

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій
Інформаційно- вимірювальних технологій

Кожухаров Василь Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.121
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Дослідження еталонних витратовимірювальних установок
(назва роботи)

Метрологія і вимірювальна техніка
(назва освітньої програми)

175-Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(шифр і назва спеціальності)

Кожухаров В.В.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Піндус Н.М., к.т.н., доцент

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

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

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

Рецензент

_____ (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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15.10.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Порівняльна характеристика повірочних установок промислових лічильників газу	15.10.–1.11.2024р.	
2.	Опис повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»	02.11.–19.11.2024р.	
3.	Розробка функціональної схеми процесу повірки лічильників газу на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500».	20.11–28.11.2024р.	
4.	Висновки по роботі	29.11–30.11.2024р.	
5.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.12.–13.12.2024р.	

Студент _____
(підпис)

Кожухаров В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Піндус Н.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: «Дослідження еталонних витратовимірювальних установок» Кожухаров В.В., ІФНТУНГ, 2024 , 69 с., 18 рис., 2 табл., 11 джерел.

Об'єкт дослідження –. Приладне забезпечення та точність повірочної витратовимірювальної установки типу УПЛГ-0,16-2500

Мета роботи –. Метрологічне дослідження роботи еталонної повірочної витратовимірювальної установки типу УПЛГ-0,16-2500

У даній магістерській роботі здійснено аналіз та порівняльна характеристика еталонних витратовимірювальних установок побутових та промислових лічильників газу; Проведено аналіз приладного забезпечення еталонної повірочної витратовимірювальної установки УПЛГ-0,16-2500 та спроектовано функціональну схему інформаційно-вимірювального комплексу; Здійснено метрологічний аналіз та розрахунок сумарної похибки інформаційно-вимірювального комплексу на базі ентропійного коефіцієнту.

ПОВІРОЧНА УСТАНОВКА УПЛГ-0,16-2500, ПОБУТОВІ ТА ПРОМИСЛОВІ ЛІЧИЛЬНИКИ ГАЗУ, ЕНТРОПІЙНИЙ КОЕФІЦІЄНТ.

ABSTRACT

Master's Thesis: "Research of Standard Flow Measurement Units" by V.V. Kozhukharov, IFNTUNG, 2024, 69 pages, 18 figures, 2 tables, 11 references.

Research Object: Instrumentation and accuracy of the verification flow measurement unit of the UPLG-0.16-2500 type.

Objective: Metrological research of the operation of the standard verification flow measurement unit of the UPLG-0.16-2500 type.

This master's thesis includes an analysis and comparative characteristics of standard flow measurement units for household and industrial gas meters. The analysis of the instrumentation of the standard verification flow measurement unit UPLG-0.16-2500 has been carried out, and a functional diagram of the information and measurement complex has been designed. A metrological analysis and calculation of the total error of the information and measurement complex based on the entropy coefficient were performed.

VERIFICATION UNIT UPLG-0.16-2500, HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL GAS METERS, ENTROPY COEFFICIENT

ВСТУП.....	7
1 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ	8
1.1 Дзвонові еталонні витратовимірювальні установки	9
1.2 Метрологічна перевірка дзвонової витратомірної системи:	12
1.3 Математичне моделювання алгоритму функціонування вагових компенсаторів дзвонових еталонних установок	13
1.4 Поршневі еталонні витратовимірювальні установки.....	15
1.5 Принцип роботи поршневої еталонної витратовимірювальної установки	17
1.6 Еталонні витратовимірювальні установки з робочими еталонами.....	22
1.6 Принцип роботи еталонних установок з робочими еталонами	24
1.7 Еталонні витратовимірювальні установки соплового типу	24
1.8 Принцип роботи соплових еталонних витратовимірювальних установок.....	25
1.9 Еталонні витратовимірювальні установки з ємністю під тиском (PVTt - типу)	26
1.10 Порівняльна характеристика еталонних витратовимірювальних установок.....	28
1.11 Постановка завдання на магістерську роботу.....	31
2 ОПИС ПОВІРОЧНОЇ УСТАНОВКИ З ЕТАЛОННИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ «УПЛГ-0,16-2500»	32
2.1 Загальні відомості про установку.....	32
2.2 Основні технічні характеристики повірочної установки.....	32
2.3 Склад повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»	35
2.4 Будова та принцип роботи повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500».....	36

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ НА ПОВІРОЧНІЙ УСТАНОВЦІ З ЕТАЛОННИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ «УПЛГ-0,16-2500»	44
3.1 Загальні теоретичні відомості про функціональні схеми	44
3.2 Склад інформаційно-вимірювального комплексу, основні канали та вузли.....	47
3.3 Характеристики давачів повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500».....	49
3.4 Опис і робота еталонних лічильників газу ЕЛГ роторного типу.....	54
3.5 Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювальних каналів.	56
3.6. Розрахунок похибки каналу для вимірювання температури.....	57
ВИСНОВОК	68
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	69

ВСТУП

Прогрес засобів обчислювальної техніки, зокрема персональних комп'ютерів та контролерів, спричинив створення нових видів інформаційно-вимірювальних систем і комплексів. Сучасні інформаційно-вимірювальні прилади вирішують безліч задач, пов'язаних зі збором, трансформацією, передачею і збереженням різноманітних даних про стан фізичних об'єктів. Інформаційно-вимірювальний комплекс (ІВК) є частиною інформаційно-вимірювальної системи і виконує основні операції збирання, обробки, передачі і зберігання даних про об'єкт дослідження. ІВК знаходять все більше застосування в різних сферах народного господарства.

Поява ІВК зумовлена з одного боку ускладненням завдань у наукових дослідженнях, високоточними вимірюваннями для обліку енергоносіїв, необхідністю виконання великих обчислень і підготовки різних інформаційних матеріалів (протоколів вимірювань, графіків залежності досліджуваних величин), а з іншого боку—розвитком недорогих, але ефективних мікропроцесорних вимірювальних засобів. Сучасний етап розвитку ІВК характеризується переходом до створення складних систем, в яких відбувається децентралізована обробка даних, а окремі частини ІВК часто знаходяться на відстані одна від одної. Зростає використання апаратних і програмних засобів для зв'язку на всіх рівнях ієрархії, що дозволяє користувачам компонувати ІВК безпосередньо. Під час розробки і застосування на складних об'єктах нафтогазового та енергетичного секторів, а також у машинобудуванні, ІВК вирішують комплексну задачу: створення систем вимірювань та контролю якості продукції, а також технологічного процесу її виробництва та управління цим процесом з урахуванням локального та системного підходів. Основними завданнями при створенні сучасних ІВК є: висока точність вимірювальних каналів, здатність обробляти велику кількість вхідних сигналів і висока швидкість обробки результатів вимірювань за заданою функцією.

1 ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

Кількість і витрата речовин є одним з найважливіших параметрів, який застосовується для контролю і управління технологічними процесами. Кількість речовини визначається її масою або об'ємом і вимірюється відповідно в одиницях маси (кг) або в одиницях об'єму (m^3) [1].

В рамках міжкафедральної співпраці, а саме кафедри філології та перекладу і кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, проводилася робота щодо поєднання метрологічного та структурно семантичного дослідження витратовимірювальних установок. Така співпраця кафедр ІФНТУНГ продукувала два напрямки досліджень у зазначеній галузі, а саме:

Англійські та українські терміни в галузі метрології: структурно семантичні та перекладацькі особливості що є актуальною проблемою верифікації термінології, української науки та метрологічної діяльності до Європейського рівня.

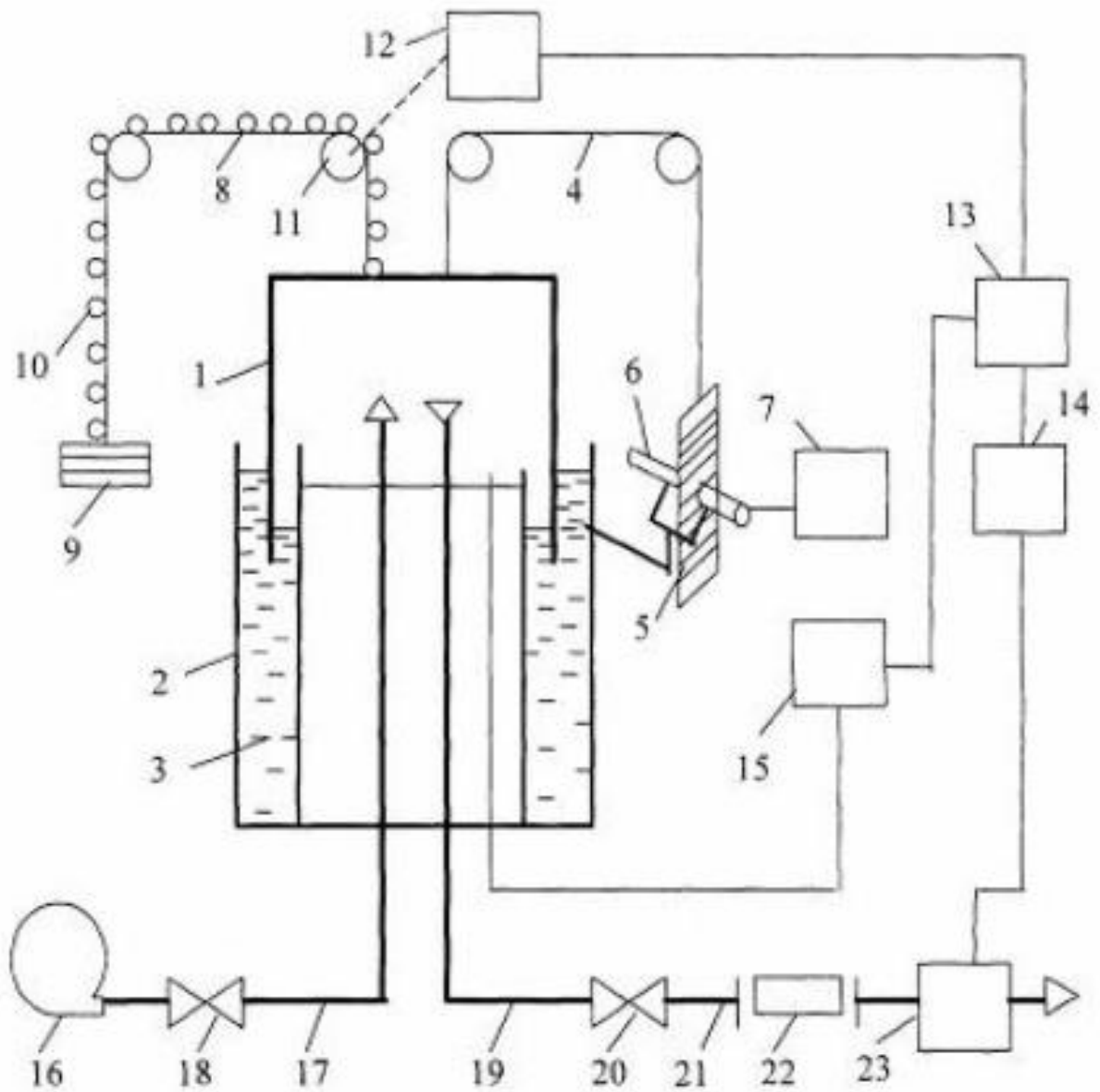
Другим напрямком постала робота над метрологічним дослідженням еталонних витратовимірювальних установок. Здійснюючи за охарактеризованими напрямками досліджень аналіз еталонних витратовимірювальних установок, варто зазначити наступні різновиди витратовимірювальних установок.

1.1 Дзвовні еталонні витратовимірювальні установки

Еталонні установки які використовують дзвовні мірники є загально визнаним інструментом для точного визначення об'єму та витрати газу. Основним елементом цих установок є мірник із дзвоном, нижня частина якого занурена в ємність із рідиною, що називається витіснювачем [1].

На початковому етапі випробувань газ надходить під дзвін із зовнішнього джерела, що змушує дзвін підійматися. Коли мірник заповнюється до заданого об'єму, газопровід перекривають. Далі, після відкриття клапана, який з'єднує простір під дзвоном із випробуваним обладнанням, газ починає витіснятися через досліджуваний пристрій. Об'єм витісненого газу фіксується за шкалою контрольного інструмента. По завершенні роботи клапан знову закривають [1].

Принципова схема дзвовної витратовимірювальної установки зображена на рисунку 1.



1 – дзвін; 2 – резервуар; 3 – рідина; 4 – сталевая стрічка; 5 – контрольна лінійка; 6 – оптоволоконна пара; 7 – мікропроцесорний вимірювач; 8 – гнучка стрічка; 9 – противага; 10 – важки; 11 – обертовий направляючий шків; 12 – гальмівна муфта; 13 – вузол регулювання моменту опору обертання шківа; 14 – задавач; 15 – давач тиску; 16 – повітродувка; 17 – вхідний трубопровід; 18, 20 – швидкодіючий запірний клапан; 19 – вихідний трубопровід; 21 – випробувальна ділянка; 22 – досліджувальний прилад; 23 – пристрій задавання відтворювальних витрат.

Рисунок 1.1 – Принципова схема дзвонової витратовиміральної установки [2]

Установка складається з дзвона 1, зануреного в резервуар 2 з рідиною 3. До дзвона 1 прикріплена контрольна лінійка 5, яка за допомогою сталеві стрічки 4 з'єднана з оптоелектронною парою 6 і мікропроцесорним вимірювачем 7, що дозволяє відстежувати контрольний об'єм газу. Гнучка стрічка 8 з противагою 9 поєднує дзвін 1 із пристроєм стабілізації тиску під дзвоном, що включає компенсаційне устаткування (на схемі не показано), важки 10, обертовий шків 11 з гальмівною муфтою 12 та вузол 13 регулювання моменту опору. Управління роботою вузла 13 здійснюється через задавач 14 режиму і датчик тиску 15 [2].

