

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
Інститут інформаційних технологій  
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Савка Андрій Мирославович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.121:006.91

(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення еталонної установки для промислових лічильників газу на  
надвеликі витрати газу

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

175 "Інформаційно-вимірювальні технології"

(шифр і назва спеціальності)

Здобувач освітнього ступеня \_\_\_\_\_ А. М. Савка

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Середюк Орест Євгенович, д.т.н., проф.

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

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.Є. Середюк  
(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**

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій

Освітній рівень другий (магістерський)

Спеціальність 175 "Інформаційно-вимірювальних технологій"

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ІВТ**

\_\_\_\_\_ Середюк О.Є.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**

**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

\_\_\_\_\_ Савці Андрію Мирославовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення еталонної установки для промислових лічильників газу на надвеликі витрати 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» грудня 2024 року №787/7

2. Строк подання студентом роботи 20.12.2024

3. Вихідні дані до роботи: тип досліджувальних лічильників газу – ультразвукові, турбінні, роторні; діапазон робочих витрат 1 – 25.000 м<sup>3</sup>; робочий тиск – 0 – 10 кПа вакууметричного тиску; температура робочого середовища 18 – 22 °С

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

1. Аналіз існуючих установок на базі еталонних лічильників газу .

2. Розробка еталонної установки на надвеликі витрати .

3. Метрологічна атестація установки .

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

1

2

3

## 1. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	Біліщук В.Б.		

2. Дата видачі завдання 20.10.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз існуючих установок на базі еталонних лічильників газу		
2	Розробка еталонної установки на надвеликі витрати		
3	Метрологічна атестація установки		

Студент \_\_\_\_\_ Савка А.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Середюк О. Є.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 67с., 17рис., 4табл., 37 джерел, 5 аркуші ілюстрацій.

Облік природного газу є критичним місцем для енергетичної та економічної сфери. В умовах зростання витрат на енергоносії та необхідності забезпечення точного обліку газу промисловими лічильниками великого діаметра, виникає потреба у створенні сучасної метрологічної бази, яка дозволяє провести повірку та калібрування лічильників газу в діапазоні витрат до 25 000 м<sup>3</sup>/год.

**Мета роботи:** розробка еталонної установки для калібрування промислових лічильників газу на надвеликі витрати, які будуть простежуватися до національних еталонів України.

**Ключові слова:** метрологія, еталонна установка, промислові лічильники газу, надвеликі витрати, повірка, калібрування.

## ABSTRACT

Thesis: 68 pages, 17 figures, 4 tables, 37 sources, 5 sheets of drawings.

The accounting of natural gas is a critical aspect of the energy and economic sectors. In the context of rising energy costs and the necessity of ensuring accurate gas accounting using large-diameter industrial meters, there is a pressing need to establish a modern metrological framework. This framework must enable the verification and calibration of gas meters within a flow range of up to 25,000 m<sup>3</sup>/h.

### **Objective:**

The development of a reference facility for calibrating industrial gas meters for ultra-high gas flows, traceable to the national standards of Ukraine.

**Keywords:** metrology, reference facility, industrial gas meters, ultra-high flows, verification, calibration.

## ЗМІСТ

	<b>ст</b>
Вступ.....	6
1 Аналіз існуючих установок на базі еталонних лічильників газу.....	8
1.1 Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу.....	8
1.2 Поршневий робочий еталон об'єму газу.....	10
1.3 Повірочні установки РVTt-типу.....	14
1.4 Установки на базі еталонних лічильників газу.....	17
1.5 Установка для перевірки лічильників газу ПУЛГ-9.А1.....	21
2 Розробка еталонної установки на надвеликі витрати.....	26
2.1 Розробка технічного завдання.....	26
2.2 Розробка 3D моделі.....	32
2.3 Розробка функціональної схеми з алгоритмами роботи.....	34
2.4 Розробка програмного забезпечення з алгоритмом роботи.....	36
2.5 Конструювання установки .....	41
2.6 Стенд для перевірки герметичності.....	45
3 Метрологічна атестація установки.....	48
Висновки.....	63
Список використаних джерел.....	64

## ВСТУП

Облік природного газу є однією з ключових складових сучасної енергетичної системи, адже цей ресурс відіграє критично важливу роль у промисловості, енергетиці, комунальному господарстві та побутовому секторі. У світі, де постійно зростає попит на енергоресурси та їх вартість, забезпечення достовірності та прозорості в обліку спожитого газу є критично важливим завданням, що напряду впливає не тільки на економіку в цілому, але і на кінцевого споживача. Це питання охоплює широкий спектр аспектів — від технічних рішень до економічної ефективності, оптимізує використання ресурсів і забезпечує прозорість у розрахунках.

