі сталевого трубопроводу з умовним діаметром $D_u=15\text{мм}$ із згинами труби (колін на 90° і 180°) і ділянкою гнучкого трубопроводу з гумово-технічного шлангу, який використовується в побуті для під'єднання газоспоживного обладнання (плити, котли і т.п.).

Джерелом потоку повітря в установці є задавач витрати (поз.2) на базі порохотяга, який відтворює витрати в діапазоні $(0-30)\text{м}^3/\text{год.}$ при максимальному надлишковому тиску на його виході 8кПа . На виході джерела розміщений мембранний ПЛГ типорозміру G6 (позначення FQT), на якому вимірюється тиск і температура повітря (прилади P1 і T1 відповідно). Надлишковий тиск на вході дослідних ділянок установки регулюється за допомогою регулятора витрати (поз.3) з вихідним тиском в діапазоні $(0,5-7)\text{кПа}$, а відтворювана витрата при цьому формується вихідним вентелем (поз.1). На вході дослідної ділянки вимірюються надлишковий тиск і

температура повітря (прилади P11 і T12 відповідно). Криволінійна і прямолінійна ділянки трубопроводу містять спеціальні отвори для під'єднання штуцерів для вимірювання абсолютних значень та перепаду втрат тиску та температури. Відбір даних для вимірювання температури здійснюється за допомогою термодавачів (поз.ТЕ). Виміряні значення можна спрямувати для подальшої обробки на ЕОМ за допомогою роз'ємів (позначення хр1.. хр6).

2.4 Розробка алгоритму функціонування пристрою для експрес-контролю побутових лічильників газу

Алгоритм функціонування схеми для експрес-контролю передбачає використання даних для розрахунку звужуючого пристрою у визначенні метрологічних характеристик побутового лічильника газу, що повіряється. Тобто маючи розрахований звужуючий пристрій ми можемо визначити витрату і тиск на лічильнику.

Це реалізується за допомогою співвідношення [23]:

$$Q_n = 0.2109 \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\frac{(p_1 - p_2) p_1}{\rho_n T_1 Z}}, \quad (2.16)$$

де Q_n – витрата на звужувальному пристрої, м³/год; α – коефіцієнт витрати звужуючого пристрою; ε – поправочний коефіцієнт розширення газу; d – діаметр отвору звужуючого пристрою, мм; $(p_1 - p_2)$ – перепад тиску на звужуючому пристрої, Па; p_1 – абсолютний тиск газу перед звужуючим пристроєм, Па; ρ_n – густина сухого газу при нормальних умовах, кг/м³; T_1 – фактична температура газу, °К; Z – коефіцієнт стискуваності газу.

Знаходимо значення тиску та температури на лічильнику :

$$P = P_{зв.пр.} + \Delta P(Q), \quad (2.17)$$

$$T = T_{зв.пр.} - \Delta T(Q). \quad (2.18)$$

де $P_{зв.пр.}$ – робочий тиск на звужуючому пристрої, Па; $T_{зв.пр.}$ – робоча температура на звужуючому пристрої, °К; $\Delta P(Q)$ – втрати тиску на установці ,знаходяться з формули (2.19); $\Delta T(Q)$ – втрати температури на установці ,знаходяться з формули (2.20).

Знаходимо втрати тиску на установці :

$$\Delta P(Q) = (1.724Q^2 + 5.4997Q - 2.9869) \cdot L + (0.212Q^2 + 1.2056Q + 0.051) \cdot n, \quad (2.19)$$

де Q – робоча витрата на звужуючому пристрої, м³/год; L – довжина трубопроводу, мм; n – кількість згинів трубопроводу.

Для визначення зміни температури газу в трубі внаслідок теплообміну з навколишнім середовищем використано вираз який виведений на базі формули Шухова. (у відповідності з розділом 2.1):

$$\Delta T(Q) = \Delta T_0 \left(1 - e^{-\frac{4k}{w\rho d c_p} L} \right), \quad (2.20)$$

Приводимо об'єм, що є вимірним лічильником, до стандартних умов :

$$V_c = V_n \cdot \frac{P}{P_c} \cdot \frac{T_c}{T} \cdot \frac{1}{z'}, \quad (2.21)$$

де V_n – об'єм, що є вимірним лічильником; P_c – тиск газу в установці за робочих умов, Па; T_c – температура газу в установці за робочих умов, °К;

Знаходимо значення еталонного об'єму :

$$V_e = Q_n \cdot \tau, \quad (2.22)$$

де τ – час проведення повірки

Знаходимо похибку лічильника:

$$\delta_n = \frac{V_c - V_e}{V_e} \cdot 100\%, \quad (2.23)$$

2.5 Проектування пристрою для реалізації методики експрес-контролю побутових лічильників газу

Функціональна схема роботи побутових лічильників газу (див.аркуш МР.ПО.МТТм-02.00.00.004) зображена на базі технологічних об'єктів газоспоживання з засобом обліку (ПЛГ). Газ в мережі газопровода низького тиску (ГЗНТ) поступає через пристрій перемикання потоку (ППП) через побутовий лічильник газу (ПЛГ) до газоспоживачів (ГС1, ГС2, ГС3),

газоспоживачі показані у вигляді двох виконань: (ГС-1) умовно зображує газову плитку, з п'ятьма пальниками, а (ГС-2, ГС-3) – газові печі, кожна з яких має по одному пальнику. При експрес-контролі (ПЛГ) який на схемі зображений у вигляді ротаційного перетворювача витрати газу (РПВГ) і відлікового механізму (ВМ) газ переходить від (ГЗНТ) через (ППП) який технологічно вставляється замість замість запірною крана, який є в лінії перед (ПЛГ). (ППП) – призначений для створення умов відбору інформації про параметри стану газу перед (ПЛГ), що здійснюється без додаткової конструктивної переробки газопроводу. Реально (ППП) входить у склад вузла відбору інформації (ВВІ), який має також камеру вимірювальну (КВ) з двома лініями подачі і відбору газу, кожна з яких перекривається вентилями запірними (ВЗ1, ВЗ2), тому при експрес-контролі газу від (ГЗНТ) поступає до первинної камери (ППП), потім до камери вимірювальної і далі через вторинну камеру (ППП) на (ПЛГ). на схемі в зоні газоспоживачів (ГС) замість газових пальників показані пристрої еталонного обліку газу – циліндричні сопла (ЦС). До засобів збору інформації з (ПЛГ) відносяться відліковий механізм, до якого під'єднаний первинний перетворювач (поз.1а) кількості обертів роторів перетворювача (РПВГ), лічильник імпульсів з (ПЛГ) (поз.1б), термометр (поз.5б) з термоперетворювачем (поз.5а) і манометр (поз.6а) з кожного з газоспоживачів також здійснюється збір інформації про температуру і тиск газу на вході газоспоживачів. Це відповідно термометри (7б, 9б, 11б) і манометри (8а, 10а, 12а). Функціональна схема також містить блок управління тривалістю експрес-контролю (БУТД), який формує команди початку і кінця відліків лічильником (поз.1б) і початку і кінця відліку часу хронометром (поз.2а). Для контролю за температурою навколишнього середовища застосовується термометр (поз.3б) з термоперетворювачем (поз.3а) і барометром (поз.4а).

Суть експрес-контролю зводиться до відліку інформації з приладів які описані вище, вводу ручним способом даних в ЕОМ і розрахунку похибки (ПЛГ). При експрес-контролі може бути використано одночасно одне або декілька циліндричних сопел.

2.6 Розрахунок контрольної дози газу і тривалості часу дослідження

Контрольна доза газу яка має бути пропущена через побутовий лічильник газу і одночасно відлічена циліндричним соплом визначається конструктивними особливостями як самого відлікового механізму так і первинного перетворювача збору імпульсів з цього відлікового механізму.

Контрольна доза повинна бути такою, щоб забезпечити мінімально необхідну похибку від дискретності відліку. Похибка дискретності, може бути визначена за формулою:

$$\Delta_d = \left(\frac{S_i}{V_r} \right), \quad (2.24)$$

де Δ_d – відносна похибка дискретності; S_i – ціна інформаційного імпульсу, який надходить від випробуваного приладу; V_k – контрольний об'єм газу, який вимірюється через випробувальний прилад.