Установка також оснащена джерелом газу, наприклад повітродувкою 16, вхідним трубопроводом 17 із швидкодіючим клапаном 18 і вихідним трубопроводом 19 з клапаном 20, до якого підключена випробувальна ділянка 21 із досліджуваним приладом 22 та пристроєм 23 для регулювання витрати. Перед випробуванням задавач 14 встановлює необхідний режим роботи вузла 13, який залежить від умов дослідження. Далі визначають положення пристрою 23 для забезпечення потрібного значення витрати. Робочий газ заповнює простір під дзвоном через вхідний трубопровід 17 (клапан 18 відкритий, клапан 20 закритий) до досягнення дзвоном верхнього положення. Після цього клапан 18 закривають. Під час випробування дзвін 1 під власною вагою витискає газ через випробувальну ділянку 21 і досліджуваний прилад 22. Витрата визначається положенням пристрою 23, а об'єм газу вимірюється мікропроцесорним вимірювачем 7, який зчитує переміщення контрольної лінійки 5. Занурення дзвона призводить до змін його ваги через зростання виштовхувальної сили. Водночас вузол 13 за допомогою гальмівної муфти 12 регулює момент опору, компенсуючи зміни в силі тяжіння і гідравлічному опорі. Датчик тиску 15 додатково коригує роботу вузла 13 у разі змін тиску під дзвоном. У процесі градування чи перевірки лічильників газу мікропроцесорним вимірювачем 7 обчислюється контрольний об'єм, який порівнюється з показаннями досліджуваного приладу 22. На основі цього визначають метрологічні характеристики

приладу. Після завершення циклу випробувань (опускання дзвона до нижнього положення) клапан 20 закривають. Аналогічним чином проводиться градуювання витратомірів: обчислюється контрольний об'єм і середнє значення витрати, яке порівнюється з показаннями витратоміра [2].

Особливості дзвонової установки:

- Функціонування за періодично-змінним методом.
- Збільшена точність.
- Розширений спектр доступних об'ємів та об'ємних витрат газу (до співвідношення 1:1000) [1].

1.2 Метрологічна перевірка дзвонової витратомірної системи:

Метрологічна перевірка включає візуальний огляд, а також визначення таких компонентів похибки:

- оцінка точності визначення об'єму дзвону;
- аналіз похибки каналів для вимірювання тиску;
- оцінка похибки каналів температурного моніторингу;
- перевірка точності шкали вимірювання;
- встановлення загальної похибки діагностики.

Під час огляду перевіряють, чи відповідає установка наступним критеріям:

- комплектність системи має узгоджуватися з технічною документацією;

- відсутність будь-яких механічних дефектів, що ускладнюють роботу системи;
- маркування та опломбування мають відповідати технічним вимогам;
- оцінка точності визначення об'єму дзвону [1].

1.3 Математичне моделювання алгоритму функціонування вагових компенсаторів дзвонових еталонних установок

Під час роботи дзвонових еталонних установок опускання дзвона (1, див. рисунок 1.2) під дією його власної ваги забезпечує видавлювання певного об'єму контрольного газу та порівняння цього об'єму з об'ємом, зареєстрованим за відповідний часовий проміжок вимірювальним приладом. Стабільність витрат газу під час цього процесу забезпечується використанням спеціальних систем стабілізації тиску під дзвоном [1].

Одним із таких пристроїв є ваговий компенсатор (2), який компенсує зменшення ваги дзвона в міру занурення його в робочу рідину (витіснювач) (3). Це досягається шляхом пропорційного додаткового навантаження дзвона. Проте існуючі методи управління такими компенсаторами не враховують зміну рівня рідини у витіснювачі в залежності від глибини занурення дзвона і вимагають внесення змін до їх конструкції на основі результатів метрологічних досліджень, проведених під час атестації [1].

1.4 Поршневі еталонні витратовимірювальні установки

Перспективним підходом до вирішення задачі точного вимірювання та відтворення витрати газу є впровадження в установках як зразкових елементів змінних об'ємів у вигляді каліброваних труб із поршневим розділювачем. В останні роки в цьому напрямку активно проводяться дослідницькі роботи як у нашій країні, так і за кордоном. У порівнянні з дзвоновими установками, такі системи є компактнішими, а ефективність використання контрольного об'єму у них вища [1].

Принцип функціонування цих установок полягає у виділенні фіксованого об'єму газу з потоку, що спрямовується до тестованого пристрою, за допомогою каліброваної труби і поршневого розділювача, а також у синхронному записі показів приладу під час проходження цього об'єму крізь нього. За конструктивними особливостями та принципом дії розрізняють установки з примусовим переміщенням поршневого розділювача (ПР) та з його вільним рухом під впливом газового потоку. Залежно від конструкції, існують установки із замкненою системою циркуляції газу і з відкритою. Прикладом є експериментальна установка, створена в Японії, яка використовує поршневий розділювач із примусовим переміщенням у циліндричному резервуарі витіснювача. Хоча вона забезпечує високу точність вимірювань, її застосування для великих витрат газу ускладнене [1].

Установка із замкнутою системою являє собою кільцеву конструкцію, що включає сталеву калібровану трубу, в якій під дією газового потоку переміщається поршневий розділювач з манжетним ущільненням. Для створення потоку в системі використовується повітродувка. Спеціально розроблені клапани та допоміжні трубопроводи забезпечують можливість перемикання або реверсування потоку газу в каліброваному трубопроводі.

Перевагою таких установок є здатність реверсувати потік газу, якщо джерелом витрати є магістральний трубопровід [1].

Однак конструкція ПР із манжетним ущільненням ускладнює їх застосування при високих тисках через високу інерційність розділювача. Установки, розроблені ІФНТУНГ, позбавлені цього недоліку. У них використовуються інноваційні типи ПР, такі як сферичні, циліндричні та розділювачі типу «дисковий пакет». Дослідження показали, що найбільшою точністю характеризуються установки з розділювачами типу «дисковий пакет», представленими в неущільненому та квазіущільненому виконанні. Перспективність створення витратомірної установки обумовлена застосуванням об'ємно-динамічного методу, який забезпечує точне відтворення та вимірювання витрати газу. У якості зразкових змінних об'ємів у таких установках використовуються калібровані труби з поршневым розділювачем [1].

Основний принцип роботи установки полягає у виділенні фіксованого об'єму газу з потоку, що спрямовується до тестованого пристрою, за допомогою каліброваного трубопроводу та поршневого розділювача. Одночасно з цим здійснюється синхронна реєстрація показів приладу в процесі проходження газу через нього [1].

Конструктивні вимоги до установки такі:

- Установка повинна складатися з вимірювального трубопроводу з поршневым розділювачем, лазерних детекторів для визначення положення поршневого розділювача, двох пусково-приймальних пристроїв, прямолінійних ділянок трубопроводу, градуйованого або повіряючого приладу, дистанційних засувки і регулятора тиску, а також електронного обладнання для збору та обробки вимірювальних даних;
- Поршнева об'ємно-динамічна витратомірна установка повинна мати можливість регулювання меж вимірювання. Лазерні оптичні

детектори, встановлені на вимірювальному трубопроводі для визначення положення поршневого розділювача, повинні бути виконані в вибухозахищеному варіанті;

- Установа повинна проводити періодичне градування та перевірку кожного з трьох дифманометрів-витратомірів на окремих вітках газорозподільної станції без необхідності їх демонтажу. Вона повинна дозволяти градування або перевірку будь-якого витратоміра з індивідуальними прямолінійними ділянками, доставленого на градувальну станцію з інших об'єктів газової мережі [1].

Установа забезпечує градування діафрагм для газопроводів діаметром до 400 мм при статичному тиску до 1,47 МПа (15 кгс/см²) і максимальній витраті 44,67 м³/с (150 тис. м³/год) [1].

1.5 Принцип роботи поршневої еталонної витратовимірювальної установки

Основою роботи цієї установки є об'ємно-динамічний метод для точного відтворення та вимірювання витрати газу. Даний метод був запропонований і вперше використаний в дзвонових установках для точного вимірювання витрати та кількості газу. Його основна ідея полягає у відборі фіксованого об'єму газу з загального потоку, що проходить через вимірювальний пристрій (ВП), що працює в стабільному режимі, і реєстрації цього об'єму в процесі його проходження, синхронно з моментом його вхідного і вихідного руху через пристрій. Цей метод дозволив на основі існуючих дзвонових зразкових перемінних ємностей (ЗПЄ) невеликого

об'єму досягти значного збільшення витрати газу, що випробовується, більш ніж у десять разів. Поршнева витратовимірювальна установка розробляється на базі джерела витрати газопроводу високого тиску [1].

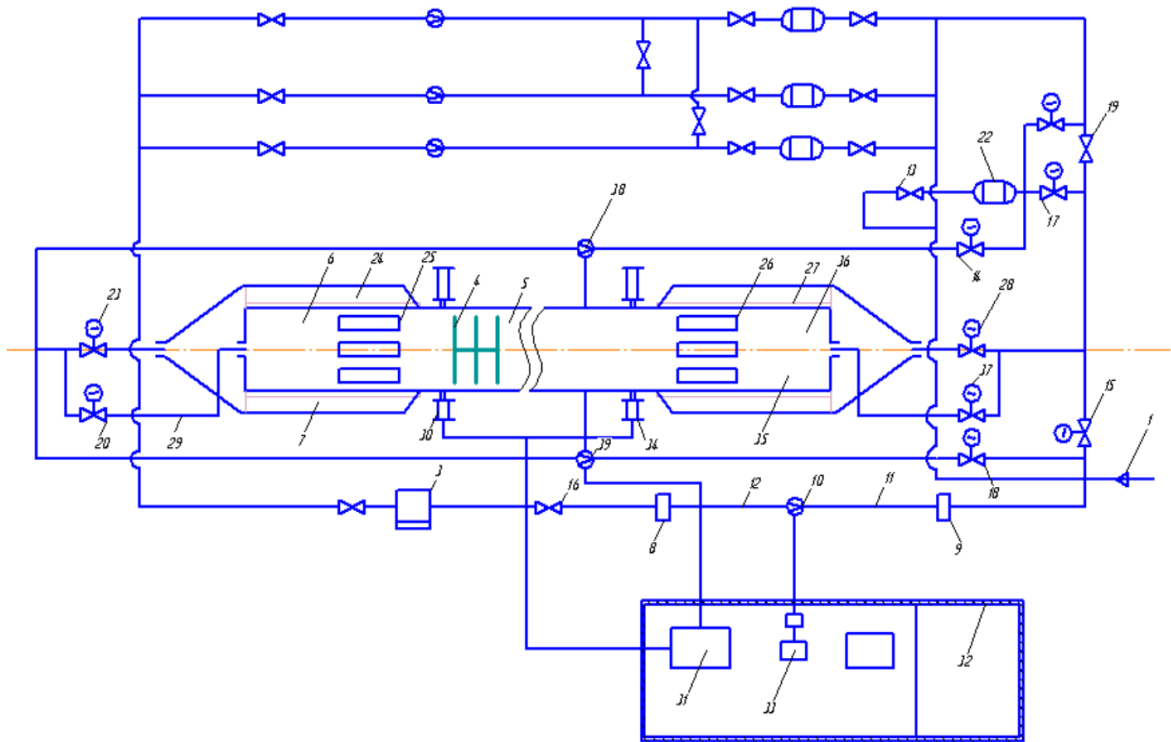
Структурна схема установки зображена на рисунку 1.3. У початковому положенні поршневий розділювач 4 вилучений з вимірювального каналу 5 і перебуває у внутрішньому резервуарі 6 лівого пускоприймаючого пристрою (ППП) 7. Після підготовки та герметичного приєднання за допомогою фланців 8 і 9 тестованого пристрою 10 до прямолінійних секцій 11 і 12 відкриваються клапани 13, 14, 15 і 16 (у той час як клапани 17, 18, 19 і 20 залишаються зачиненими), а обвідний клапан 21 закривається. Потік газу послідовно проходить через газовий трубопровід високого тиску, клапан 13, фільтр 22, клапан 14 і дросельний клапан 23 у зовнішній резервуар 24 лівого ППП 7, а потім через поздовжні щілини 25 у вимірювальний канал (ВТ) 5. У цей момент газ огинає ПР 4, розташований у резервуарі 6. Потік газу потрапляє до трубопроводу низького тиску через поздовжні щілини 26, проходячи через зовнішній резервуар 27 правого ППП, дросельний клапан 28, клапан 15, тестуючий пристрій 10, клапан 16 і регулятор тиску 3. Регулятор тиску 3 та клапан 13 використовуються для встановлення необхідного рівня витрати й статичного тиску [1].

Коли система досягає визначеного тиску й об'ємної витрати, клапан 20 відкривається, і частина газового потоку спрямовується через канал 29 у внутрішній резервуар 6 лівого ППП до контрольної точки. Через те, що частина потоку, яка обтікає контрольну точку, проходить через дросельний клапан 23, а частина, яка надходить по каналу 29, не дроселюється, у лівій частині внутрішнього резервуара 6 створюється тиск, який передається у вимірювальний канал 5. Газ, проходячи крізь поздовжні щілини 25 контрольної точки, захоплюється основним потоком і рухається вздовж вимірювального каналу 5. Регулювання ступеня дроселювання клапаном 23 здійснюється так, щоб до моменту входу контрольної точки у

вимірювальний канал її швидкість відповідала швидкості основного потоку. У вимірювальному каналі контрольна точка рухається повз оптичний лазерний сенсор 30. У цей момент активується електронний таймер, розташований на панелі управління 31 у кімнаті 32. Одночасно визначається положення індикатора допоміжного приладу 33 тестованого витратоміра. Коли контрольна точка проходить повз інший сенсор 34, таймер вимикається. Час переміщення контрольної точки по секції каналу між сенсорами 30 і 34 та об'єм цієї частини використовуються для розрахунку витрати газу через установку, результати якої порівнюються з показниками тестованого пристрою 33. Правий ППП 35 у цьому випадку працює в режимі уловлювання контрольної точки. Під час досягнення контрольної точкою щілин 26 газовий потік починає огинати її, проходячи через щілини у зовнішній резервуар 27 і потім виходячи через зазначений вище маршрут. Завдяки інерційності контрольна точка продовжує рух у внутрішній резервуар 36 правого ППП 35. За умови закритого клапана 37 цей резервуар виконує функцію пневматичного демпфера для контрольної точки, знижуючи її швидкість до нуля. У цей момент усі клапани закриваються, а обвідний клапан 21 відкривається. Мережа трубопроводів і клапанів забезпечує зміну напрямку потоку газу у вимірювальному каналі 5, що дозволяє проводити вимірювання як у прямому напрямку (зліва направо), так і у зворотному. У разі руху контрольної точки справа наліво установка функціонує подібно, але відкриваються клапани 17 і 18 (при цьому клапани 14 і 15 залишаються зачиненими), а запуск контрольної точки здійснюється з правого ППП 35 відкриттям клапана. Тиск у правій частині системи стає вищим, ніж між внутрішнім і зовнішнім резервуарами, що спричиняє рух контрольної точки. Електронний таймер активується при проходженні контрольної точки повз сенсор 34, а режим уловлювання забезпечує лівий ППП 7. Установка оснащена приладом для моніторингу та сигналізації коливань витрати — флуктометром. Цей пристрій включає два сенсори витрати 38 і 39, встановлені у трубопроводах обв'язки (перший використовується під час руху контрольної точки зліва направо, другий —

у зворотному напрямку), а також низькоінерційний допоміжний пристрій, розташований на панелі управління 31 [1].