Сучасні системи обліку газу повинні відповідати високим технічним і метрологічним стандартам, забезпечуючи достовірність вимірювань за будь-яких умов експлуатації. Надійний облік газу має важливе значення не лише для економіки України, підприємств, які видобувають, зберігають, транспортують та споживають цей ресурс, але й для звичайних споживачів газу. Ефективний облік газу не лише знижує витрати, але й сприяє формуванню відповідальної енергетичної політики для сталого економічного розвитку та європейської інтеграції України.

Це питання особливо актуальне в умовах підвищення цін на енергоносії, необхідності зменшення технічних втрат та реалізації стратегії енергоефективності, що стоїть перед багатьма країнами світу. У цьому контексті вивчення механізмів, технологій і підходів до обліку газу набуває першочергового значення.

У промисловості, де обсяги споживання газу можуть сягати значних масштабів, особливо важливу роль відіграють промислові лічильники газу великого діаметра. Лічильники газу діаметром від DN300 до DN500 є частиною газотранспортної системи України, які вже використовуються в газорозподільних станціях, нафтогазових підприємствах та великих промислових об'єктах для обліку при транспортуванні газу у магістральних і розподільних мережах. Високоточні промислові лічильники забезпечують не

лише надійний контроль обсягів споживання, але й сприяють зниженню втрат та оптимізації обліку природного газу, оскільки застосування таких лічильників дозволяє вимірювати значні обсяги газу, при застосуванні мінімальної кількості засобів та допоміжного обладнання.

У цьому контексті важливою є належна метрологічна база, яка дозволить на відповідному рівні проводити роботи з повірки, випробування та калібрування лічильників газу діаметром понад 300 мм.

#### **Зміст дослідження:**

Проведено аналіз існуючих методик та технічних засобів для калібрування газових лічильників. Визначено недоліки дзвонових, поршневих, соплових установок та установок PVTt-типу.

Обґрунтовано вибір багатолінійної системи еталонних роторних і турбінних лічильників як основи для розробки еталонної установки.

Розроблена 3D-модель установки, яка забезпечує витрати витрат від 1 м<sup>3</sup>/год до 25 000 м<sup>3</sup>/год. Описано конструктивні особливості, функціональну схему та принцип роботи установки.

Проведено оцінку невизначеності вимірювань.

#### **Практичне значення:**

Розроблена еталонна установка стане базою для калібрування лічильників великого діаметра (DN500). Її впровадження забезпечує відповідність сучасним вимогам метрології та сприятиме розширенню метрологічних можливостей України, а також інтеграції в міжнародну метрологічну спільноту.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ЕТАЛОННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

## 1.1 Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу

Робочі еталони (установки) для повірки, випробування та калібрування лічильників і витратомірів газу можна поділити на кілька основних типів в залежності від їхньої конструкції та принципу дії, а саме на: дзвонові установки, поршневі установки, установки PVTt-типу, соплові установки і установки на базі еталонних лічильників.

Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу складається з резервуара з рідиною, у якому розміщений дзвін, збалансований противагою, що кріпиться гнучким тросом через шків. До його складу входять пристрій компенсації ваги дзвону, контрольна лінія з мінімальними прорізами, трубопровід для встановлення газового лічильника, регулятор витрат, датчики переміщення дзвону, температури і тиску, а також контролер для збору та обробки результатів. Пристрій компенсації ваги має форму комбінованого шківа, що включає циліндричну та конічну поверхні з багатовитковою канавкою для троса. Геометрія шківа розрахована для забезпечення рівноваги дзвона залежно від його характеристик, густини рідини та ваги противаги [1].