З формули (2.24) випливає умова для визначення мінімального і в той же час достатнього значення контрольного об'єму газу в залежності від конструктивного виконання перетворювача вимірюваної інформації. Ця умова може бути покладена в основу оптимізації випробувального цикла установки. Критерієм може служити мінімум затрат часу на градування або повірку приладів. Таким чином, вираз для визначення оптимального значення контрольного об'єму може бути представлено в вигляді:

$$V_{\text{опт}} = \left(\frac{S_i}{\Delta_d} \right) \cdot 100 \%, \quad (2.25)$$

де $V_{\text{опт}}$ – оптимальний контрольний об'єм газу.

Тривалість часу експрес-контролю розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{V_{\text{опт}}}{Q_{\text{ді}}}, \quad (2.26)$$

де $V_{\text{опт}}$ – об'єм дози розрахованим згідно з рівнянням (2.24), в нашому випадку $V_{\text{опт}}=0,05 \text{ м}^3$; $Q_{\text{ді}}$ – значення витрат на яких випробовують побутових лічильників газу.

З цього видно, що тривалість дослідження буде зменшуватись із збільшенням витрат, але її збільшення може бути безмежне, бо при малих значеннях часу зростає похибка відліку δ_r , тому в кінцевому результаті час повинен бути мінімальний і достатній для забезпечення точності його відліку. Значення розрахованих тривалостей повірки на одній витраті подані в табл.2.2 при умові, що ціна інформаційного імпульсу відповідає реальному конструктивному виконанню побутового лічильника газу і становить $0,00005 \text{ м}^3/\text{год}$ (тобто $S_i = 0,00005$), а $\Delta_d = 0,1\%$.

Таблиця 2.2 – Тривалість часу експрес-контролю

Тип лічильника	Витрати				
	Q_{max}	$0.4 Q_{\text{max}}$	$0.1 Q_{\text{max}}$	Q_{min}	$2 Q_{\text{min}}$
G4	1 хв.	2,5 хв.	10 хв.	30 хв.	15 хв.
G6	36с.	1,5 хв.	6 хв.	20 хв.	10 хв.

Як видно із табл.2.2 тривалість експрес-контролю на мінімальній витраті є хоча із значною (30 і 20 хв.) але її значення є доступним з точки зору логічних міркувань. При цьому тривалість на максимальній витраті є невеликою, а її числове значення в межах (36 і 60 с.) є достатнім для відліку інформації.

2.7 Розрахунок звужуючих пристроїв

Важливою складовою розрахунку установки для експрес-контролю побутових лічильників газу є розрахунок звужуючого пристрою. Даний розрахунок зводиться до визначення діаметра звужуючого пристрою сопла .

Для розрахунку повинні бути задані максимальна, середня і мінімальна витрата, внутрішній діаметр і матеріал вимірювального трубопроводу, діапазон вимірювання тиску і температури , склад газу і його густина при нормальних

умовах, допустимі втрати тиску чи граничний перепад тиску а також барометричний тиск в місці заміру.

Методика розрахунку зводиться до наступного :

- Визначаємо абсолютний тиск перед звужуючим пристроєм p_1 :

$$p_1 = p_{1 \text{ над}} + p_6, \quad (2.27)$$

де $p_{1 \text{ над}}$ – надлишковий тиск перед звужуючим пристроєм, кгс/см²; p_6 – середній атмосферний тиск, кгс/см².

Підставляючи дані в наступну формулу отримаємо:

$$p_1 = 0,025 + 1 = 1,025 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$$

- Визначаємо допоміжний коефіцієнт C :

$$C = \frac{Q_{\text{н.пр}}}{0.2109D^2} \sqrt{\frac{\rho_{\text{н}} T_1 Z}{p_1}}, \quad (2.28)$$

де $Q_{\text{н.пр}}$ - значення максимальної витрати газу м³/год; $\rho_{\text{н}}$ - густина газу, кг/м³; T_1 - температура газу, °К; Z - коефіцієнт стискуваності газу (при густині природного газу $0,727 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – приймаємо 0,974) [23]; p_1 - тиск перед звужуючим пристроєм, кгс/см²; D – діаметр трубопроводу, мм.

Підставляючи дані в наступну формулу отримаємо:

$$C = \frac{4}{0.2109 \cdot 8^2} \sqrt{\frac{0,727 \cdot 288 \cdot 0,974}{1,025}} = 4.18$$

- При відомому коефіцієнті C , граничному перепадові тиску $\Delta p_{\text{пр}}=0,25$ кгс/м² та втратах тиску $p_{\text{п}}$ знаходимо по номограмах , приведених в правилах [24] визначаємо число значення модуля діафрагми m .

Підставляючи початкові дані , методом пересічення прямих отримуємо значення : $m = 0.35$, $\Delta P = 0,025$ кгс/см².

- Розрахуємо мінімальне значення числа Рейнольдса Re_{min} .

$$Re_{\text{min}} = \frac{0.0361 \cdot Q_{\text{н.пр}} \cdot \rho_{\text{н}}}{D \cdot \mu_{\text{max}}}, \quad (2.29)$$

де D – внутрішній діаметр трубопроводу, мм; μ_{\max} – динамічна в'язкість газу в робочих умовах.

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$Re_{\min} = \frac{0.0361 \cdot 4 \cdot 0,727}{8 \cdot 1.13 \cdot 10^{-6}} = 2.903 \cdot 10^3$$

- Розрахуємо коефіцієнт витрати α_y :

$$\alpha_y = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - m^2}} \right) [0.5959 + 0.0312m^{1.05} - 0.1840m^4 + 0.0029m^{1.25} \left(\frac{10^6}{Re_{\min}} \right)], \quad (2.30)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$\alpha_y = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 0.35^2}} \right) \left[0.5959 + 0.0312 \cdot 0.35^{1.05} - 0.1840 \cdot 0.35^4 + 0.0029 \cdot 0.35^{1.25} \left(\frac{10^6}{2.903 \cdot 10^3} \right) \right] = 0.624$$

Визначаємо значення показника адиабати χ в робочих умовах :

$$\chi = 1.29 + 0.704 \cdot 10^{-6} [2575 + (346.23 - T_1)^2] \cdot p_1, \quad (2.31)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$\chi = 1.29 + 0.704 \cdot 10^{-6} [2575 + (346.23 - 288)^2] \cdot 1.025 = 1.294$$

- Розрахуємо попереднє значення поправочного множника на розширення:

$$\varepsilon = 1 - \frac{(0.41 + 0.35 \cdot m^2) \cdot \Delta p_{\text{пр}}}{\chi \cdot p_1}, \quad (2.32)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$\varepsilon = 1 - \frac{(0.41 + 0.35 \cdot 0.35^2) \cdot 0.25}{1.294 \cdot 1.025} = 0.991$$

- Визначимо допоміжний коефіцієнт $m\alpha$:

$$m\alpha = \frac{c}{\varepsilon \sqrt{\Delta p_{\text{пр}}}}, \quad (2.33)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$m\alpha = \frac{4.18}{0.991\sqrt{250}} = 0.267$$

- Знаходимо уточнене значення модуля m :

$$m = \frac{m\alpha}{\alpha_y}, \quad (2.34)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$m = \frac{0,267}{0,624} = 0,427$$

При новому значенні m , коефіцієнт витрати α_y буде рівний (2.30):

$$\alpha_y = \left(\frac{1}{\sqrt{1-0.427^2}} \right) \left[0.5959 + 0.0312 \cdot 0.427^{1.05} - 0.1840 \cdot 0.427^4 + 0.0029 \cdot 0.427^{1.25} \left(\frac{10^6}{2.903 \cdot 10^3} \right) \right] = 0.617$$

- Визначимо діаметр діафрагми d :

$$d = D \cdot \sqrt{m}, \quad (2.35)$$

Підставляючи значення у формулу отримаємо :

$$d = 8 \cdot \sqrt{0.427} = 5.23, \text{ мм}$$

- Підставляючи розраховані значення , знаходимо витрату за нормальних умов:

$$Q_n = 0.2109 \alpha_y \varepsilon d^2 \sqrt{\frac{(p_1 - p_2) p_1}{\rho_n T_1 Z}}, \quad (2.37)$$

де $(p_1 - p_2)$ – перепад тиску на звужуючому пристрої.