Під час калібрувального процесу можливі випадкові коливання витрати, що можуть викликати значну похибку в результатах. Флуктометр виявляє та сигналізує перевищення допустимих коливань витрати, виключаючи такі цикли з калібрувального процесу. Система також включає датчики для контролю тиску у високонапірних і низьконапірних лініях, на початку й кінці прямолінійних ділянок звужуючого пристрою, для моніторингу перепаду тиску на поршневому розділювачі, а також для вимірювання температури на вході до вимірювального каналу й у його прямолінійних секціях. Усі ці пристрої виведені на панель управління й регулювання 31. На цій панелі також розташовані диференційний манометр-витратомір, що підлягає калібруванню чи перевірці, та пристрій для моніторингу коливань витрати, що використовується для аналізу перехідних процесів під час калібрувального циклу [1].



3 – регулятор тиску. 4 – поршневий розділювач (ПР). 5 — вимірювальний канал; 6 — внутрішній резервуар лівого пускоприймаючого пристрою; 7 — лівий пускоприймаючий пристрій; 8, 9 — фланець для герметичного з'єднання. 10 — тестований пристрій. 11, 12 — прямолінійна секція. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 — клапан. 21 — обвідний клапан. 22 — фільтр. 23, 28 — дросельний клапан. 24 — зовнішній резервуар лівого ППП. 25, 26 — поздовжні щілини в трубопроводі. 27 — зовнішній резервуар правого ППП. 29 — канал. 30 — оптичний лазерний сенсор. 31 — панель управління. 32 — кімната. 33 — індикатор допоміжного приладу тестованого витратоміра. 34 — сенсор. 35 — правий пускоприймаючий пристрій. 36 — внутрішній резервуар правого ППП. 37 — клапан. 38, 39 — сенсор витрати [1].

Рисунок 1.3 – принципова схема поршневої витратовимірювальної установки

Дана установка застосовується для калібрування та перевірки витратомірів і газових лічильників, а також для точного відтворення і вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу при різних тисках, включаючи як низькі, так і високі значення, а також для проведення випробувань витратомірів і лічильників різних конструкцій [1].

Висока точність вимірювань досягається завдяки високій точності внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу, що забезпечує рівномірний рух розділювача, а також використанню безконтактних детекторів положення розділювача. Уся процедура перевірки автоматизована, збір та обробка даних здійснюються за допомогою електронної обчислювальної техніки (ЕОМ). У таких установках можуть використовуватися не тільки повітря, а й реальні гази. Відносна похибка відтворення об'ємних витрат цією установкою становить 0,1–0,2% [1].

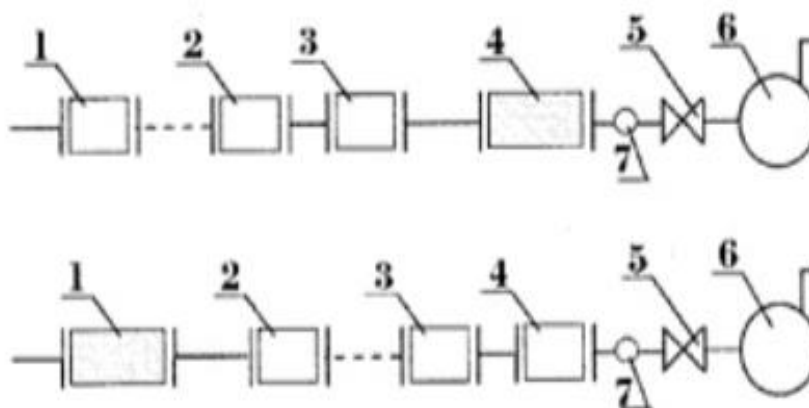
1.6 Еталонні витратовимірювальні установки з робочими еталонами

Еталонні установки з робочими еталонами використовуються для калібрування та перевірки витратомірів і газових лічильників, для точного відтворення і вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. Еталонні пристрої включають спеціально відібрані роторні та барабанні газові лічильники, які виготовляються як робочі вимірювальні прилади, але адаптуються та сертифікуються для використання в ролі еталонів. Для покращення умов експлуатації та впровадження автоматизації процесу перевірки ці прилади оснащуються спеціальними відліковими системами та/або перетворювачами об'ємів, що проходять через них, у електричні імпульсні сигнали. Діапазон вимірювань таких лічильників визначається

залежністю похибки від витрати. Зазвичай похибка еталонних лічильників не перевищує $\pm 0,5\%$ [1].

Основні технічні параметри:

- діапазон вимірювання витрати: від 0,02 до 2500 м³/год;
- робоче середовище: повітря;
- значення контрольних об'ємів: від 0,02 до 14 м³;
- надлишковий тиск середовища в пристрої: від 0,1 до 5 кПа;
- межі основної похибки по об'єму: від 0,25 до 0,5%;
- межі основної похибки по витраті: від 0,15 до 0,5% [1].



- 1, 2, 3 – пристрій, що повіряється; 4 – зразковий пристрій; 5 – регулювальний клапан; 6 – джерело витрати; 7 – дросель.

Рисунок 1.4 - Схематичне зображення еталонної установки з робочими еталонами

1.6 Принцип роботи еталонних установок з робочими еталонами

Принцип функціонування еталонних установок робочими еталонами полягає в виділенні контрольного об'єму газу (або повітря) з потоку, що створюється обертальним генератором витрати б, за допомогою еталонного пристрою 4. Під час передачі одиничного об'єму і об'ємної витрати проводиться збір даних з приладів 1, 2, 3, що перевіряються, а також з еталонного пристрою 4, включаючи вимірювання температури та тиску робочого середовища на кожному з перевірених пристроїв. Контрольний об'єм газу вимірюється як об'єм, що проходить через зразковий пристрій. Різниця між показниками відлікових пристроїв 1-3 та 4, з урахуванням коригувальних факторів для температури та тиску, дозволяє визначити похибки перевірених пристроїв [1].

Використовуються два види перевірочних установок із застосуванням еталонних газових лічильників:

- установки, в яких еталонний пристрій розташований після перевірених або калібруваних пристроїв;
- установки, в яких еталонний пристрій знаходиться перед перевіреними або калібруваними пристроями [1].

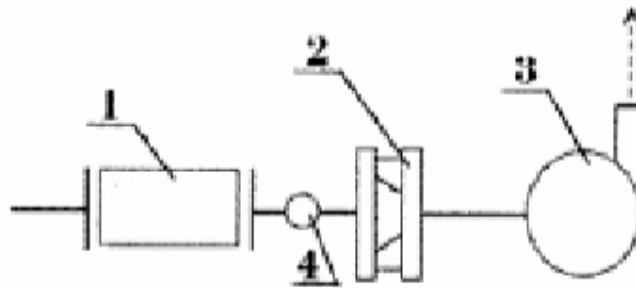
1.7 Еталонні витратовимірювальні установки соплового типу

Еталонні установки соплового типу призначені для калібрування та перевірки витратомірів і газових лічильників, а також для точного

відтворення та вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу, включаючи проведення випробувань різних типів витратомірів і лічильників газу [1].

Основні технічні параметри:

- діапазон вимірювання витрати: від 0,025 до 1000 м³/год;
- робоче середовище: повітря, газ;
- контрольні об'єми: від 0,02 до 14 м³;
- похибка по об'єму: від 0,25 до 0,5%;
- похибка по витраті: від 0,15 до 0,5% [1].



1 - пристрій, що атестується; 2 - сопло; 3 – джерело витрати; 4 - дросель

Рисунок 1.5 – Схематичне зображення установки соплового типу

1.8 Принцип роботи соплових еталонних витратовимірювальних установок

Принцип роботи соплових еталонних установок полягає в створенні надкритичного перепаду тиску через сопло 2, через яке проходить потік газу (або повітря), що генерується генератором витрати 3. У такому випадку швидкість потоку на найвужчому ділянці сопла дорівнює швидкості звуку, що забезпечує високу стабільність протягом тривалого часу. Сопла також

можна використовувати для вимірювання масової витрати газу. Контрольний об'єм газу визначається як добуток витрати газу, що проходить через сопло, та часу вимірювання. Різниця між показами відлікових пристроїв 1 та відомим значенням контрольного об'єму дозволяє визначити похибку приладу [1].

Для отримання різних значень витрат під час повірки використовують різні сопла. Кількість сопел можна значно зменшити, якщо підключити їх паралельно. Також, за наявності дроселювання між відліковим пристроєм і соплом, можна досягти бажаної витрати за допомогою меншої кількості сопел, створюючи майже безперервний інтервал. Ще одне застосування сопел передбачає їх використання поодиночі або паралельно з підключеним зразковим лічильником газу. Основний потік грубо налаштовується відповідно до параметрів сопел, а частина потоку проходить через зразковий лічильник, підібраний в залежності від діапазону. При правильному виборі зразкового лічильника та сопел можна отримати необхідну витрату газу в широкому діапазоні. В таких установках засіб вимірювання часу є зразковим, оскільки час проходження об'єму суттєво впливає на похибку установки. Соплові установки рекомендується використовувати для повірки в режимі витягу повітря вентилятором, оскільки проти течії повітря, що рухається зі швидкістю звуку, не виникають збурення, і робота вентилятора не впливає на точність вимірювань витрати [1].

1.9 Еталонні витратовимірювальні установки з ємністю під тиском (PVTt - типу)

Ці установки є порційно-статичними, і їх принцип роботи базується на витіканні газу з ємності через дифузійний пристрій (ДП). Витікання газу з ємності через випробувальну ділянку з ДП контролюється непрямим шляхом, вимірюючи тиск і температуру, що дозволяє сформувати контрольний об'єм газу, який можна використовувати як еталон для визначення похибок лічильників та витратомірів газу. Такі установки вже активно використовуються в інших країнах. Останнім часом їх дослідженню надається велика увага як за кордоном, так і в Україні. Перевагою цих установок є можливість роботи як на повітрі, так і на реальному природному газі. Крім того, конструктивні особливості, зокрема відсутність механічних рухомих частин у процесі роботи установки, забезпечують високу точність вимірювань – до 0,02%. Однак, оскільки на сьогодні відсутній чіткий алгоритм метрологічного аналізу, точність може бути сумнівною, або це число відображає лише одну зі складових похибки, наприклад, повторюваність або відтворюваність. Водночас у США цей тип установок має невизначеність в межах від 0,02% до 0,05%, а в Японії та Швеції – 0,1% і 0,15% відповідно [1].

Перші вітчизняні розробки даних установок були здійснені в ВАТ «Івано-Франківськгаз», де створено установку з діапазоном витрат від 0,016 до 10 м³/год та похибкою до 0,5%, призначену для перевірки побутових газових лічильників. Серед закордонних рішень є патент, який передбачає використання ємності в режимі її наповнення замість витікання газу. Також важливим аспектом таких установок є стабілізація теплообмінних процесів, що можна досягти за допомогою додаткових факторів для прискорення цих процесів та зменшення температурних градієнтів всередині ємності [1].

Основні тенденції розвитку цих установок полягають у створенні нових, більш вдосконалених алгоритмів для визначення витрат газу та впровадженні нових конструктивних рішень для обмеження впливу порційно-статичного алгоритму. Крім того, використання природного газу як робочого середовища потребує вдосконалення математичних і

метрологічних моделей для точнішого опису газодинамічних процесів під час заповнення ємності та витікання газу з неї. Також необхідні нові алгоритми для більш точного визначення фактора стисливості робочого середовища, враховуючи його параметри в ємності та перед дифузійним пристроєм [1].

1.10 Порівняльна характеристика еталонних витратовимірювальних установок

Дзвонові еталонні витратовимірювальні установки є високоточними інструментами для визначення витрати та об'єму газу, що базуються на принципі витіснення газу під дією ваги дзвона. Використання таких установок дозволяє досягти високої точності та стабільності вимірювань завдяки інтеграції сучасних технологій, зокрема мікропроцесорних вимірювачів, оптоелектронних пар, вагових компенсаторів та математичного моделювання процесів. Інтеграція мікропроцесорних технологій дає змогу підвищити точність вимірювань, автоматизувати процеси контролю та аналізу даних, а також забезпечити зручність експлуатації. Дзвонові установки мають складну конструкцію, що включає дзвін, резервуар із рідиною, контрольну лінійку, ваговий компенсатор і систему стабілізації тиску.

Перевірка та градування витратомірної системи включають візуальний контроль, аналіз компонентів похибки та моделювання фізичних процесів. Вагові компенсатори є ключовим елементом стабілізації витрати газу в дзвонових установках. Вони компенсують зміни ваги дзвона, пов'язані із зануренням у робочу рідину, і забезпечують стабільність вимірювань.

Необхідність вдосконалення існуючих методів управління ваговими компенсаторами обумовлена змінами рівня робочої рідини у витіснювачі. Оптимізація цих методів дозволить підвищити метрологічні характеристики установки. Установки охоплюють широкий діапазон об'ємів і витрат газу, що робить їх універсальними для різних завдань. Висока повторюваність вимірювань і можливість автоматизації процесів сприяють їхньому використанню у сфері метрології та повірки приладів.