На рисунку 1.1 зображена принципова схема еталона об'єму газу дзвонового типу.

Еталон складається із ємності з рідиною 1, у якій розміщений дзвін 2, котрий зрівноважений противагою 3, з'єднаною гнучким тросом 4 через вхідний шків 5 і компенсуючий шків 6, які розміщені на верхній рамі каркасу 7, крім того дзвін 2 переміщається по вертикальних направляючих елементах в виді лінійного валу 8 з підшипниками 9, закріплених на стійках каркасу 7.

На дзвоні 2 закріплена на кронштейні 10 контрольна лінійка 11 з прорізами на відстані мірної довжини, яка зв'язана з фотодатчиком 12. Еталон має ділянку трубопроводу 13 з клапаном 14 і регуляторами витрат 15, 16 для розміщення лічильника 17, що повіряється. На еталоні встановлені датчик переміщення дзвона 18, а також датчики температури і тиску під дзвоном 19, 20

і на ділянці з лічильником 20, 21, які зв'язані інтерфейсним каналом з контролером збирання і оброблення результатів вимірювання 22 та комп'ютера 23. Переміщення дзвона 2 в верхнє положення здійснюється повітродувкою 24 при відкритому клапані 25.

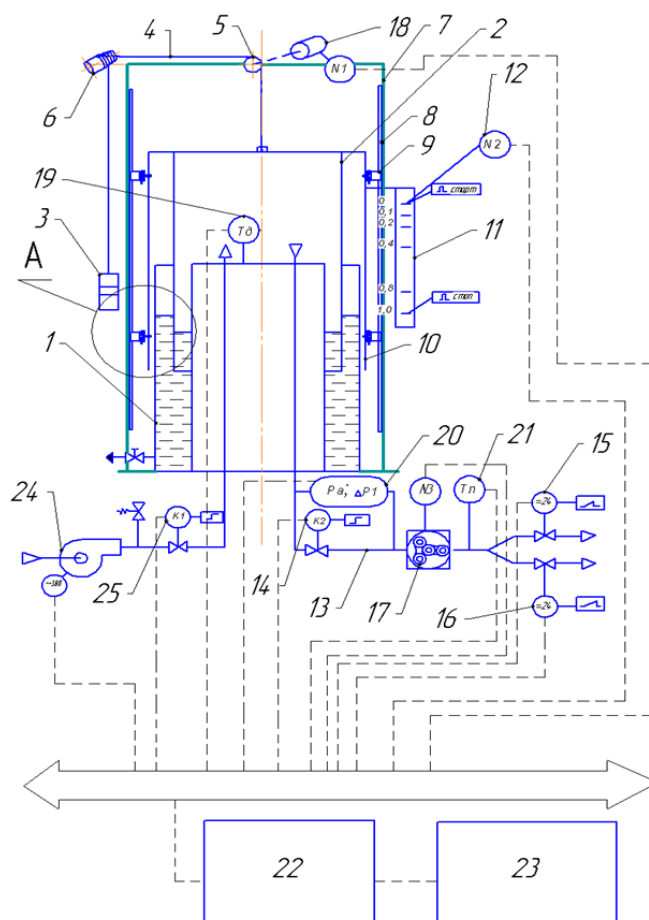


Рисунок 1.1 - Принципова схема еталона об'єму газу дзвонового типу.

Еталон об'єму газу дзвонового типу працює таким чином. Під дзвін 2 закачується повітря повітродувкою 24 при відкритому клапані 25 і закритому клапані 14. Після підйому дзвона 2 у верхнє положення клапан 25 закривається і відкривається клапан 14 на ділянці 13, внаслідок чого через лічильник 17 проходить повітря, яке витісняється з-під дзвона. Контрольний об'єм повітря визначається відстанню між прорізами на лінійці 11, проходження яких фіксується фотодатчиком 12, а переміщення дзвона контролюється датчиком

18. Температура і тиск повітря під дзвоном і на ділянці, де встановлений лічильник, вимірюється за допомогою датчиків температури 19, 21 і тиску 20, що дозволяє порівняти об'єм, який проходить через лічильник з контрольним об'ємом дзвона. Електричні сигнали від всіх датчиків еталона надходять у контролер збирання і оброблення результатів вимірювання 22 і обробляються за допомогою комп'ютера 23. Важливим є також те, що градієнт навколишнього середовища біля еталона контролюється давачами температури, які розміщені в зонах дзвона та вимірювальної лінії. Його значення не перевищує 0,1 С завдяки встановлення системи клімат-контроль в приміщенні [2].