Підставляючи значення у формулу отримаємо:

$$Q_n = 0.2109 \cdot 0.617 \cdot 0.991 \cdot 5.23^2 \sqrt{\frac{250 \cdot 1.025}{0.727 \cdot 288 \cdot 0.974}} = 3.957, \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

- Знаходимо похибку розрахунку максимальної витрати за формулою :

$$\Delta Q = \frac{Q_n - Q_{н.пр}}{Q_{н.пр}}, \quad (2.38)$$

- Підставивши значення у формулу , отримаємо:

$$\Delta Q = \frac{3.957 - 4}{4} \cdot 100\% = -0.011\%.$$

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИКИ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ПОБУТОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

3.1 Розробка метрологічної моделі методики експрес-контролю побутових лічильників газу

Важливим аспектом в проектуванні нового пристрою є його точність. Похибка вимірювання є безпосередньою характеристикою точності вимірювання. Значення похибки вимірювання залежить від досконалості технічних засобів, які використовуються для проведення вимірювань, від методики і умов проведення експерименту і від методу обробки отриманих результатів спостережень вимірювальної величини.

З метою оцінки метрологічних характеристик розробленої установки сформована її метрологічна модель (рис.3.1), яка відображає основні складові допустимої похибки δ . Ними є:

- $\theta_{P_L}, \theta_{T_L}, \theta_{\rho_L}$ – невилучена систематична похибка (НСП) вимірювання тиску, температури та густини газу на виході з ПЛГ;

- $\delta_{P1}, \delta_{P21} \dots \delta_{P2n}$ – похибка визначення тиску газу перед звужувальними пристроями:

$$\delta_P = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{Pi}^2}{n} \right)}, \quad (3.1)$$

- $\delta_{T1}, \delta_{T21} \dots \delta_{T2n}$ – похибка визначення температури газу перед звужувальними пристроями:

$$\delta_T = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{Ti}^2}{n} \right)}, \quad (3.2)$$

- $\delta_{\alpha1}, \delta_{\alpha21} \dots \delta_{\alpha2n}$ – похибка визначення коефіцієнта витрати звужувальних пристроїв:

$$\delta_{\alpha} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{\alpha i}^2}{n} \right)}, \quad (3.3)$$

- $\delta_{\varepsilon1}, \delta_{\varepsilon21} \dots \delta_{\varepsilon2n}$ – НСП визначення поправного множника на розширення газу:

$$\delta_{\varepsilon} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{\varepsilon i}^2}{n} \right)}, \quad (3.4)$$

- $\delta_{\Delta p1}, \delta_{\Delta p21} \dots \delta_{\Delta p2n}$ – похибка визначення перепаду тиску на звужувальному пристрої;

$$\delta_{\Delta p} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_{\Delta p i}^2}{n} \right)}, \quad (3.5)$$

- θ_z – НСП визначення коефіцієнта стисливості;
- θ_{τ} – НСП вимірювання тривалості протікання газу через ПЛГ;
- θ_o – НСП проведення обчислень.

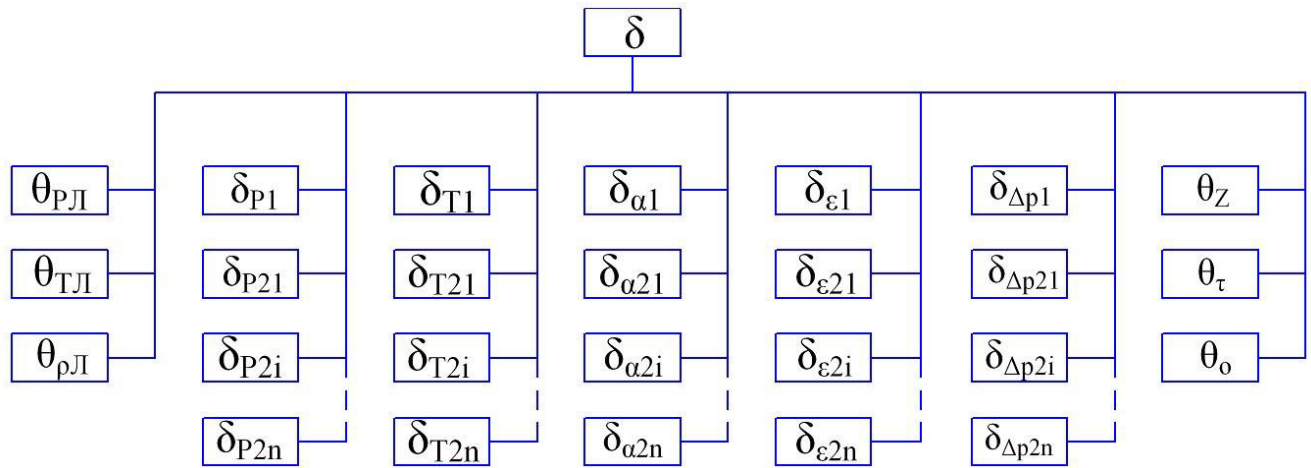


Рисунок 3.1 – Метрологічна модель установки для експрес-контролю побутових лічильників газу

3.2 Розрахунок основних складових похибки методики експрес-контролю побутових лічильників газу

Похибка вимірювання густини природного газу за стандартних умов.

НСП визначення густини газу за стандартних умов Θ_{ρ_c} обчислюється за наступним виразом:

$$\Theta_{\rho_c} = \frac{0,6}{\rho_c} \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i \cdot x_i \cdot \delta_i)^2 + 3,4(x_{N_2} \cdot \delta_{N_2}) + 9,0(x_{CO_2} \cdot \delta_{CO_2})}, \quad (3.6)$$

де k_i – кількість атомів вуглецю у i -му компоненті n -компонентного природного газу;

x_i – молярна концентрація i -того компоненту n -компонентного природного газу;

x_{N_2} , x_{CO_2} – молярна концентрація азоту і диоксиду вуглецю в природному газі відповідно;

δ_i , δ_{N_2} і δ_{CO_2} – похибки визначення молярної концентрації i -того компоненту газу, азоту і диоксиду вуглецю в природному газі відповідно;

ρ_c – густина газу за стандартних умов.

Для розрахунку цієї складової НСП були використані такі усереднені вхідні параметри густини та компонентного складу природного газу (за даними ВАТ “Івано-Франківськгаз” впродовж його зміни в 2009р.): густина $0,69 \text{ кг/м}^3$, молярна концентрація азоту $0,025$ та диоксиду вуглецю $0,003$ відносних одиниць відповідно.

Зважаючи, що визначення концентрації компонентів здійснювалося за результатами хроматографічного аналізу за допомогою лабораторного хроматографа типу “Кристалл-2000М”, НСП визначення густини газу за таких умов становитиме $\pm 0,206\%$.

Похибка визначення температури.

Температура газу на вході ЗП вимірюється давачем типу РТ-0102-Щ2-ТО-К-РЕ (верхня межа вимірювання 50°C , границя допустимої зведеної похибки $\pm 0,6\%$). Тому НСП визначення температури газу Θ_T визначається за наступним виразом:

$$\Theta_T = 0,5 \left(\frac{N_t}{273,15 + t} \right) \cdot S_t = 0,5 \left(\frac{50}{273,15 + 20} \right) \cdot 0,6\% = 0,05(\%), \quad (3.7)$$

де N_t – діапазон шкали вимірювання термометра;

S_t – клас точності термометра;

t – температура газу.

Похибка визначення температури у лічильнику δ_{T_l} буде складатися з двох складових похибка від тертя та від теплообміну газу з навколишнім середовищем.

За результатами проведених моделювань в розділі 3.2.2 встановлено, що зміна температури від впливу тертя газу до стінки труби за найбільшої досліджуваної витрати $2,5 \text{ м}^3/\text{год}$ не перевищує $0,025^\circ\text{C}/\text{м}$. Зважаючи, що реальна відстань між ПЛГ і установкою не буде перевищувати 3-4 м цією складовою можна нехтувати.

Для визначення похибки від теплообміну скористаємося науково обґрунтованим твердженням, що корпус ПЛГ є теплообмінником при проходженні газу через який його температура на виході набуває температури оточуючого середовища. Це дає підставу нехтувати складовою похибки від теплообміну Θ_{mo} . Для підтвердження цієї умови в установці порівнюється шляхом вимірювання температура природного газу (робочого середовища) і температури навколишнього середовища, значення різниці яких не повинно перевищувати абсолютних похибок вимірювання температур.