Поршневі еталонні витратовимірювальні установки демонструють значний потенціал у вирішенні завдань точного вимірювання та відтворення витрати газу завдяки використанню інноваційних конструкцій і методів вимірювання. У сучасних розробках застосовуються калібровані труби з поршневими розділювачами, що дозволяє забезпечити високу ефективність та компактність установок. На відміну від традиційних дзвонових систем, такі установки здатні працювати при різних рівнях тиску і витрати, пропонуючи гнучкість і точність для широкого спектра застосувань. Сучасні технології, такі як лазерні оптичні детектори положення поршневих розділювачів, забезпечують безконтактний контроль і автоматизацію процесу вимірювань. Використання цих детекторів у вибухозахищеному виконанні розширює можливості застосування установок у складних умовах. Поршневі витратовимірювальні установки дозволяють проводити калібрування та повірку витратомірів без їх демонтажу, що суттєво спрощує експлуатацію і підвищує ефективність. Реверсивність потоку в таких установках забезпечує багатофункціональність і розширює діапазон можливих операцій. Ключовою перевагою є можливість роботи не лише з повітрям, а й з реальними газами, що робить ці установки універсальними для застосувань у промисловості та дослідженнях. Висока точність внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу та точне регулювання динамічних характеристик потоку забезпечують похибку вимірювань у межах 0,1–0,2%, що відповідає найвищим стандартам галузі.

Еталонні витратовимірювальні установки з робочими еталонами також відіграють важливу роль у метрології. Завдяки адаптованим і сертифікованим робочим приладам, таким як роторні та барабанні лічильники, забезпечується точність вимірювань, яка не перевищує $\pm 0,5\%$. Це дозволяє їх використовувати для калібрування витратомірів у широкому діапазоні витрат – від низьких до високих. Еталонні установки з робочими еталонами демонструють високу функціональну ефективність завдяки можливості точного вимірювання контрольного об'єму газу, що проходить через еталонний пристрій. Вони забезпечують коригування показників пристроїв, які перевіряються, за допомогою компенсації впливу температури та тиску. Важливою перевагою є можливість використання двох варіантів схем: з розташуванням еталонного пристрою перед або після повірочних пристроїв, що дозволяє адаптувати установку до специфічних вимог калібрування.

Еталонні установки соплового типу вирізняються здатністю створювати стабільний потік газу за рахунок надкритичного перепаду тиску. Їх унікальність полягає у використанні швидкості звуку на найвужчій ділянці сопла, що мінімізує вплив збурень і забезпечує стабільність вимірювань. Використання різних конфігурацій сопел, у тому числі їх паралельного підключення, дозволяє значно розширити діапазон витрат, які можуть бути відтворені. Ці установки ідеально підходять для перевірки пристроїв у режимі витягу повітря, оскільки відсутність зворотного тиску сприяє підвищенню точності.

Еталонні установки з ємністю під тиском (PVTt-типу) є прикладом інноваційних підходів до вимірювання витрати газу. Їх переваги включають високу точність, можливість роботи як із повітрям, так і з природним газом, а також мінімізацію механічного впливу завдяки відсутності рухомих частин. Разом із цим виникають виклики щодо метрологічного аналізу точності, необхідності стабілізації теплообмінних процесів та вдосконалення математичних моделей.

1.11 Постановка завдання на магістерську роботу

В магістерській роботі подальшим розвитком проведеного аналізу є результати що втілені в проектуванні та метрологічному дослідженні повірочної установки «УПЛГ-0,16-2500».

2 ОПИС ПОВІРОЧНОЇ УСТАНОВКИ З ЕТАЛОННИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ «УПЛГ-0,16-2500»

2.1 Загальні відомості про установку

Установа повірочна з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» (далі за текстом – установка) призначена для визначення та контролю метрологічних характеристик лічильників газу турбінного, роторного, ультразвукового та мембранного типів (далі за текстом - лічильники) в діапазоні об'ємної витрати від 0,016 м³/год до 1250 м³/год під час їх випробувань, повірки, калібрування, налагоджування, вхідного контролю тощо (далі за текстом- перевірка лічильників).

2.2 Основні технічні характеристики повірочної установки

Установа забезпечує індивідуальну автоматизовану перевірку мембранних лічильників (в тому числі лічильників з температурною компенсацією та лічильників з директивною температурою 0 °С або 20 °С) типорозмірів G10, G16, G25 та G40 – по 1 шт. Перевірка лічильників здійснюється з їх низькочастотного виходу (вбудованого низькочастотного датчика імпульсів – геркона).

Установка забезпечує індивідуальну автоматизовану перевірку лічильників роторного типу типорозмірів G10, G16, G25, G40, G65, G100, G160, G250, G400 номінальних діаметрів Dn32, Dn40, Dn50, Dn80, Dn100, Dn150. Перевірка лічильників здійснюється з їх низькочастотного виходу (вбудованого низькочастотного датчика імпульсів – геркона).

Установка забезпечує індивідуальну автоматизовану перевірку ультразвукових лічильників газу типорозмірів G16, G25, G40, G65, G100, G160, G250, G400 номінальних діаметрів до Dn150.

Установка забезпечує індивідуальну автоматизовану перевірку ультразвукових лічильників газу турбінного типу типорозмірів G100, G160, G250, G400, G650, G1000 номінальних діаметрів до Dn150.

Установка дозволяє визначати основну відносну похибку лічильників при заданих значеннях об'ємної витрати, які вказані в нормативних документах на повірку лічильників, і знаходяться в межах діапазонів вимірювання еталонних лічильників газу (далі за текстом – ЕЛГ). Коефіцієнти перетворення ЕЛГ за цих значень витрати наведені у сертифікаті калібрування ЕЛГ або розраховані у відповідності з інтерполяційними рівняннями, що приведені у даному сертифікаті. Установка дозволяє визначати втрати тиску на лічильниках, а також контролювати поріг чутливості лічильників.

Установка дозволяє здійснювати автоматичний вихід на задану об'ємну витрату у діапазоні від 0,016 м³/год до 1250 м³/год, а також спостерігати індикацію значення витрати та інших вимірюваних параметрів (температура, вологість, тиск) на екрані монітора персональної електронно-обчислювальної машини (далі за текстом - ПЕОМ).

Основні параметри технічного призначення повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» подані в таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Основні параметри технічного призначення повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

Найменування характеристик	Значення характеристик
1. Діапазон об'ємної витрати, в якому нормована розширена невизначеність вимірювань об'єму газу, м ³ /год	від 0,016 до 1250
2. Розширена невизначеність вимірювань об'єму газу установкою, %, в діапазоні об'ємної витрати: - від 0,016 м ³ /год до 1250 м ³ /год	± 0,3
3. Розширена невизначеність вимірювань об'єму газу ЕЛГ, %, в діапазоні об'ємної витрати: - від 0,016 м ³ /год до 0,1 м ³ /год - від 0,1 м ³ /год до 1250 м ³ /год	+0,28
4. Параметри живлення ПЕОМ та повітродувок: - напруга, В - частота, Гц	380 ± 22 50 ± 0,5
5. Споживана потужність, кВА, не більше	5,5
6. Габаритні розміри (довжина×ширина×висота), м, не більше	3,6×3,3×1,5
Примітка. При перевірці лічильників відхилення заданої об'ємної витрати повітря від номінальних значень не повинні перевищувати величин, встановлених нормативно-технічними документами на повірку лічильників.	

2.3 Склад повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

До складу повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» входять:

- трубопроводи з пневматичними клапанами і обладнаними місцями для встановлення лічильників газу, що повіряються, та місцями для встановлення еталонних лічильників газу, первинних перетворювачів (датчиків) каналів вимірювання температури, вологості, тиску і об'ємної витрати;
- вузол створення та регулювання об'ємної витрати повітря, який складається з джерела створення об'ємної витрати повітря повітродувки(вентилятора) та блоку керування витратою;
- ЕЛГ роторного типу (3 шт.);
- ЕЛГ барабанного типу (1 шт.);
- силовий блок керування;
- блок перетворення сигналів;
- блок комутації сигналів;
- блок живлення;
- блок вимірювання та індикації;
- ПЕОМ (з вмонтованими платами інтерфейсу);
- програмне забезпечення;
- принтер;
- інтерфейсний кабель;
- кабельний джгут каналів вимірювання температури, тиску і об'ємної витрати;
- стіл оператора ПЕОМ;
- крісло оператора ПЕОМ;

- комплект монтажних частин;
- комплект документації.

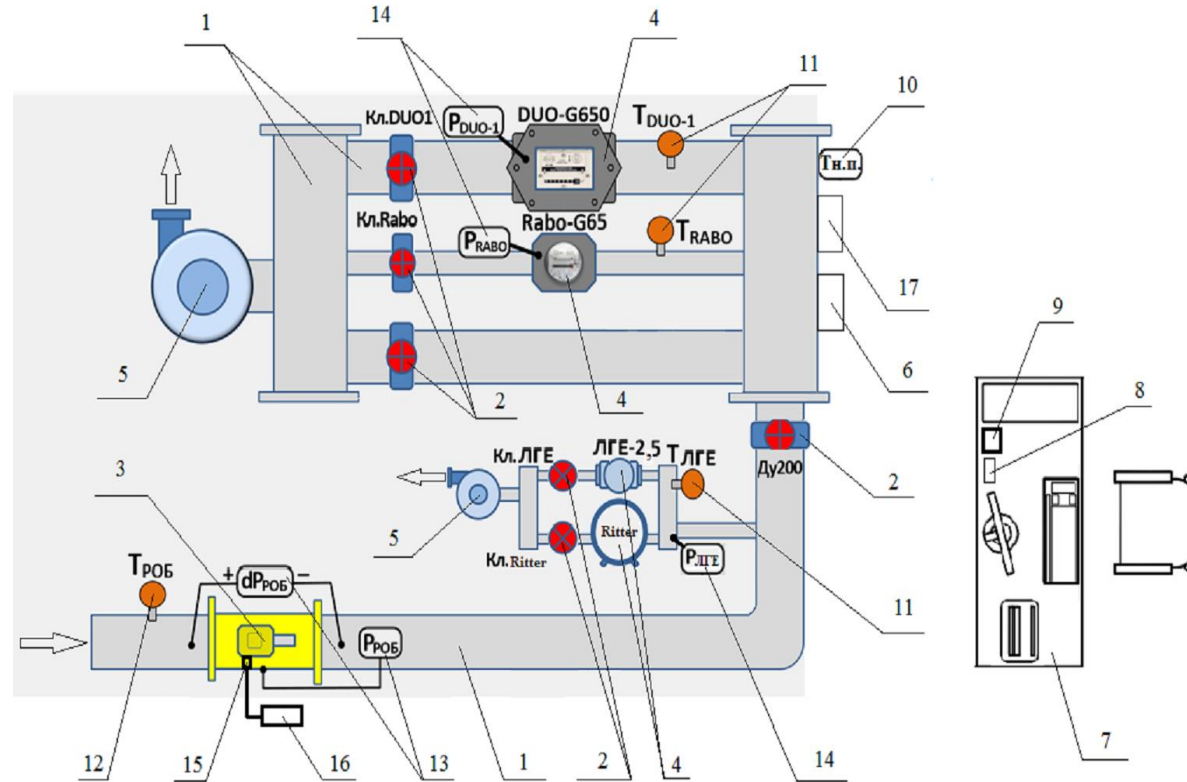
ЕЛГ, що входять до складу установки, повинні мати сертифікати калібрування.

Програмне забезпечення установки (далі за текстом – програма) розраховане на використання в середовищі операційної системи "Windows 7". Програма встановлена на жорсткий диск або на SSD-диск ПЕОМ. Резервна копія програми записана на локальному диску D або E у директорії "СОPI PОВЕРКА" (файл для запуску "Verifi-Counter.exe").

Як джерело створення об'ємної витрати повітря при перевірці лічильників із застосуванням ЕЛГ роторного та барабанного типу використовують відцентрові вентилятори з автоматичним регулюванням обертів (далі за текстом – повітродувки), що створюють розрідження не менше 3200 Па (326 мм вод. ст.).

2.4 Будова та принцип роботи повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

Технологічна схема повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» зображена на рисунку 2.1:



1- трубопроводи; 2 – пневматичні запірні клапани; 3 – лічильник газу, що перевіряється; 4 – еталонний лічильник газу (ЕЛГ); 5 – повітродувка; 6 – блок керування витратою; 7 – стіл оператора ПЕОМ; 8 – блок живлення; 9 – блок вимірювання та індикації; 10 – Пристрій для вимірювання температури та вологості повітря (гігрометр-психрометр); 11- датчик температури на вході в ЕЛГ; 12 – датчик температури на вході лічильника газу, що перевіряють; 13- датчик тиску та втрати тиску на вході лічильника газу, що перевіряють; 14 – датчик тиску в ЕЛГ; 15 – НЧ(ВЧ) імпульсний вихід лічильника газу, що перевіряється; 16 – блок перетворення сигналів; 17 – блок комутації сигналів.

Рисунок 2.1 - Технологічна схема повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

Основу повірочної установки (рисунок 2.1) складають:

- трубопроводи 1 з пневматичними запірними клапанами 2 і обладнаними місцями для встановлення лічильників газу, що перевіряються 3, та місцями для встановлення еталонних лічильників газу 4;
- вузол створення та регулювання об'ємної витрати повітря, який складається з джерела створення об'ємної витрати повітря повітродувки (вентилятора) 5 та блоку керування витратою 6.

Керування установкою здійснюється за допомогою ПЕОМ, що розміщена на столі оператора ПЕОМ 7 разом з принтером, блоком живлення 8 та блок вимірювання та індикації 9.

Установка обладнана каналами вимірювання температури:

- з датчиком температури 10, котрий вимірює температуру та вологість повітря (гігрометр-психрометр).
- з датчиками температури 11, які вимірюють температуру повітря на вході в ЕЛГ;
- з датчиком температури 12, який вимірює температуру повітря на вході лічильника газу 3, що перевіряють;

Установка обладнана каналами вимірювання тиску:

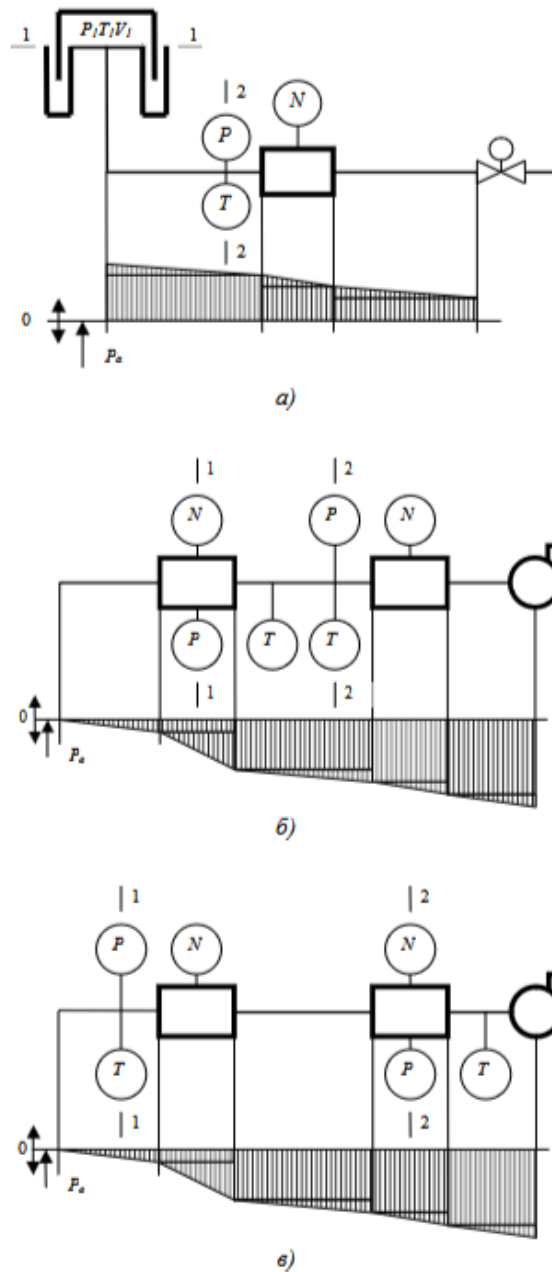
- з датчиком тиску 13, який вимірює тиск повітря та втрату тиску повітря на вході лічильника, що перевіряють;
- з датчиками тиску 14, які вимірюють тиск повітря в ЕЛГ.

Установка обладнана блоком керування витратою 6 для контролю порогу чутливості лічильників.

Принцип роботи установки полягає у безпосередньому звіренні результатів вимірювань об'єму повітря лічильниками, що перевіряють, з результатами вимірювань ЕЛГ, що входять до складу установки. Звірення результатів вимірювань об'єму повітря здійснюється з урахуванням тиску, температури та вологості навколишнього повітря та температури повітря, що протікає через лічильник газу, що перевіряється, та еталонний лічильник газу.

Виміряні значення об'єму повітря лічильником газу, що перевіряється, визначаються в автоматизованому режимі за кількістю імпульсів, яку отримано з низькочастотного/високочастотного НЧ(ВЧ) імпульсного виходу (геркона) 15 лічильника газу з допомогою блоку перетворення сигналів 16, що під'єднується до даного виходу і який в свою чергу передає дані сигнали на блок комутації сигналів 17 та блок вимірювання та індикації 9.

Якщо передача контрольованого об'єму до кожного з робочих стандартів виконується від еталона об'єму газу дзвонового типу, а кожному робочому стандарту призначаються коефіцієнти перетворення з високою точністю, то чинники, які впливають на похибку обладнання, досі не повністю досліджені. Одним із таких чинників є зменшення робочого тиску в трубопроводах. Якщо цей чинник не врахувати, то обладнання матиме додаткові похибки вимірювань. На рис. 2.2 показано гідравлічні втрати в трубопроводах обладнання [6].



- а) під час передачі контрольованої величини об'єму газу до робочого стандарту від еталона об'єму газу дзвонового типу;
- б) під час калібрування газових лічильників на установці УПЛГ-2500, коли лічильники розташовані перед робочим стандартом об'єму;
- в) під час калібрування газових лічильників на установці УПЛГ-2500, коли лічильники розташовані після робочого стандарту об'єму.

Рисунок 2.2 – Схеми передачі контрольованого об'єму газу до робочого стандарту та газових лічильників [6].

Обробка даних, що надходять від ЕЛГ, датчиків температури, вологості і тиску, блоку керування витратою, проводиться за допомогою програми, розробленої згідно з вимогами нормативних документів на повірку лічильників газу, а результати перевірки (значення похибки лічильника газу при заданій об'ємній витраті та інші вимірювані параметри) відображуються на екрані монітора ПЕОМ.

За необхідності, результати вимірювань (або протокол перевірки лічильника газу) можуть бути роздруковані принтером. Приклад оформлених результатів вимірювань на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» у формі протоколу випробовування лічильника газу наведений на рисунку 2.3. Також на рисунку 2.4 приведений протокол випробовування лічильника газу, що не пройшов повірку.

**РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНОЇ ВІДНОСНОЇ ПОХИБКИ
НА УСТАНОВЦІ УПЛГ-0,16-2500, №1 ТОВ НВЦ "ІВТ",
м.Івано-Франківськ**

**Протокол № 006
повірки лічильника газу
від 23.02.2024 р.**

Тип лічильника: Rabo G100 Dn80 (Qmax=160)

Рік виготовлення: 2019

Кількість імпульсів на 1м3: 1

Діапазон вимірювань, м3/год.: 1-160

Атм. тиск, кПа: 97,5

Відн. вологість повітря, %: 50,2

Темпер. навкол. повітря, °С: 20,6

Заводський номер: 77090803

Початкові покази:

Покази після перевірки:

Витрата	Робочий еталон	Дійсне значення витрати	Об'єм виміряний робочим еталоном	Об'єм виміряний лічильником	Розрідження в робочому еталоні	Розрідження в лічильнику	Температура в робочому еталоні	Температура в лічильнику	Основна відносна похибка
		м ³ /год.	м ³	м ³	Па	Па	°С	°С	%
Qmax	DUO-650	157,1	8,009	8	352	358	19,08	19,76	-0,348
Qmax	DUO-650	154,5	8,005	8	351	358	19,14	19,74	-0,275
0.5Qmax	Rabo-G65	83,01	4,017	4	873	117	19,17	19,77	0,151
0.5Qmax	Rabo-G65	82,9	4,022	4	876	117	19,28	19,82	0,048
0.1Qmax	Rabo-G65	16,68	1,995	2	95	23	19,00	19,42	0,178
0.1Qmax	Rabo-G65	16,57	2,002	2	95	23	19,08	19,30	-0,100
Qmin	ЛГЕ-2,5	1,027	1,011	1	41	19	19,33	18,90	-0,920

Найбільше значення основної відносною похибки за витрати Q: $Q_{min} \leq Q < 0.1 Q_{max}$ -0,92 %
 $0.1 Q_{max} \leq Q \leq Q_{max}$ -0,348 %

Втрата тиску на лічильнику за максимальної витрати 346 Па

Персонал, який виконував роботи з повірки

(Підпис)

(П.І.Б)

Рисунок 2.3 - Протокол повірки лічильника газу на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

Протокол № 12215
повірки лічильника газу
від 14.12.2023 р.

Тип лічильника: Курс-01-G250A3
Рік виготовлення: 2016
Кількість імпульсів на 1м3: 1
Діапазон вимірювань, м3/год.: 4-400
Атм. тиск, кПа: 97,6
Відн. вологість повітря, %: 48,6
Темпер. навкол. повітря, °С: 20,7
Заводський номер: 12215
Початкові покази:
Покази після перевірки:

Витрата	Робочий еталон	Дійсне значення витрати	Об'єм виміряний робочим еталоном	Об'єм виміряний лічильником	Розрідження в робочому еталоні	Розрідження в лічильнику	Температура в робочому еталоні	Температура в лічильнику	Основна відносна похибка
		м ³ /год.	м ³	м ³	Па	Па	°С	°С	%
Qmax	DUO-650-1	399,2	25,06	25	1048	105	19,68	19,52	0,785
Qmax	DUO-650-1	399,2	25,04	25	1061	108	19,45	19,27	0,885
0.7Qmax	DUO-650-1	287,5	16,03	16	569	62	19,18	18,95	0,413
0.7Qmax	DUO-650-1	290,1	16,03	16	574	58	19,30	19,16	0,388
0.4Qmax	DUO-650-1	165,1	9,906	10	212	32	19,54	19,48	1,155
0.4Qmax	DUO-650-1	165,1	9,911	10	212	28	19,58	19,53	1,104
0.25Qma	DUO-650-1	103,9	7,053	7	103	20	19,59	19,52	-0,641
0.25Qma	DUO-650-1	103,9	7,04	7	104	18	19,62	19,54	-0,455
0.1Qmax	Rabo-G16	41	3,845	4	189	15	19,65	19,47	4,279
0.1Qmax	Rabo-G16	41,11	3,852	4	188	15	19,66	19,46	4,094
0.05Qma	Rabo-G16	20,45	1,896	2	100	15	19,68	19,35	5,695
0.05Qma	Rabo-G16	20,45	1,892	2	99	15	19,70	19,36	5,923
Qmin	Rabo-G16	4,1	2,118	2	69	15	19,90	19,19	-5,290

Найбільше значення основної відносною похибки за витрати Q: $Q_{min} \leq Q < 0.05 Q_{max}$ -5,29 %
 $0.05 Q_{max} \leq Q \leq Q_{max}$ 5,923 %

Втрата тиску на лічильнику за максимальної витрати 928 Па

Персонал, який виконував роботи з повірки

(П.1.1.1)

(П.1.1.2)

Рисунок 2.4 - Протокол повірки лічильника газу на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500», що не пройшов повірку

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЦЕСУ ПОВІРКИ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ НА ПОВІРОЧНІЙ УСТАНОВЦІ З ЕТАЛОННИМИ ЛІЧИЛЬНИКАМИ «УПЛГ-0,16-2500»

3.1 Загальні теоретичні відомості про функціональні схеми

Функціональні схеми є основним технічним документом для розуміння основних принципів роботи системи. Вони містять детальну інформацію про функціональну структуру окремих елементів системи автоматичного управління, регулювання, контролю, сигналізації та оснащення об'єкта керування приладами, автоматизацією та обчислювальною технікою [3].

При розробці функціональних схем автоматизації технологічних процесів потрібно вирішити такі завдання:

1. збір початкових даних про стан технологічного процесу та обладнання;
2. контроль і реєстрація параметрів технологічних процесів та стану обладнання;
3. прямий вплив на технологічний процес для його управління;
4. стабілізація параметрів процесу [3].

Ці завдання виконуються на основі аналізу умов роботи технологічного обладнання, запропонованих принципів і критеріїв управління об'єктом, вимог до системи керування з урахуванням якості регулювання, надійності роботи, точності контролю та реєстрації параметрів, а також вибору необхідних технічних засобів.

Різноманітність технологічних процесів навіть у межах однієї галузі, а також різні вимоги до автоматизації, створюють певні труднощі під час розробки систем і схем управління конкретними об'єктами.

При розробці функціональної схеми слід керуватися загальними принципами:

1. Рівень автоматизації технологічного процесу в кожен момент часу має визначатися не лише доцільністю впровадження необхідного набору технічних засобів і рівнем досягнутих науково-технічних розробок, а й перспективами розвитку та вдосконалення процесів. Має бути забезпечена можливість розширення функцій управління.
2. При проектуванні функціональних і інших схем автоматизації та виборі технічних засобів необхідно враховувати тип і особливості технологічного процесу, умови пожежної та вибухової небезпеки, агресивність та токсичність навколишнього середовища, параметри і фізико-хімічні властивості середовища, відстань між точками встановлення датчиків, допоміжних пристроїв, виконавчих механізмів, приводів і запірних елементів до пунктів управління та контролю, а також вимоги до точності і швидкості роботи автоматизованих систем.
3. Система автоматизації технологічних процесів повинна в основному базуватися на серійно вироблених засобах обчислювальної техніки. Потрібно прагнути до використання однотипних засобів автоматизації та уніфікованих систем, які мають простоту з'єднання, взаємозамінність і зручність монтажу на щитах управління. Використання однакових приладів дає суттєві переваги в монтажі, налаштуванні, експлуатації, а також у забезпеченні запасними частинами.
4. Для локального збору і накопичення даних, регулювання датчиків, вторинних приладів і виконавчих механізмів, доцільно

використовувати переважно засоби автоматизації та прилади вітчизняного виробництва.

5. Якщо функціональні схеми автоматизації не можуть бути побудовані на основі лише серійної апаратури, під час проектування видаються відповідні технічні завдання на розробку нових засобів автоматизації.
6. Вибір засобів автоматизації, що потребують додаткової енергії (електричної, пневматичної чи гідравлічної), визначається умовами пожежної та вибухової небезпеки об'єкта, агресивністю навколишнього середовища, вимогами до швидкодії, відстані передачі сигналів і управлінської інформації та іншими чинниками.
7. Кількість приладів, апаратури для управління та сигналізації на операційних щитах і пультах має бути обмежена. Надмірне обладнання ускладнює експлуатацію, відволікає увагу персоналу від основних приладів, що визначають хід технологічного процесу, підвищує вартість монтажу і тривалість робіт. Прилади і засоби автоматизації допоміжного призначення краще розміщувати на окремих щитах, розташованих у виробничих приміщеннях поруч з технологічним обладнанням [10].

Перераховані принципи є загальними, але не повними для всіх ситуацій, що можуть виникнути під час проектування систем автоматизації технологічних процесів [10].

Результатом розробки функціональних схем є:

1. Вибір методів вимірювання технологічних параметрів;
2. Вибір основних технічних засобів автоматизації, що найкраще відповідають вимогам і умовам експлуатації автоматизованого об'єкта;
3. Визначення приводів для виконавчих механізмів, регулюючих і запірних елементів технологічного обладнання, які керуються автоматично або дистанційно;

4. Розміщення засобів автоматизації на панелях, пультах, технологічному обладнанні і трубопроводах, а також визначення методів подачі інформації про стан технологічного процесу та обладнання.

3.2 Склад інформаційно-вимірювального комплексу, основні канали та вузли.

При створенні ІВК потрібно враховувати, що вони повинні виконувати одну або кілька із зазначених функцій:

- 1) прямі, непрямі, сумісні вимірювання фізичних величин;
- 2) управління процесом вимірювань і вплив на об'єкт вимірювання;
- 3) показ результатів вимірювань оператору в заданій формі.