У випадку наявної різниці температур, тобто якщо не пройшов теплообмін поправку на температуру можна розрахувати на підставі моделювання проведеного в розділі 2.3, а її похибка буде відповідати методичній похибці моделювання. Оскільки, зміна ΔT яка зумовлена різницею температур, залежить також і від коефіцієнту теплопередавання, геометричних розмірів трубопроводу і питомої теплоємності газу, то з врахуванням коефіцієнтів вагомості від впливу цих параметрів на зміну температури приймаємо цю складову похибки $\delta_{mo} = \pm 0,03\%$.

Похибка визначення коефіцієнта стисливості природного газу.

Відносна похибка коефіцієнта стисливості K розраховується за формулою:

$$\delta_K = \sqrt{\delta_m^2 + \delta_{\omega}^2}, \quad (3.8)$$

де δ_m – похибка розрахунку коефіцієнта стисливості, яка залежить від методу його розрахунку;

$\delta_{\delta\theta}$ - похибка розрахунку коефіцієнта стисливості, пов'язана з похибкою вимірювання вхідних даних.

Похибка δ_m для методу розрахунку коефіцієнта стисливості за методикою NX19 мод. за умов вибраного для дослідження діапазону зміни вхідних параметрів становить $\pm 0,13\%$.

Похибка $\delta_{\delta\theta}$ обчислюється за формулою :

$$\delta_{\delta\theta} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_q} \left[\left(\frac{\partial K}{\partial q_i} \right)_q \bar{q}_i \delta_{q_i} \right]^2}, \quad (3.9)$$

де N_q – загальна кількість вхідних даних;

δ_{q_i} – похибка вимірювання q_i -го вхідного параметра.

На основі проведеного аналізу в розділі 2.3 для практичних умов застосування перевірочної установки можна вважати, що сумарна похибка визначення коефіцієнта стисливості Θ_K фактично дорівнює методичній похибці розрахунку коефіцієнта стисливості, розрахованого за методикою NX19-мод., а саме $\Theta_K = \pm 0,13\%$.

Як доведено в розділі 2.3 відхилення значення коефіцієнта стисливості від середнього значення при зміні абсолютної температури в діапазоні від 283 до 293 К становить $\pm 0,012\%$. Прийmemo величину цього відхилення як НСП зміни коефіцієнта стисливості від впливу фізико-хімічних параметрів природного газу для умов функціонування установки, тобто $\Theta_{\Delta K} = \pm 0,012\%$. Це дасть можливість здійснювати обчислення значення відтворюваної витрати використовуючи розраховане значення коефіцієнта стисливості $K=0,9998$ для умов функціонування установки. Його зміна буде врахована у складовою похибки $\Theta_{\Delta K}$.

Похибка визначення тиску.

Для вимірювання надлишкового тиску перед ЗП використовується дифманометр типу ROZEMOUNT з аналоговим вихідним сигналом (1...5)В (верхня межа вимірювання 4кПа, границя допустимої зведеної похибки $\pm 0,075\%$). НСП визначення надлишкового тиску $\Theta_{pнд}$ визначається за наступним виразом:

$$\Theta_{pнд} = 0,5 \frac{\Delta p_{ep}}{\Delta p} S_{\Delta p} = 0,5 \cdot \frac{4\text{кПа}}{2,5\text{кПа}} \cdot 0,075\% = 0,06(\%), \quad (3.10)$$

де Δp_{ep} – граничне значення шкали дифманометра за шкалою перепаду тиску;

Δp – значення перепаду тиску в повірюваній точці;

$S_{\Delta p}$ – клас точності дифманометра.

Атмосферний тиск вимірюється барометром типу БАММ-1В (верхня межа вимірювання 106кПа, границя допустимої зведеної похибки $\pm 0,2\%$). НСП вимірювання атмосферного тиску Θ_{pa} визначається за наступним виразом [6]:

$$\Theta_{pa} = 0,5 \frac{p_{ep}}{p_a} S_a = 0,5 \cdot \frac{106\text{кПа}}{101,325\text{кПа}} \cdot 0,2\% = 0,104(\%), \quad (3.11)$$

де p_a – значення атмосферного тиску;

p_{ep} – граничне значення шкали барометра;

S_a – клас точності барометра.

Визначення тиску газу на ПЛГ $p_{л}$ передбачає використання апроксимаційних залежностей втрат тиску на різних видах гідравлічних опорів від числа Re. З метою оцінки похибки апроксимації функцій $\Delta p_{em}=f(Re)$ були проведені розрахунки відхилень апроксимаційних кривих від експериментально отриманих значень за формулою:

$$\sigma_{анр}[\Delta p_{ем}] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((\Delta p_{ем})_{анр} - (\Delta p_{ем})_i)^2}{n-1}} \quad (3.12)$$

де $(\Delta p_{ем})_{анр}$ – значення втрат тиску розраховане за апроксимаційною залежністю $\Delta p_{ем} = f(Re)$;

$(\Delta p_{ем})_i$ – значення втрат тиску для i -го вимірювання.

Результати отриманих значень похибки наведені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка похибки апроксимації залежності втрат тиску в трубопроводі від числа Re

Вид гідравлічних втрат	СКВ апроксимуючої кривої, Па
Тертя газу до стінок труби	4,088
Згин труби під прямим кутом	0,879
Наявність гнучного шланга (довжиною 2м)	28

Так як СКВ на гнучкому шлангу на порядок відрізняється від СКВ на тертя і згин, то останніми можна нехтувати. Тому приймаємо, що максимальне розраховане значення СКВ апроксимуючої кривої буде визначати абсолютну похибку апроксимації втрат тиску $(\Delta p_{ем})_a$, тоді складову похибки $\Theta_{(p_{ем})a}$ можна обчислити за формулою :

$$\Theta_{(p_{ем})a} = \frac{(\Delta p_{ем})_{анр}}{p} \cdot 100\%. \quad (3.12)$$

Приймаючи на підставі досліджень (табл.3.1) максимально допустиме значення похибки $(\Delta p_{ем})_a = 24$ Па з (3.9), отримуємо $\Theta_{(p_{ем})a} = 0,03\%$.

Другою складовою визначення похибки від тиску на лічильнику є похибка $\Theta_{p_{Re}}$ від визначення Re , оскільки по його значенню за апроксимаційними залежностями визначається величина втрат тиску. Виходячи з цього нам необхідно оцінити похибку визначення числа Re з врахуванням її коефіцієнту вагомості при визначенні тиску p_L , а саме:

$$\Theta_{pRe} = \frac{\partial(\Delta p_{em})}{\partial Re} \cdot \frac{\delta Re}{p} \quad (3.13)$$

де $\frac{\partial(\Delta p_{em})}{\partial Re}$ - значення коефіцієнта вагомості зміни Re;

δRe - похибка визначення Re.

Похибка Θ_{pRe} функціонально залежить від похибки визначення числа Re, яке розраховується як результат опосередкованих вимірювань. Тому для оцінки величини відносної похибки визначення Re використовуємо залежність:

$$\delta Re = \sqrt{(\delta Q)^2 + (\delta \rho)^2 + (\delta D)^2 + (\delta \mu)^2} \quad (3.14)$$

де δQ , $\delta \rho$, δD , $\delta \mu$ – відносні похибки визначення витрати, густини газу за робочих умов, внутрішнього діаметра труби та коефіцієнта динамічної в'язкості відповідно.

Значення густини природного газу за робочих умов, тому залежність для визначення її відносної похибки буде мати наступний вигляд:

$$\delta \rho = \sqrt{(\delta \rho_c)^2 + (\delta p)^2 + (\delta T)^2 + (\delta K)^2} \quad (3.15)$$

де $\delta \rho_c$, δp , δT , δK – відносні похибки визначення густини газу за стандартних умов, абсолютного тиску, абсолютної температури газу та коефіцієнта стисливості відповідно.

Виходячи із аналізу проведеного в попередніх розділах, для умов функціонування установки, приймаємо відносні похибки, що входять у вираз (3.12) рівними $\delta \rho_c = \pm 0,206$ %, $\delta p = \pm 0,06$ % , $\delta T = \pm 0,05$ %, $\delta K = \pm 0,13$ %. Підставивши ці значення у вираз (3.12) отримаємо величину відносної похибки визначення густини газу за робочих умов $\delta \rho = \pm 0,256$ %.