Для реалізації цих функцій ІВК повинні забезпечувати:

- 1) сприймання, перетворення та обробку електричних сигналів від ПВП;
- 2) управління ЗБТ і технічними елементами, що входять до складу ІВК;
- 3) формування нормованих електричних сигналів, які є вхідними для засобів впливу на об'єкт вимірювання;
- 4) оцінку точності вимірювань і надання результатів вимірювань у формах, визначених нормативними документами.

Функціональну схему процесу визначення та контролю метрологічних характеристик газового лічильника на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» показано на рисунку 3.1.

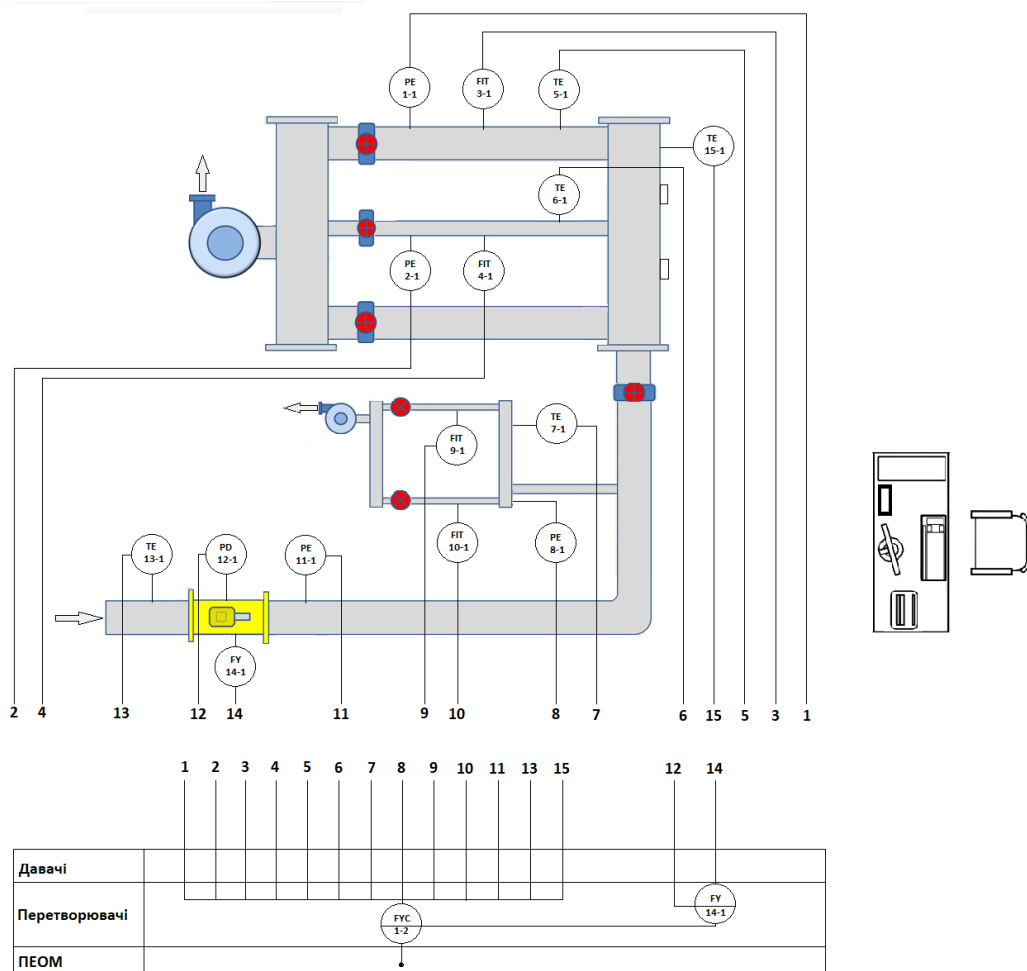


Рисунок 3.1.- Функціональна схема повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500».

Призначення ІВК повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» – це забезпечення процесу визначення та контролю метрологічних характеристик газових лічильників турбінного, роторного, ультразвукового та мембранного типів (далі – лічильники) в межах об’ємної витрати від 0,016 м³/год до 1250 м³/год. До складу ІВК входять такі канали:

1. контроль температури та вологості навколишнього повітря;
2. контроль температури повітря на вході в ЕЛГ;
3. контроль температури повітря на вході лічильника газу, що перевіряється;

4. контроль тиску повітря та втрати тиску на вході лічильника, що перевіряється;
5. контроль тиску повітря в ЕЛГ;
6. контроль та регулювання об'ємної витрати повітря, що вимірюється лічильником, який перевіряється, та ЕЛГ.

Для досягнення потрібної точності ІВК важливо правильно вибрати первинні вимірювальні перетворювачі, оскільки похибка інформаційно-вимірювальних каналів загалом залежить від похибки первинного перетворювача (давача). Ще одним фактором, що впливає на вибір первинних перетворювачів, є їх економічна доступність [4].

3.3 Характеристики давачів повірочної установки з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500»

У розробленій функціональній схемі процесу визначення та контролю метрологічних характеристик лічильника газу на повірочній установці з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» необхідно вимірювати:

- температуру та вологість навколишнього повітря;
- температуру повітря на вході в ЕЛГ;
- температуру повітря на вході лічильника газу, що перевіряється;
- тиск повітря та втрату тиску повітря на вході лічильника, що перевіряється;
- тиск повітря в ЕЛГ;
- об'єм повітря, що протікає через лічильник, що перевіряється;

- об'єм повітря, що протікає через ЕЛГ.

Для вимірювання зазначених параметрів повірочна установка з еталонними лічильниками «УПЛГ-0,16-2500» обладнана наступними давачами:

1) для вимірювання температури та вологості навколишнього повітря

– датчик температури і вологості НТ-602 (психрометр), який вимірює температуру та вологість навколишнього повітря (діапазон вимірювання температури 10-40 °, діапазон вимірювання вологості 10-95 %), технічні характеристики якого наступні:

- межі вимірювання температури – 10 °С ...+40 °С;
- вихідний сигнал – струмовий 4...20 мА;
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

2) для вимірювання температури повітря на вході в ЕЛГ -

термоперетворювач опору ПВ-109Т Pt 100 з чутливим елементом з платини, технічні характеристики якого наступні:

- межі вимірювання температури – 0 °С ...+50 °С;
- номінальна статична характеристика - Pt 100 ;
- вихідний сигнал – струмовий 4...20 мА;
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

Принцип дії термоперетворювача опору (ТО) заснований на властивості провідників (або напівпровідників) змінювати свій електричний опір при зміні температури.

Термоперетворювач опору ПВ-109Т Pt 100 призначений для вимірювального перетворення температури газоподібних, рідких, твердих і сипучих речовин в аналоговий (4...20мА, 0...20мА, 0...5мА, 0...10В тощо) сигнал.

ТО складається з первинного термоперетворювача, розміщеного в захисній арматурі, в комутаційну частину якого (головку, з'єднувальну

коробку) інтегровано вимірювальний перетворювач ПВ-109, який може мати круглу або прямокутну форму. Термоперетворювачі ПВ-109Т з аналоговим виходом (переважно струмовим) виготовляються лише для конкретного, заздалегідь визначеного діапазону температур (відповідно до замовлення).

3) для вимірювання температури повітря на вході лічильника, що перевіряють – термоперетворювач опору ПВ-109Т Pt 100 з чутливим елементом з платини, технічні характеристики якого наступні:

- межі вимірювання температури – 0 °С ...+50 °С;
- номінальна статична характеристика - Pt 100 ;
- вихідний сигнал – струмовий 4...20 мА;
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

4) для вимірювання тиску повітря та втрати тиску повітря на вході лічильника, що перевіряється - датчик тиску MPX5004-1V1DP. Технічні характеристики датчика тиску MPX5004-1V1DP наступні:

- діапазон вимірювань – 0... 3,5 кПа;
- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

Датчик тиску MPX5004-1V1DP - це п'єзорезистивний датчик, який використовує тензорезистори для вимірювання тиску, принцип роботи:

1. Мембрана: Датчик має тонку кремнієву мембрану, яка деформується під впливом тиску.

2. Тензорезистори: На мембрані розташовані чотири тензорезистори, які з'єднані в мостову схему.

3. Зміна опору: Під впливом деформації мембрани тензорезистори змінюють свій опір. Ця зміна опору призводить до розбалансу мостової схеми.

4. Сигнал: Розбаланс мостової схеми перетворюється на електричний сигнал. Цей сигнал підсилюється і обробляється для вимірювання тиску.

5) для вимірювання тиску повітря в ЕЛГ - датчик тиску MPX 5004-2V. Технічні характеристики датчика тиску MPX 5004-2V наступні:

- діапазон вимірювань – 0... 3,5 кПа;
- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

б) для вимірювання об'єму повітря, що протікає через лічильник, що перевіряється - виміряні значення об'єму повітря лічильником газу, що перевіряється, визначаються в автоматизованому режимі за кількістю імпульсів, яку отримано з низькочастотного/високочастотного НЧ(ВЧ) імпульсного виходу (геркона) лічильника газу з допомогою блоку перетворення сигналів БПС-6, що під'єднується до даного виходу і який в свою чергу передає дані сигнали на блок комутації сигналів та блок вимірювання та індикації.

Технічні характеристики блоку перетворення сигналів БПС-6 наступні:

- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%.

7) для вимірювання об'єму повітря, що протікає через ЕЛГ – еталонний лічильник газу роторного типу, який входить до складу установки – лічильник газу роторний типу RABO G65 Dn50 Pn16 виробництва фірми Elster, Німеччина. Конструкція еталонного лічильника газу RABO G65 Dn50 Pn16 зображена на рисунку 3.2:

Конфігурація газового лічильника Rabo G65 DN50

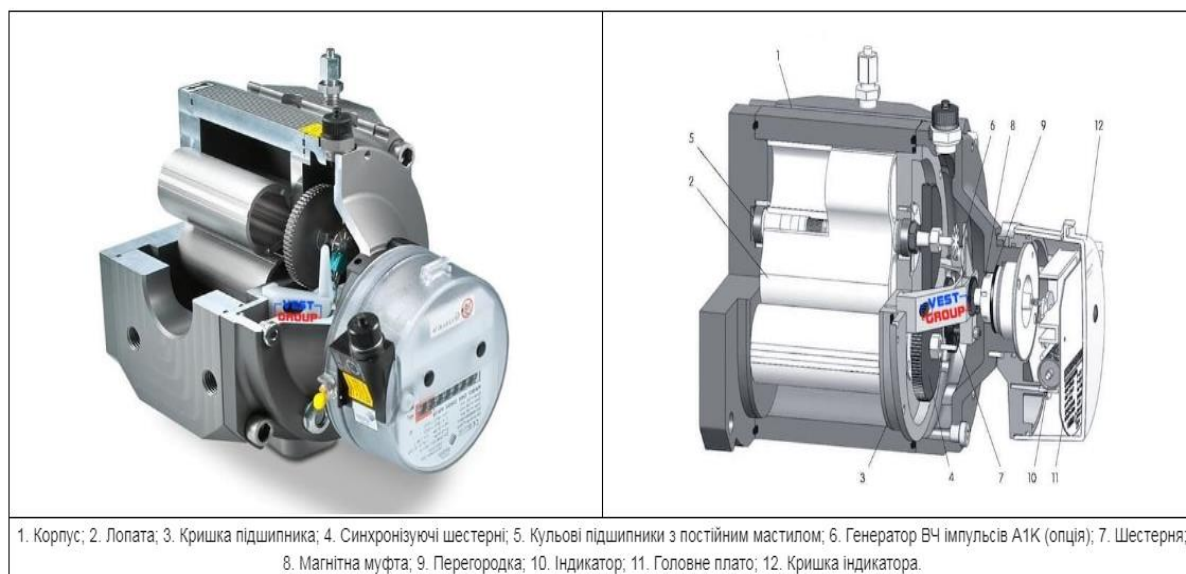


Рисунок 3.2 - Конструкція еталонного лічильника газу (робочого еталону об'єму газу) роторного типу RABO G65 Dn50 Pn16.

Лічильник об'єму газу Rabo (Elster, Німеччина) - роторний лічильник, застосовується як лічильний пристрій у комерційних вузлах обліку України. Лічильник Rabo призначений для вимірювання об'єму природного газу за ГОСТ 5542-87, пропану, повітря, азоту, інертних та інших неагресивних газів.

Принцип роботи лічильника Rabo заснований на обертанні роторів під час проходження газу через лічильник. Газ, що надходить через вхідний патрубок, сприяє обертанню ротора. При обертанні ротора, газ потрапляє в камери, об'єм яких вимірюється за допомогою лопатей ротора. Під час обертання ротора відбувається розподіл газу між окремими камерами, що фіксується на основі кількості обертів. Ротор має зубці або інші конструктивні елементи, що дозволяють точно контролювати об'єм газу, що проходить через лічильник. Для забезпечення точності вимірювань, використовуються компенсаційні механізми, що враховують температуру та тиск газу на вході. Для точного вимірювання газу в умовах змін температури і тиску, використовуються температурні і тискові компенсаційні механізми, які коригують показники лічильника в залежності

від фізичних умов газу. Це дозволяє досягти високої точності вимірювань, незалежно від зовнішніх змін [8].

Основні технічні характеристики еталонного лічильника газу роторного типу RABO G65 Dn50 Pn16:

- типорозмір – G65;
- робочий діапазон температур: від мінус 40 до +70 °С;
- максимальний тиск - 16 bar;
- максимальна витрата Q_{\max} - 100 м³/год;
- мінімальна витрата Q_{\min} - 5 м³/год;
- допустима відносна похибка в діапазоні:
- $Q_{\min} \leq Q \leq Q_t - \pm 2\%$;
- $Q_t \leq Q \leq Q_{\max} - \pm 1\%$;
- основна допустима похибка 0,35%.

3.4 Опис і робота еталонних лічильників газу ЕЛГ роторного типу

ЕЛГ роторного типу (рис.3.2.) складається з корпусу 2, герметично закритого з двох сторін кришками 3 і 4. У корпусі розміщено два ротори вісімкоподібної форми, що зв'язані між собою синхронізуючими шестернями, які забезпечують необхідне взаємне положення роторів при їх обертанні. Вали роторів обертаються у двох парах підшипників, що розміщені на бічних стінках корпусу. У задню кришку ЕЛГ вмонтований датчик ДІБ (1), торець якого знаходиться на відстані 1,5...2 мм від чотирипелюсткової (або семипелюсткової) крильчатки, закріпленої на валу одного з роторів.