Значення складових похибки Re, що входять до виразу (3.11) вибираємо з наступних міркувань. Відносну похибку визначення витрати газу приймаємо

рівною прогнозованій граничній похибці установки $\delta Q = \pm 1\%$. Відносну похибку коефіцієнта динамічної в'язкості $\delta \mu = \pm 3\%$. Похибка визначення внутрішнього діаметру трубопроводу визначатиметься інструментальною похибкою засобу його вимірювання, а саме:

$$\delta D = \frac{\Delta_D \cdot 100\%}{D} \quad (3.16)$$

де Δ_D – ціна одного ділення засобу вимірювання внутрішнього діаметру D труби.

Наприклад, при внутрішньому діаметрі труби 16мм, який виміряний штангенциркулем з ціною поділки 0,1 мм, згідно (3.16) $\delta D = \pm 0,63\%$.

Підставивши складові похибки Re в (3.11) отримаємо $\delta Re = \pm 3,23\%$.

Для визначення коефіцієнта вагомості Re , для експериментально встановленої залежності $\Delta p_{em} = f(Re)$ знаходимо її часткову похідну по Re . Доцільним є проведення цього розрахунку для втрат тиску на гнучкому шлангу, оскільки там вони суттєво більші порівняно з іншими гідравлічними опорами. Виходячи з аналізу характеру зміни експериментально встановлених апроксимаційних залежностей $\Delta p_{em} = f(Re)$, проведеному в п.3.2, доцільним є дослідження втрат тиску в гнучкому шлангу, для яких коефіцієнт вагомості Re буде визначатись за наступним виразом:

$$\frac{\partial(\Delta p_{em})}{\partial Re} = 4 \cdot 10^{-5} \cdot Re + 0,184 \quad (3.17)$$

Тоді, наприклад, при протіканні природного газу трубопроводом з внутрішнім діаметром $D=16$ мм за витрати $1\text{ м}^3/\text{год}$, що відповідає $Re=1325$, і надлишковому тиску $2,5\text{ кПа}$, згідно (3.9) похибка $\Theta_{pRe} = 7,2 \cdot 10^{-6}\%$.

Похибка визначення градуювального коефіцієнта.

Для градуювання ЗП був використаний робочий еталон об'єму газу дзвонового типу Темпо-1 (Інженерно-впровадницька фірма ТЕМПО, м.Івано-Франківськ) з границею сумарної відносної похибки передавання одиниці

об'єму газу $\pm 0,15\%$ в діапазоні витрат $(0,016 \dots 10) \text{ м}^3/\text{год}$. Ця похибка кількісно буде оцінювати НСП $\Theta_{\alpha F\varepsilon}$ як одну із складових похибки $\delta_{\alpha F\varepsilon}$.

Оцінка СКВ середнього значення експериментально визначеного добутку $\alpha F\varepsilon$, що характеризує випадкову складову похибки визначення цього добутку за умови відсутності кореляційних зв'язків між параметрами здійснювалося за алгоритмом:

$$\overline{\sigma}[\alpha F\varepsilon] = \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \tau} \cdot \overline{\sigma}[\tau]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{\text{дз}}} \cdot \overline{\sigma}[\overline{p}_{\text{дз}}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{\text{дз}}} \cdot \overline{\sigma}[\overline{T}_{\text{дз}}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{\text{ЗП}}} \cdot \overline{\sigma}[\overline{T}_{\text{ЗП}}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{\text{ЗП}}} \cdot \overline{\sigma}[\overline{p}_{\text{ЗП}}]\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \Delta p_{\text{ЗП}}} \cdot \overline{\sigma}[\overline{\Delta p}_{\text{ЗП}}]\right)^2} \quad (3.18)$$

де $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \tau}$, $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{\text{дз}}}$, $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{\text{дз}}}$, $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial T_{\text{ЗП}}}$, $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{\text{ЗП}}}$, $\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \Delta p_{\text{ЗП}}}$ – коефіцієнти вагомості

впливу часу, тиску під дзвоном, температури під дзвоном, температури на вході ЗП, тиску на вході ЗП та надлишкового тиску на ЗП на результат визначення добутку $\alpha F\varepsilon$ відповідно;

$\overline{\sigma}[\tau]$, $\overline{\sigma}[\overline{p}_{\text{дз}}]$, $\overline{\sigma}[\overline{T}_{\text{дз}}]$, $\overline{\sigma}[\overline{T}_{\text{ЗП}}]$, $\overline{\sigma}[\overline{p}_{\text{ЗП}}]$, $\overline{\sigma}[\overline{\Delta p}_{\text{ЗП}}]$ – СКВ середнього значення вхідних параметрів (часу, тиску під дзвоном, температури під дзвоном, температури на вході ЗП, тиску на вході ЗП відповідно).

Вагові коефіцієнти обчислюються за наступними виразами, в які підставляють середні значення вимірюваних параметрів:

$$\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial \tau} = -\frac{V_{\text{дз}}}{\tau^2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{p_{\text{дз}}}{T_{\text{дз}}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{ЗП}}}{2 \cdot \Delta p_{\text{ЗП}} \cdot p_{\text{ЗП}}}} \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial \alpha F\varepsilon}{\partial p_{\text{дз}}} = \frac{V_{\text{дз}}}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{1}{T_{\text{дз}}} \cdot \sqrt{\frac{T_{\text{ЗП}}}{2 \cdot \Delta p_{\text{ЗП}} \cdot p_{\text{ЗП}}}} \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial \alpha_{F\varepsilon}}{\partial T_{дз}} = -\frac{V_{дз}}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{p_{дз}}{T_{дз}^2} \cdot \sqrt{\frac{T_{зп}}{2 \cdot \Delta p_{зп} \cdot p_{зп}}} \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial \alpha_{F\varepsilon}}{\partial T_{зп}} = \frac{1}{2\sqrt{T_{зп}}} \cdot \frac{V_{дз}}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{p_{дз}}{T_{дз}^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \Delta p_{зп} \cdot p_{зп}}} \quad (3.22)$$

$$\frac{\partial \alpha_{F\varepsilon}}{\partial p_{зп}} = -\frac{1}{2p_{зп} \sqrt{p_{зп}}} \cdot \frac{V_{дз}}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{p_{дз}}{T_{дз}^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot \Delta p_{зп}}} \quad (3.23)$$

$$\frac{\partial \alpha_{F\varepsilon}}{\partial \Delta p_{зп}} = -\frac{1}{2\Delta p_{зп} \sqrt{\Delta p_{зп}}} \cdot \frac{V_{дз}}{\tau} \cdot \sqrt{\frac{\rho_C \cdot T_C}{p_C \cdot K}} \cdot \frac{p_{дз}}{T_{дз}^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{2 \cdot p_{зп}}} \quad (3.24)$$

Обчислення СКВ середнього значення для кожного вхідного параметра здійснювалося за відомою залежністю, вигляд якої конкретизований для вимірювання часу відтворення контрольного об'єму:

$$\sigma[\bar{\tau}] = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \bar{\tau})^2}{n(n-1)}} \quad (3.25)$$

де τ_i – час протікання контрольного об'єму через ЗП при i -тому вимірюванні;

$\bar{\tau}$ – середнє значення часу протікання контрольного об'єму за n вимірювань.

За аналогічною формулою знаходять СКВ для інших вхідних параметрів.

Протоколи експериментальних досліджень подані в додатку Д, а отримані результати градування подані в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Результати індивідуального градування ЗП

Вихідний діаметр ЗП d, мм	Витрата Q, м ³ /год	Число Re	Град. коеф. $\overline{\alpha F \varepsilon}$, м ²	СКВ $\overline{\sigma[\alpha F \varepsilon]}$, м ²	Відн. знач. СКВ $S_{\alpha F \varepsilon}$, %
1. d=0,56	0,016	154	$1,9402 \cdot 10^{-7}$	$5,614 \cdot 10^{-11}$	0,0289
	0,022	211	$1,9805 \cdot 10^{-7}$	$3,45 \cdot 10^{-11}$	0,0174
	0,027	257	$2,0014 \cdot 10^{-7}$	$3,068 \cdot 10^{-11}$	0,0153
	0,031	297	$2,0137 \cdot 10^{-7}$	$3,578 \cdot 10^{-11}$	0,0177
	0,038	362	$2,0237 \cdot 10^{-7}$	$3,401 \cdot 10^{-11}$	0,0168
2. d=1	0,070	665	$6,209 \cdot 10^{-7}$	$1,655 \cdot 10^{-11}$	0,0266
	0,085	800	$6,248 \cdot 10^{-7}$	$1,722 \cdot 10^{-11}$	0,0275
	0,097	926	$6,283 \cdot 10^{-7}$	$1,278 \cdot 10^{-11}$	0,0203
	0,109	1032	$6,323 \cdot 10^{-7}$	$9,739 \cdot 10^{-11}$	0,0154
	0,120	1143	$6,373 \cdot 10^{-7}$	$8,33 \cdot 10^{-11}$	0,0130
3. d=1,5	0,135	1268	$1,1846 \cdot 10^{-6}$	$6,435 \cdot 10^{-10}$	0,0543
	0,158	1493	$1,1643 \cdot 10^{-6}$	$4,72 \cdot 10^{-10}$	0,0405
	0,179	1695	$1,1513 \cdot 10^{-6}$	$3,067 \cdot 10^{-10}$	0,0266
	0,196	1864	$1,1439 \cdot 10^{-6}$	$2,98 \cdot 10^{-10}$	0,0260
	0,214	2038	$1,1411 \cdot 10^{-6}$	$4,419 \cdot 10^{-10}$	0,0387
4. d=6	1,54	2601	1,875	$1,861 \cdot 10^{-9}$	0,0099
	1,88	3175	1,8701	$1,649 \cdot 10^{-9}$	0,0088
	2,18	3678	1,8670	$1,066 \cdot 10^{-9}$	0,0057
	2,43	4104	1,8646	$9,462 \cdot 10^{-10}$	0,0050
	2,65	4482	1,8620	$7,006 \cdot 10^{-10}$	0,0037

За випадкову складову похибки визначення градувального коефіцієнта приймаємо найбільше значення відхилення $S_{\alpha F \varepsilon}$, а саме згідно табл.3.2 $S_{\alpha F \varepsilon}=0,0543\%$.

Для можливості практичного використання градувальних коефіцієнтів ЗП була проведена апроксимація залежності градувального коефіцієнта $\alpha F \varepsilon$

як функцію від числа Re . Процедура апроксимації внесла певну методичну похибку $\Theta_{(\alpha F\varepsilon)a}$ в алгоритм обчислення вихідного значення. Саме тому необхідно оцінити величину цієї похибки і при необхідності її врахувати.

Розраховуємо СКВ значень апроксимаційної функції $\alpha F\varepsilon=f(Re)$ від значень отриманих експериментально за виразом (3.9).

Для можливості подальшого врахування похибки апроксимації необхідно її виразити у відносних одиницях, з цією метою подамо величину відхилення експериментальних значень від апроксимуючої кривої відносно середнього значення градуовального коефіцієнта $\alpha F\varepsilon$ для кожного ЗП (табл 3.3).

Таблиця 3.3 - Оцінки похибки апроксимації градуовального коефіцієнта $\alpha F\varepsilon$

Вихідний діаметр ЗП d, мм	СКВ апроксимуючої кривої, м ²	Відносне СКВ апроксимуючої кривої, %
1. d=0,56	$8,052 \cdot 10^{-11}$	0,040
2. d=1	$3,390 \cdot 10^{-10}$	0,053
3. d=1,5	$6,981 \cdot 10^{-10}$	0,060
4. d=6	$1,872 \cdot 10^{-8}$	0,100

Для подальшого розрахунку сумарної похибки роботи установки, як її складову від впливу апроксимації на точність визначення градуовального коефіцієнта $\alpha F\varepsilon$, виходячи з даних отриманих в табл. 3.3, вибираємо максимальне відносне значення СКВ апроксимації, тобто $\Theta_{(\alpha F\varepsilon)a}=\pm 0,1\%$.

Іще однією складовою визначення $\alpha F\varepsilon=f(Re)$ є похибка Θ_{Re} від визначення Re , оскільки по його значенню за апроксимаційними залежностями визначається величина градуовального коефіцієнта $\alpha F\varepsilon$. Виходячи з цього нам необхідно оцінити похибку визначення числа Re з врахуванням її коефіцієнту вагомості при визначенні $\alpha F\varepsilon$, а саме:

$$\Theta_{Re} = \frac{\partial(\alpha F\varepsilon)}{\partial Re} \cdot \frac{\delta Re}{\alpha F\varepsilon} \quad (3.26)$$

де $\frac{\partial(\alpha F \varepsilon)}{\partial Re}$ - значення коефіцієнта вагомості зміни Re ;

δRe - похибка визначення Re .

Похибка δRe визначається за (3.14)-(3.16), проте слід зазначити, що обчислення необхідно здійснювати з врахуванням умов протікання газу на вході ЗП. Наприклад, при вхідному внутрішньому діаметрі ЗП 2,5 мм, який виміряний інструментальним мікроскопом з абсолютною похибкою 0,015 мм, згідно (3.16) $\delta D = \pm 0,6\%$.

Підставивши вказані складові похибки δRe в (3.14)-(3.15) отримаємо $\delta Re = \pm 3,22\%$.

Для визначення коефіцієнта вагомості Re , для експериментально встановленої залежності $\alpha F \varepsilon = f(Re)$ знаходимо її часткову похідну по Re . Здійснено даний розрахунок для $\alpha F \varepsilon = f(Re)$ ЗП з найменшим діаметром вихідного отвору (3.29), оскільки робочі значення Re для нього найменші, то їх відносний вплив буде максимальним порівняно з іншими ЗП. Коефіцієнт вагомості Re буде визначатись за наступним виразом:

$$\frac{\partial(\alpha F \varepsilon)}{\partial Re} = -3,68 \cdot 10^{-14} \cdot Re + 5,3 \cdot 10^{-10} \quad (3.27)$$

Тоді, наприклад, при протіканні природного газу через ЗП з вхідним внутрішнім діаметром $D = 2,5$ мм за витрати $0,25 \text{ м}^3/\text{год}$, що відповідає $Re = 2050$, що відповідає середньому значенню градувального коефіцієнта $\alpha F \varepsilon = 2 \cdot 10^{-7}$, згідно (3.26) похибка $\Theta_{Re} = 0,007\%$.

Похибка визначення поправочного множника коефіцієнта розширення.

В роботі був проведений аналіз впливу виду звужувального пристрою та зміни робочого середовища на величину коефіцієнта розширення ε . На його основі можна зробити висновок, що при зміні робочого середовища (з повітря на природний газ) коефіцієнт розширення для циліндричних сопел зменшиться на $0,08\%$ (при надлишковому тиску 2 кПа), а для конусних діафрагм на $0,06\%$, при таких самих умовах.

Для алгоритму функціонування розрахунок поправочного множника на зміну робочого середовища k_ε здійснюється виходячи з припущення, що

використаний в установці ЗП є циліндричним соплом. Тому слід врахувати похибку визначення коефіцієнта k_ε зважаючи на той факт, що конструкція ЗП є проміжною між циліндричним соплом і конусною діафрагмою. Прийmemo цю похибку рівною різниці максимальних відхилень значень коефіцієнта розширення при роботі на повітрі і на природному газі для конусної діафрагми і циліндричного сопла, а саме $\Theta_{k_\varepsilon} = \pm 0,02\%$.

Дослідження додаткової похибки від робочої температури звужувального пристрою.

Зважаючи на той факт, що на виході торцевих сопел відбувається спалення природного газу, необхідним є дослідження теплового розширення вихідного отвору торцевого сопла від нагрівання. Величина внутрішнього діаметра звужувального пристрою визначається наступним чином :

$$d = d_{20} [1 + \alpha_t (t - 20)] \quad (3.28)$$

де d – внутрішній діаметр ЗП;

t – температура ЗП, $^{\circ}\text{C}$;

α_t – коефіцієнт лінійного теплового розширення металу з якого виготовлений ЗП.

Відносна похибка від впливу теплового розширення на площу поперечного перерізу вихідного отвору торцевого сопла буде рівна:

$$\Theta_{F_t} = \frac{F - F_{20}}{F_{20}} \cdot 100\% \quad (3.29)$$

де $F = \frac{\pi d^2}{4}$; $F_{20} = \frac{\pi d_{20}^2}{4}$ - площа внутрішнього отвору ЗП при робочій

температурі та при температурі 20°C відповідно.