Вимірювання об'єму газу здійснюється внаслідок обертання роторів ЕЛГ за рахунок різниці тиску на вході і виході, при цьому за кожен повний оберт валу ротора відбувається чотирикратне заповнення і спорожнення робочої

камери ЕЛГ. Обертання роторів, за допомогою датчика ДІБ, перетворюється в електричні імпульсні сигнали, кількість яких пропорційна об'єму повітря, що протекло через ЕЛГ. Ці сигнали надходять в ПЕОМ, яка здійснює їх обробку за заданою програмою з урахуванням введених коефіцієнтів ЕЛГ. Вимірювальний об'єм ЕЛГ визначається простором між внутрішньою поверхнею корпусу і поверхнями роторів, а необхідна точність вимірювання забезпечується за рахунок точності виготовлення деталей, що визначають вимірювальний об'єм, і оптимальної величини зазору між роторами і корпусом. При цьому точність вимірювання не залежить від пито-мої ваги, в'язкості, температури, постійної або змінної швидкості газового потоку, оскільки метрологічні характеристики ЕЛГ визначаються тільки геометричними розмірами його робочої камери.

Значення коефіцієнтів перетворення (кількість імпульсів, яка відповідає 1 м³ газу, що протік через ЕЛГ) вказана в сертифікатах калібрування ЕЛГ.

Для контролю та регулювання об'ємної витрати повітря, що вимірюється лічильником, який перевіряється, та ЕЛГ - блок керування витратою БКВ-6,1 для контролю порогу чутливості лічильників. Технічні характеристики блок керування витратою БКВ-6,1 наступні:

- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,2%.

Усі результати вимірювань вказаних параметрів передаються у вигляді сигналів на блок комутації сигналів БКС -6,1, технічні характеристики якого наступні:

- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,5%,

та в подальшому опрацьовуються в автоматизованому режимі з допомогою блоку вимірювання та індикації БВІ-6,5, технічні характеристики якого:

- вихідний сигнал - 4..20 мА.
- напруга живлення – 12...36 В;
- основна допустима похибка 0,2%.

3.5 Метрологічний аналіз інформаційно-вимірювальних каналів

ІВК є специфічними для конкретного об'єкта, тому при вирішенні задач метрологічного аналізу потрібно розглядати як сам ІВК, так і об'єкт в цілому, оскільки ІВК сприймає та вимірює фізичні параметри полів, пов'язаних з об'єктом. Як правило, важливість розв'язання зворотних задач збільшується при оцінці параметрів об'єкта.

При розробці вимірювальних каналів слід враховувати похибки всіх його складових елементів. До складу ІВК входять: датчики, перетворювачі, блоки керування, комутації, вимірювання та індикації інформації, наприклад, блок вимірювання та індикації БВІ-6,5. Найбільшу похибку вносить первинний вимірювальний перетворювач, тому основна похибка ІВК визначатиметься переважно похибками датчиків [5].

Похибки складових вимірювальних каналів:

- 1) похибка датчика температури і вологості навколишнього повітря НТ-602 (психрометра) $\varepsilon_{t1}=0,5\%$;
- 2)) похибка термоперетворювача опору ПВ-109Т Pt 100 на вході в ЕЛГ $\varepsilon_{t2}=0,5\%$;

- 3) похибка термоперетворювача опору ПВ-109Т Pt 100 на вході лічильника, що перевіряють $\varepsilon_{t3}=0,5\%$;
- 4) похибка датчика тиску MPX5004-1V1DP повітря та втрати тиску повітря на вході лічильника, що перевіряється $\varepsilon_{p1}=0,5\%$;
- 5) похибка датчика тиску MPX 5004-2V повітря в ЕЛГ $\varepsilon_{p2}=0,5\%$;
- 6) похибка блоку перетворення сигналів БПС-6 $\varepsilon_{бпс}=0,5\%$;
- 7) похибка еталонного лічильника газу роторного типу RABO G65 Dn50 Pn16 $\varepsilon_{елг}=0,35\%$;
- 8) похибка блоку керування витратою БКВ-6,1 $\varepsilon_{бкв}=0,2\%$;
- 9) похибка блоку комутації сигналів БКС-6,1 $\varepsilon_{бкс}=0,5\%$;
- 10) похибка блоку вимірювання та індикації БВІ-6,5 $\varepsilon_{бві}=0,2\%$;
- 11) похибка ПЕОМ $\varepsilon_{п\text{ЕОМ}}=10^{-6}\%$.

Визначимо результуючу похибку системи контролю для довільного значення довірчої ймовірності за допомогою ентропійного коефіцієнта. Перевагою цього методу обчислення результуючих похибок вимірювальних каналів є те, що він дає уявлення про закон їх розподілу та дозволяє оцінити довірчу ймовірність, що, в свою чергу, дозволяє визначити інтервал невизначеності.

3.6. Розрахунок похибки каналу для вимірювання температури

Канал для вимірювання температури складається з наступних вузлів:

- 1) датчика температури і вологості навколишнього повітря (психрометра);
- 2) термоперетворювача опору на вході в ЕЛГ;

- 3) термоперетворювача опору на вході лічильника, що перевіряють;
- 4) блоку комутації сигналів;
- 5) блоку вимірювання та індикації;
- 6) ПЕОМ.

Під час обчислення загальної похибки каналу, перш за все, кожній із складових похибки потрібно призначити відповідний розподіл, визначити середнє квадратичне відхилення (СКВ) і поділити похибки на адитивні та мультиплікативні.

1) Похибка датчика температури і вологості навколишнього повітря (психрометра) нормована по паспорту максимальним значенням $\gamma_{t1} = 0,5\%$. Для того, щоб від цього значення перейти до СКВ, необхідно знати вид закону розподілу похибки.

Похибка датчика температури і вологості навколишнього повітря (психрометра) є мультиплікативною і розподіленою за нормальним законом [7].

Задаємо значення ймовірності рівне 0,99 і по таблиці нормального розподілу знаходимо, що ймовірності $P = 0,99$ відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$. Звідси шукане $\sigma_{t1} = 0,5/2,3 = 0,218\%$, а параметри закону розподілу (табл. 3.1) $k=2,066$; $\varepsilon = 3$; $\chi = 0,577$.

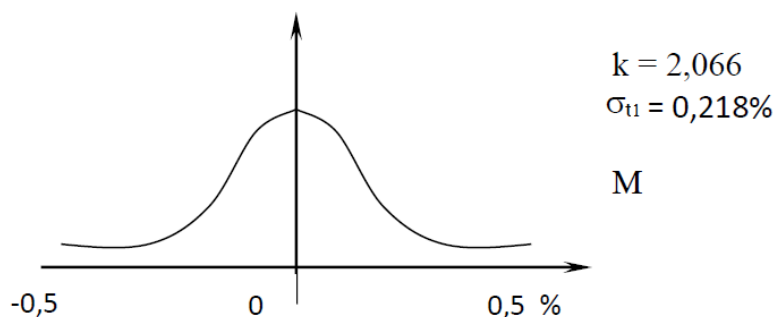


Рисунок 3.3- Нормальний закон розподілу похибки датчика температури і вологості навколишнього повітря (психрометра).

Таблиця 3.1 – Параметри розподілів

№ п/п	Клас розподілу	Δ_m/σ	ε	χ	k
1	Нормальний	–	3	0,577	2,066
2	Рівномірний	$\sqrt{3} \approx 1,73$	1,8	0,745	1,73
3	Трапецеї- дальний	$\sqrt{4,15} \approx 2,04$	1,9	0,745	1,83
4		$\sqrt{4,8} \approx 2,19$	2,016	0,745	1,94
5		$\sqrt{5,2} \approx 2,32$	2,184	0,745	2,00
6	Трикутний	$\sqrt{6} \approx 2,44$	2,4	0,645	2,02
7	Арсину- соїдальний	$\sqrt{2} \approx 1,41$	1,5	0,816	1,11
8		$4/\sqrt{5,2} \approx 1,79$	1,72	0,752	1,76
9		2	2,25	0,667	1,88

2) Похибка термоперетворювача опору на вході в ЕЛГ нормована по паспорту максимальним значенням $\gamma_{t2} = 0,5\%$. Для того, щоб від цього значення перейти до СКВ, необхідно знати вид закону розподілу похибки.

Похибка термоперетворювача опору на вході в ЕЛГ є мультиплікативною і розподіленою за нормальним законом [7].

Задаємо значення ймовірності рівне 0,99 і по таблиці нормального розподілу знаходимо, що ймовірності $P = 0,99$ відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$. Звідси шукане $\sigma_{t2} = 0,5/2,3 = 0,218\%$, а параметри закону розподілу (табл. 3.1) $k=2,066$; $\varepsilon = 3$; $\chi = 0,577$.

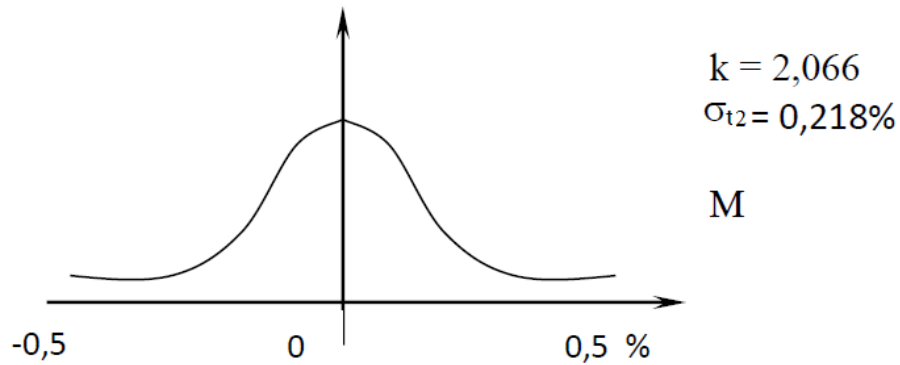


Рисунок 3.4- Нормальний закон розподілу похибки термоперетворювача опору на вході в ЕЛГ.

3) Похибка термоперетворювача опору на вході лічильника, що перевіряють, нормована по паспорту максимальним значенням $\gamma_{t3} = 0,5\%$. Для того, щоб від цього значення перейти до СКВ, необхідно знати вид закону розподілу похибки.

Похибка термоперетворювача опору на вході лічильника, що перевіряють, є мультиплікативною і розподіленою за нормальним законом [7].

Задаємо значення ймовірності рівне 0,99 і по таблиці нормального розподілу знаходимо, що ймовірності $P = 0,99$ відповідають границі в $\pm 2,3\sigma$. Звідси шукане $\sigma_{t3} = 0,5/2,3 = 0,218\%$, а параметри закону розподілу (табл. 3.1) $k=2,066$; $\varepsilon = 3$; $\chi = 0,577$.

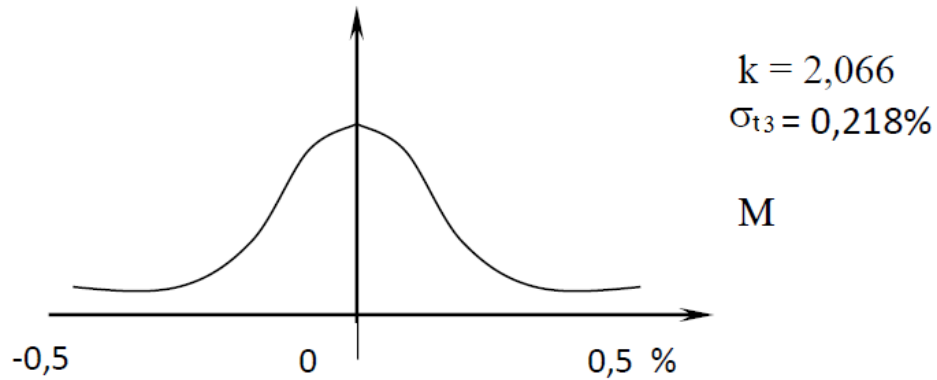


Рисунок 3.5- Нормальний закон розподілу похибки термоперетворювача опору на вході лічильника, що перевіряють.

4) Похибка блоку комутації сигналів $\gamma_{\text{бкс}}$ - 0,5% є адитивною і розподілена за трикутним законом розподілу [7].

Середнє квадратичне відхилення для трикутного розподілу $\sigma = \gamma_{\text{max}}/\sqrt{6}$, тому $\sigma_{\text{бкс}} = \gamma_{\text{бкс}}/\sqrt{6} = 0,5/\sqrt{6} = 0,204\%$. Параметри трикутного розподілу (Сімпсона): $k=2,02$ $\varepsilon = 2,4$; $\chi = 0,645$.

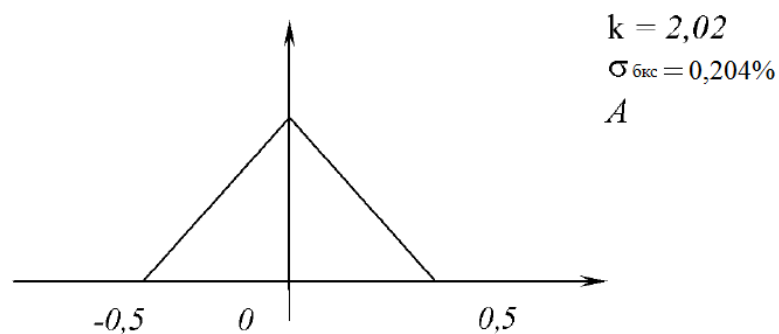


Рисунок 3.6.- Трикутний закон розподілу похибки блоку комутації сигналів.

5) Похибка блоку вимірювання та індикації вказується в паспорті приладу і зумовлена в основному похибкою аналогово-цифрового перетворення. Дана похибка складає $\gamma_{\text{бві}}=0,2\%$, є адитивною і

розподілена по рівномірному закону розподілу. Тому $\gamma_{\text{бві}}=0,2\%$ можна вважати половиною ширини цього рівномірного розподілу і визначити СКВ як $\sigma_{\text{бві}} = \gamma_{\text{бві}} / \sqrt{3} = 0,2/\sqrt{3} = 0,115\%$. Для рівномірного розподілу $k=1,73$ $\varepsilon = 1,8$ і $\chi = 0,745$.