Після підстановки виразу (1) у вираз (2) отримаємо:

$$\Theta_{F_t} = ((1 + \alpha_t (t - 20))^2 - 1) \cdot 100\% \quad (3.30)$$

Торцеві ЗП на виході яких спалюється газ виготовлені з латуні, коефіцієнт лінійного теплового розширення якої рівний $\alpha_t = 17,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1}^\circ\text{C}$. Тоді, наприклад, при нагріванні торцевого сопла до температури 100°C , площа його внутрішнього отвору збільшиться на 0,3%.

Дослідження впливу зміни діаметра отвору сопла на число Re , яке визначає значення градуовального коефіцієнта ЗП. Задаючи кількісну зміну діаметра, яка відповідає зміні площі на 0,3% можна знайти зміну числа Re . Далі з врахуванням вагового коефіцієнта впливу Re на зміну градуовального коефіцієнта можна кількісно визначити його нестабільність від зміни температури. Обчислення показали, що для ЗП №1 (додаток) зміна градуовального коефіцієнта при нагріванні сопла на 100°C не буде перевищувати 0,02%, тому на цю складову можна вносити поправку, оскільки від зростання температури отвір буде збільшуватися.

Проте для апробації установки на природному газі була розроблена спеціальна конструкція для монтування пальника таким чином, щоб газ спалювався на достатній відстані від торцевого сопла, що практично повністю дозволило уникнути його нагрівання. Таке конструктивне рішення дозволяє уникнути додаткової похибки від зміни робочої температури робочого пристрою.

Похибки дискретності вимірної інформації побутовим лічильником газу, часу та проведення обчислень.

Похибка дискретизації збору інформації з відлікового механізму ПЛГ Θ_{dl} визначається його дискретністю або дискретністю додатково встановленого перетворювача збору інформації зі шкали ПЛГ, при відліку пропущеного через лічильник контрольного об'єму газу. Вказана похибка може бути мінімізована шляхом збільшення значення контрольного об'єму або зменшенням ціни дискретизації імпульсів додаткового перетворювача. Вираз для визначення похибки від дискретності вимірної інформації Θ_{dl} записується у вигляді:

$$\Theta_{dl} = \frac{K_{II}}{V_K} \cdot 100\%, \quad (3.31)$$

де K_{II} – коефіцієнт перетворення (дискретність) збору інформації із шкали ПЛГ; V_k – контрольний об'єм газу, який пропускається через ПЛГ у ході його перевірки.

З (3.31) є очевидним, що контрольний об'єм при роботі установки необхідно вибирати із попередньо заданого значення складової похибки Θ_{dl} . Приймаючи її значення $\Theta_{dl} = \pm 0,4\%$ і задаючи значення $K_{II} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ (відповідає половині поділки найменшого розряду шкали відлікового механізму), отримуємо мінімальне розраховане значення контрольного об'єму $0,025 \text{ м}^3$.

НСП Θ_τ часу протікання газу через ПЛГ для режиму роботи установки буде визначатися похибкою електронного хронометра і, враховуючи достатньо високий технічний рівень цих засобів, ця похибка не перевищуватиме $0,001\%$.

НСП обчислення вимірної інформації $\Theta_{обч}$ у зв'язку з застосуванням сучасних мікропроцесорних пристроїв є мізерною, тому нею можна знехтувати.

Визначення сумарної похибки установки

Для вибору алгоритму обчислення сумарної похибки установки необхідно оцінити співвідношення Θ/S - границь НСП і випадкових складових похибки, використовуючи формулу:

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2}, \quad (3.32)$$

де k – коефіцієнт залежності НСП від вибраної довірчої ймовірності при їх рівномірному розподілі (для довірчої ймовірності $0,99$ $k=1,41$).

Оскільки $0,8 < \Theta/S < 8$, то похибка установки для експрес-контролю ПЛГ визначатиметься за формулою:

$$\delta = K_\Sigma S_\Sigma, \quad (3.33)$$

де $K_{\Sigma} = (\varepsilon + \Theta) / \left[S_{\alpha F \varepsilon} + \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Theta_i^2 / 3)} \right]$ - коефіцієнт залежності від співвідношення випадкової похибки і НСП;

$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Theta_i^2 / 3) + S_{\alpha F \varepsilon}^2}$ - оцінка сумарного середнього квадратичного відхилення результату вимірювання;

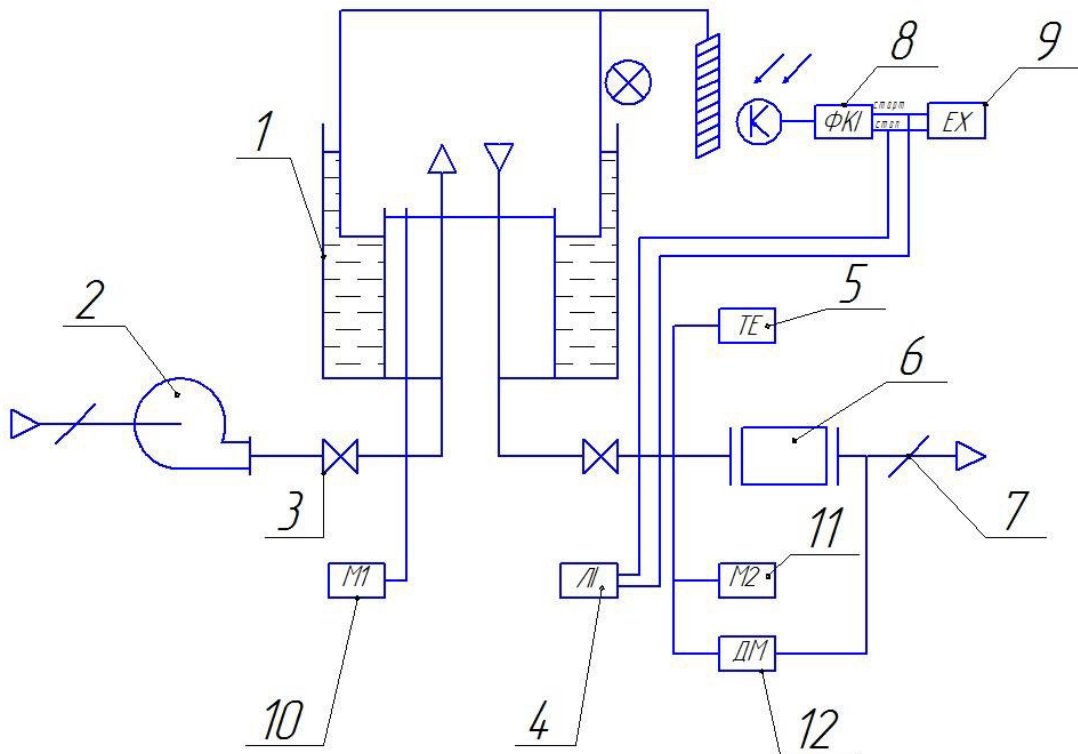
$\varepsilon = t_q \cdot S_{\alpha F \varepsilon}$ - довірчі границі випадкової похибки визначення добутку $\alpha F \varepsilon$ (t_q – коефіцієнт Стюдента при довірчій ймовірності 0,99 і числі спостережень $n=5$ рівний 4,604).

Підставляючи в (3.33) числові значення всіх розрахованих в розділі складових похибки, отримуємо $\delta = \pm 0,9\%$.

3.3 Розробка метрологічного забезпечення для реалізації методики бездемонтажного експрес-контролю побутових лічильників газу

При розрахунках коефіцієнта витрати звужуючого пристрою α було виявлено, що він має досить велике значення, що означає – зниження точності установка для експрес-контролю ПЛГ. Тому необхідно експериментальним чином визначити точні значення коефіцієнта α .

З цією метою установка для експрес-контролю під'єднується до дзвонової установки (рис. 3.2), де проводиться її повірка.



1 - дзвонова установка; 2 - задавач витрати; 3 - вхідний вентиль; 4 - лічильник імпульсів; 5 - термометр; 6 – установка для експрес-контролю; 7 - вихідний вентиль; 8 - формувач командних імпульсів; 9 - електронний хронометр; 10,11 - манометр; 12 – диференційний манометр.

Рисунок 3.2 Схема повірки установки для експрес-контролю побутових лічильників газу

Коефіцієнт витрати розраховується згідно формули (2.16):

$$\alpha = \frac{Q}{0.2109 \varepsilon d^2 \sqrt{\frac{(p_1 - p_2) p_1}{\rho_n T_1 Z}}}, \quad (3.34)$$

де

$$Q = \frac{V_c}{\tau} \cdot \frac{P_e}{P_{зп}} \cdot \frac{T_{зп}}{T_e \cdot Z_{зп}}, \quad (3.35)$$

α – коефіцієнт витрати звужуючого пристрою; ε – поправочний коефіцієнт розширення газу; d – діаметр отвору звужуючого пристрою, мм; $(p_1 - p_2)$ – перепад тиску на звужуючому пристрої, Па; p_1 – абсолютний тиск газу перед звужуючим пристроєм, Па; ρ_n – густина сухого газу при нормальних умовах, кг/м³; T_1 – фактична температура газу, °К; Z – коефіцієнт стискуваності

газу: τ – час проведення повірки, с; P_e – тиск газу в дзвоновій установці за робочих умов, Па; $P_{зп}$ – тиск на звужувальному пристрої, Па; T_e – температура газу на дзвоновій установці за робочих умов, °К; $T_{зп}$ – температура на звужуючому пристрої, °К.

Зважаючи, що під час проведення метрологічних досліджень ПЛГ на місці експлуатації стає можливим визначення похибки лічильника в робочих умовах, доцільним є розроблення нормативного документу метрологічного спрямування у формі методики експрес-контролю з загальною назвою “Інструкція”. Такий підхід є запозичений виходячи з аналізу нормативного документу і завдань щодо визначення метрологічних характеристик вузлів обліку газу, для вирішення яких він призначений.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена актуальному питанню дослідження метрологічних характеристик побутових лічильників газу на місці експлуатації із застосуванням природного газу як робочого середовища. З цією метою пропонується проведення експрес-контролю лічильника газу без здійснення демонтажу.

В роботі здійснено аналіз існуючих методик і технічних засобів для експрес-контролю побутових лічильників газу. На основі проведеного аналізу встановлено, що основними перевагами установок для бездемонтажного проведення експрес-контролю побутових лічильників газу є їхня мобільність, оскільки в сучасних умовах проведення повірки є досить трудомістким процесом. Тому пропонується установка, що дозволяє проводити повірку метрологічних характеристик побутових лічильників газу безпосередньо на місці їх експлуатації.

З метою підвищення точності функціонування установки для експрес-контролю побутових лічильників газу були встановлені математичні моделі для визначення втрат тиску і зміни температури у будинкових газопроводах з урахуванням їх конструктивних параметрів, що дозволяє опосередковано визначати робочі умови побутових лічильників газу.

В роботі здійснено розрахунок звужувального пристрою, на базі яких функціонує установка, а також проведено її метрологічний аналіз.

На основі проведених досліджень розроблений проект нормативного документу для проведення експрес-контролю побутових лічильників газу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гончарук М. І., Чеховський С. А., Середюк О. Є. Рациональне використання природного газу як одна із складових збереження його ресурсів. *Нафтова і газова промисловість*. 2005. № 2. С. 3–10.
2. Андріїшин М.П. Облік природного газу: Довідник / [М.П.Андріїшин, О.М.Карпаш, Я.С.Малярчук, І.С.Петришин та ін.]. – Івано-Франківськ : ПП «СІМІК» , 2008. – 180с.:іл.
3. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості : навч. посіб. / С. А. Чеховський, І. С. Петришин, Н. М. Піндус, С. П. Ващишак, Л. А. Витвицька, М. А. Кононенко, О. Є. Середюк, В. М. Романів. За ред. проф. Чеховського С. А. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 534 с.
4. ДСТУ 4313:2004. Газ природний горючий. Вимірювання витрати. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2004-06-05]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 35 с. (Національний стандарт України).
5. ДСТУ 3383:2015. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. [Чинний від 2016-01-01; на заміну ДСТУ 3383:2007]. Вид. офіц. Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. II, 5 с. (Національний стандарт України).
6. Вимірювання витрати та кількості газу : матеріали всеукр. наук. - тех. конф. “Витратометрія-2005” - Івано-Франківськ - : ІФНТУНГ, Факел, 2007. – 68 с.
7. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 05.06.2014р., № 1314-VII: у редакції від 01.05.2019 р.].
8. ДСТУ 3336-96. Лічильники газу побутові. Загальні технічні вимоги. [Чинний від 1996-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України. 1996. 9 с. (Державний стандарт України).
9. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробовувань. ДСТУ 3607-98. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. – 31с.

10. Борзенко В.І., Кричевська В.Ю. Підвищення ресурсних можливостей газопостачального підприємства на прикладі СУЕГГ ВАТ «Кіровоградгаз». Вісник НТУ «ХП», 2014. №32(1075). С. 150-157.

11. Р50-071-98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки. [Чинний від 1998-03-27]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. III, 20 с. (Рекомендації).

12. Лічильники газу роторні. Загальні технічні вимоги. ДСТУ EN 12480:2006. - К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 40с.

13. ДСТУ 1359:2006. (EN 1359:1998, IDT). Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. IV, 45 с. (Національний стандарт України).

14. Андрієшин М.П. Вимірювання витрати та кількості газу : довідник / М.П. Андрієшин, С.О. Канєвський, [та ін.] – Івано-Франківськ: ПП «СІМІК» , 2004. – 160с.

15. Середюк О. Є., Чеховський С. А., Винничук А. Г. Техніко-метрологічні засади побудови діагностувальних установок для побутових лічильників газу. Нафтова і газова промисловість. 2006. № 6. С. 38–42.

16. Середюк О. Є., Винничук А. Г. Мобільна установка для бездемонтажного діагностування побутових лічильників газу. Нафтогазова енергетика. 2007. № 3(4). С. 76–80.

17. Інструкція щодо обслуговування та експрес-контролю побутових лічильників газу, які знаходяться в експлуатації.- Київ, Держспоживстандарт України, 1996. – 19с.

18. Середюк М.Д. Проектування та експлуатація систем газопостачання населених пунктів / М.Д. Середюк, В.Я. Малик, В.Т. Болонський – Івано-Франківськ : Факел, 2003. – 436с.

19. Ковалко М.П. Трубопровідний транспорт газу: довідник / М.П. Ковалко, В.Я.Гудз. – К.: Арена, 2002. – 598с.

20. Середюк О.Є. Метрологічне забезпечення відтворення і передавання одиниць об'єму і об'ємної витрати природного: дис. доктора техн. наук: 05.01.02 / ІФНТУНГ. Львів, 2009. 350 с.

21. Дослідження температурних режимів потоків в будинкових газових мережах : матеріали всеукр. наук. тех. конф. – Івано-Франківськ, 25 квітня 2010р. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. – С.22-23.

22. Пат. 54316 С2 Україна, МПК(2006) G 01 F 25/00. Устаткування для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / Прудніков Б.І., Середюк О.Є.; заявники і патентовласники Прудніков Б.І., Середюк О.Є. – опубл. 15.03.04, Бюл. №3.

23. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, С. А. Чеховський, А. Г. Винничук, М. І. Гончарук, Б. І. Прудніков: пат. 16522 U Україна, МПК (2006) G01 F 25/00. № u200601289; заявл. 09.02.06; опубл. 15.08.06, Бюл. № 8.

24. Спосіб повірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, Т. В. Лютенко: пат. 116046 Україна, МПК (2017.01) G01 F 25/00. № a201605643; заявл. 25.05.16; опубл. 25.01.18, Бюл. № 2.

25. Спосіб діагностування та перевірки побутових лічильників газу / О. Є. Середюк, А. Г. Винничук: пат. 64070U Україна, МПК (2011.01) G01 F 25/00. № u2001104610; заявл. 14.04.11; опубл. 25.10.11, Бюл. № 20.

26. Винничук А. Г. Вдосконалення методу вимірювання витрати газу з використанням торцевих звужувальних пристроїв: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.11.01 / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2012. 21 с.

27. Лютенко Т. В., Середюк О. Є Аналіз принципів побудови і технічних можливостей засобів для бездемонтажного метрологічного перевіряння побутових лічильників газу. Методи та прилади контролю якості. 2016. № 2 (37). С. 20–29.