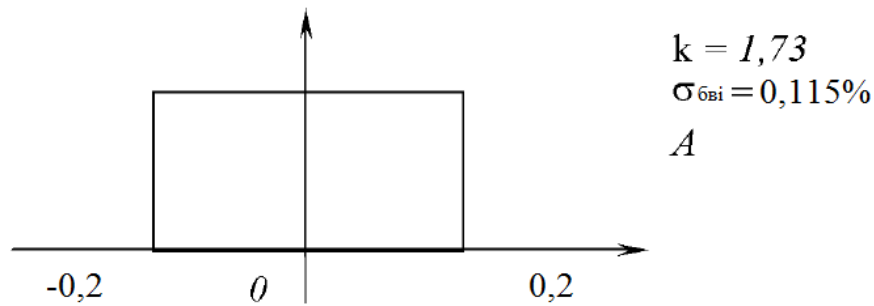


Рисунок 3.7 – Рівномірний закон розподілу похибки блоку вимірювання та індикації.

Похибка ПЕОМ, як і похибка контролера ($\gamma_{\text{ПЕОМ}}$), є адитивною, а закон розподілу будемо вважати рівномірним з шириною $\pm 10^{-6}\%$. Тоді СКВ цієї похибки $\sigma_{\text{ПЕОМ}} = \gamma_{\text{ПЕОМ}}/\sqrt{3} = 5,78 \times 10^{-7}\%$. Параметри рівномірного розподілу: $k = 1,73$; $\varepsilon = 1,8$ і $\chi = 0,745$.

Отже, визначено всі складові похибки (адитивні і мультиплікативні), їх закони розподілу, обчислено СКВ. Цей результат для наглядності представлений на рис.3.1 – 3.6, де буквами А і М відмічені відповідно адитивні і мультиплікативні складові похибки.

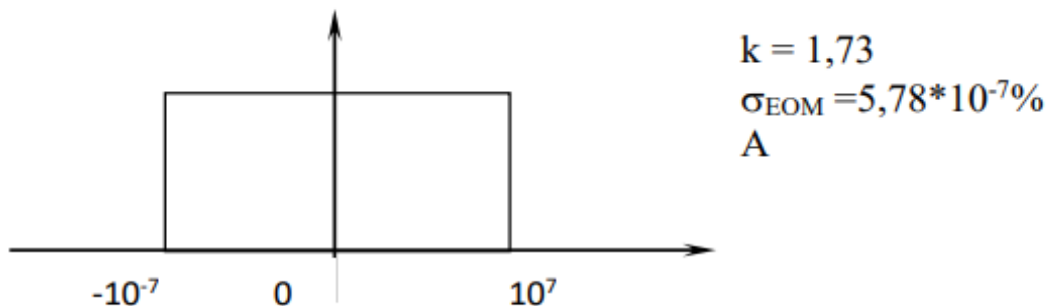


Рисунок 3.8 – Рівномірний закон розподілу похибки ПЕОМ.

Для визначення похибки як функції від зміни вимірюваної величини, усі складові похибки діляться на адитивні та мультиплікативні. Спочатку обчислюється сума адитивних складових, що дає адитивну частину результуючої похибки, а потім сума мультиплікативних складових, що визначає мультиплікативну складову похибки. Для усунення впливу деформацій форми законів розподілу при сумуванні, всі складові похибки виражаються через свої стандартні квадратичні величини (СКВ). У результаті сумування СКВ вихідних складових визначаються СКВ для адитивної і мультиплікативної частин результуючої похибки. Розрахунок результуючої похибки зводиться до обчислення похибки, яка включає всі складові.

Вибір методу сумування (алгебраїчного чи геометричного) залежить від того, чи є похибки, що сумуються, корельованими чи незалежними. Зазвичай спочатку виділяються корельовані похибки, які сумуються алгебраїчно. Корельованими вважаються похибки, що мають спільну причину та однакову форму закону розподілу, яка залишається незмінною при алгебраїчному сумуванні. Для алгебраїчного сумування корельованих похибок необхідно визначити їх знак. Після врахування кореляційних зв'язків всі похибки можна сумувати як незалежні. У вимірювальному каналі температури корельованих похибок немає, тому результуючу похибку слід обчислювати як квадратний корінь з суми квадратів усіх складових.

Похибка даного каналу для вимірювання температури включає в себе 6 складових:

- 1) похибку датчика температури і вологості навколишнього повітря (психрометра) $\sigma_{t1} = 0,218\%$;
- 2) похибку термометрорівняча опору на вході в ЕЛГ $\sigma_{t2} = 0,218\%$;
- 3) похибку термометрорівняча опору на вході лічильника, що перевіряють $\sigma_{t3} = 0,218\%$;

4) похибку блоку комутації сигналів $\sigma_{\text{бкк}} = 0,204\%$;

5) похибку блоку вимірювання та індикації $\sigma_{\text{бві}} = 0,115\%$;

6) похибку ПЕОМ $\sigma_{\text{ПЕОМ}} = 5,78 \times 10^{-7} \%$.

Проте легко замітити що похибка ПЕОМ є надзвичайно малою і при піднесенні до кореня буде мати мізерний вплив на значення результуючої похибки, тому за правилом нехтування малими складовими, можна знехтувати нею.

Визначальними для каналу вимірювання температури є наступні складові:

- похибка термоперетворювача опору на вході лічильника, що перевіряють $\sigma_{\text{тз}} = 0,218\%$;
- похибка блоку вимірювання та індикації $\sigma_{\text{бві}} = 0,115\%$.

Отже, СКВ похибки вимірювального каналу температури визначається як:

$$\sigma_{\text{T}} = (\sigma_{\text{тз}}^2 + \sigma_{\text{бві}}^2)^{1/2} = (0,218^2 + 0,115^2)^{1/2} = 0,247 \approx 0,25\%. \quad (3.1)$$

Одна з компонент похибки ($\sigma_{\text{тз}}$) розподілена нормально, а інша ($\sigma_{\text{бві}}$) – рівномірно.

Для обчислення ексцеса та ентропійного коефіцієнта результуючого розподілу потрібно визначити вагу дисперсії рівномірної складової в загальній дисперсії, отриманій шляхом сумування.

$$p = \sigma_{\text{бві}}^2 / (\sigma_{\text{тз}}^2 + \sigma_{\text{бві}}^2) = \sigma_{\text{бві}}^2 / \sigma_{\text{T}}^2 = 0,115^2 / 0,25^2 = 0,21 \quad (3.2)$$

Ентропійний коефіцієнт k_{T} для комбінації нормального та рівномірного розподілів визначається за кривою 5 (рисунок 3.9, б), згідно з якою при $p = 0,21$ значення k_{T} дорівнює 2,02.

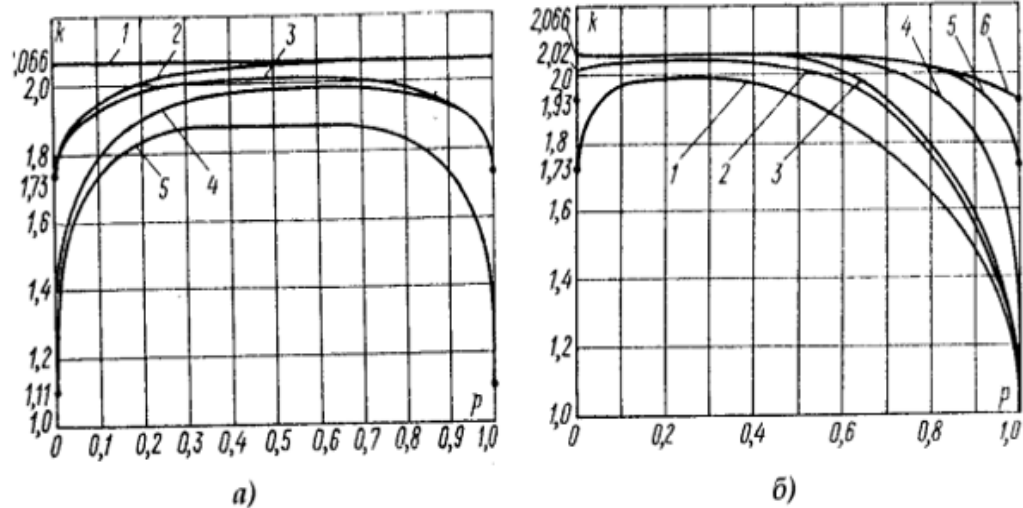


Рисунок 3.9. – Графіки залежності ентропійного коефіцієнта k_Σ від співвідношення сумованих складових і їх ентропійних коефіцієнтів

а) крива 1 – відповідає сумуванню двох складових розподілених нормально;

2 – рівномірна з нормальною; 3 – дві складові розподілені рівномірно; 4 – арксинусоїдальна і рівномірна; 5 – два арксинусоїдальних розподіла;

б) криві 1 – 3 відповідають сумуванню рівномірного, трикутного і нормального розподілу з дискретним двохранчим розподілом; 4 – 6 сумування нормального розподілу відповідно з арксинусоїдальним, рівномірним і експоненціальним

Згідно з Таблицею 3.1 «Параметри розподілів», значення $k_T = 2,02$ відповідає трикутному закону розподілу. Таким чином, у нашому випадку сума нормального та рівномірного розподілів дасть похибку, що підпорядковується трикутному закону.

Звідси ентропійне значення похибки вимірювального каналу температури:

$$\gamma_T = k_T \times \sigma_T = 2,02 \times 0,25 = 0,505 \approx 0,51 \%. \quad (3.3)$$

У разі потреби ентропійну оцінку похибки можна подати у

вигляді довірчої похибки. Довірча ймовірність обчислюється за наступною формулою:

$$P_d = 0,899 + 0,1818/\varepsilon, \quad (3.4)$$

Згідно Таблиці 3.1 «Параметри розподілів» для трикутного закону розподілу $\varepsilon=2,4$, відповідно

$$P_d = 0,899 + 0,1818/\varepsilon = 0,899 + 0,1818/2,4 = 0,975 \approx 0,98 \% \quad (3.5)$$

, тобто $\gamma_T = 0,51\%$ відповідає $\gamma 0,98$.

Аналогічним чином на основі інформаційного підходу (ентропійного коефіцієнту) була визначена сумарна похибка інформаційно-вимірювального комплексу «УПЛГ-0,16-2500»

Ентропійне значення похибки вимірювального каналу тиску:

$$\gamma_p = k_p * \sigma_p = 0,38\% \quad (3.6)$$

При необхідності представити отриману ентропійну оцінку похибки в формі довірчої похибки. Довірча ймовірність розраховується за наступним співвідношенням :

$$P_{dp} = 0,899 + 0,1818/\varepsilon_p. \quad (3.7)$$

У результаті цього отримаємо $P_{dp} = 0,899 + 0,1818/3,45 = 0,95$, тобто $\gamma_p = 0,38\%$ відповідає $\gamma_{0,95}$

Ентропійне значення похибки вимірювального каналу витрати:

$$\gamma_{T2} = k_{T2} \sigma_{T2} = 2,066 * 0,4 = 0,63\% \quad (3.8)$$

При необхідності представити отриману ентропійну оцінку похибки можна в формі довірчої похибки. Довірча ймовірність розраховується за наступним співвідношенням [5]:

$$P_{dT2} = 0,899 + 0,1818/\varepsilon_{T2} \quad (3.9)$$

У результаті цього отримаємо $P_{dT2} = 0,899 + 0,1818/3,88 = 0,95$,

тобто $\gamma_{дт2}=0,63\%$ відповідає $\gamma_{0,95}$

У результаті розрахунків обчислено сумарну похибку інформаційно-вимірального комплексу, що становить: $\gamma=0,78\%$, при розрахованій ймовірності $P=0,9\%$

ВИСНОВОК

В результаті виконання даної магістерської роботи, були здійснені дослідження, що дозволили формування даних висновків:

1. Проведено порівняльний аналіз еталонних витратовимірювальних установок для побутових та промислових лічильників газу.
2. Досліджено приладне забезпечення еталонної установки УПЛГ-0,16-2500 та розроблено функціональну схему інформаційно-вимірювального комплексу.
3. Виконано метрологічний аналіз та обчислено сумарну похибку комплексу з використанням ентропійного коефіцієнту.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Теоретичні основи метрологічного забезпечення витратовимірювання: конспект лекцій / С.А. Чеховський, О.Є. Середюк, Н.Б. Долішня. – Івано-Франківськ: ІФНУНГ, 2011. - 94с.
2. Пат. 27563 У Україна, МПК G01F 25/00. Дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Середюк Д.О., Винничук А.Г., Середюк О.Є., Чеховський С.А. ; заявник і патентовласник Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. - № у 200705883 ; заявлено 29.05.2007. – 3 с. : іл.
3. Проектування систем автоматизації [Текст]: навч. посібник / М.С. Пушкар, С.М. Проценко – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 268 с
4. Інформаційно-вимірювальні комплекси у нафтовій та газовій промисловості: практикум. Піндус Н.М., Долішня Н.Б - Івано-Франківськ: ІФНУНГ, 2012.- 38 с.
5. Інформаційно-вимірювальні комплекси у нафтовій та газовій промисловості: курсове проектування. Піндус Н. М., Долішня Н. Б., Марчук Т. З. - Івано-Франківськ: ІФНУНГ, 2012.-74с.
6. Аналіз схем передачі одиниці об'єму газу робочими еталонами при повірці лічильників газу, Воцинський В.В., Методи та прилади контролю якості, № 9, 2002. С. 48-52
7. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. В 68 Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. -Вінниця: ВДГУ, 2001. –219с.
8. Паспорт лічильника газу роторного типу Elster® RABO
9. Піндус Н.М.. Технологічні вимірювання і прилади: конспект лекцій. – Івано-Франківськ ІФНУНГ, 2005.- 258 с
10. Інформаційно-вимірювальні комплекси в НГП : Посібник / Піндус Н.М., Чеховський С.А., Воцинський В.С. - ІФНУНГ, 2019. – 203 с.(МВ 02070855- 11988 -2019).
11. Піндус Н.М. «Проектування і метрологічне дослідження інформаційно-вимірювальних комплексів» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://dn.nung.edu.ua/course/view.php?id=448>