Дзвоніві установки характеризуються високою метрологічною точністю, простотою конструкції та тривалим терміном служби. Однак їхні недоліки включають великі розміри, обмежений діапазон відтворювальних витрат, обмежений контрольний об'єм, а також чутливість до мікробитоків [2].

## **1.2 Поршневий робочий еталон об'єму газу**

Поршнева установка для лічильників та витратомірів газу включає калібрований вимірювальний трубопровід із поршневим розділювачем, два детектори його положення, реверсивне джерело витрат та відліковий пристрій. Поршневий розділювач, виконаний у вигляді пористого еластичного тора з внутрішнім тиском, вищим за статичний тиск у трубопроводі, оснащений ніпельним пристроєм, вбудованим в його стінку. Установка дозволяє забезпечити високу точність і достовірність визначення метрологічних характеристик лічильників і витратомірів газу для різних робочих середовищ (наприклад, повітря, природний газ) та параметрів тиску. [2]

Установки з поршневими еталонами функціонують за принципом вимірювання об'єму газу, витісненого поршнем у замкнутій системі, що забезпечує високу точність результатів. Вони чудово підходять для

калібрування установок на невеликих витратах, але мають обмеження при роботі з великими витратами і відзначаються складністю експлуатації.

Принцип дії поршневих еталонних установок (подальше – ПЕУ) полягає у виділенні із потоку газу (повітря) з допомогою поршневого розділювача і детекторів, розміщених на каліброваному вимірювальному трубопроводі, контрольного об'єму газу. Як розділювач може використовуватись рідина, що витісняє газ із каліброваного по висоті резервуара. При передачі одиниці об'ємної витрати газу здійснюється збір інформації з засобу вимірювань за період проходження розділювача від одного детектора до другого.

При цьому вимірюваний контрольний об'єм газу буде рівний каліброваному об'єму вимірювального трубопроводу, що знаходиться між двома детекторами. Багаторазове виділення контрольного об'єму здійснюється при зміні напрямку переміщення розділювача. Витратовимірювальна установка такого типу розроблена у (м. Казань) і була затверджена Держстандартом як Державний первинний еталон одиниці об'ємної витрати газу [3, 4].

Діапазон усереднених значень об'ємної витрати газу складає від 0,001 до 0,015 м<sup>3</sup>/с (від 3,6 до 54 м<sup>3</sup>/год). Відтворення одиниці об'ємної витрат газу забезпечується з середнього квадратичного відхилення (надалі – СКВ) результату вимірювання не більше  $8 \cdot 10^{-4}$  при невилучена систематичній похибці (надалі – НСП) –  $5 \cdot 10^{-4}$ . Еталон за своїми метрологічними характеристиками відповідає кращим зарубіжним аналогам. В той же час ця установка дозволяє відтворювати лише порівняно незначний діапазон витрати газу [3, 4].

ПЕУ в якості робочого еталону створена і експлуатується компанією „Humble pipe line” (США) [5]. Конструкція її аналогічна описаній вище по принципу і границях вимірювань. Її продуктивність по витраті не перевищує 0,0193 м<sup>3</sup>/с (69,4 м<sup>3</sup>/год) при повторюваності результатів вимірювань  $\pm 0,05\%$ .

ПЕУ, що відтворює одиницю об'ємної витрати в діапазоні від 0,01 до 1,5 м<sup>3</sup>/год з СКВ і  $5 \cdot 10^{-4}$  при НСП  $6 \cdot 10^{-4}$  входить в склад групового еталона, що експлуатується в Чехії, м. Скутеж [5].

В роботі [6] повідомляється про експериментальну перевірку в Німеччині можливості використання ПЕУ як зразкового засобу при градуванні лічильників газу при тисках 6-10 МПа за витрати від 2 до 30 м<sup>3</sup>/год. Калібрування ПЕУ проводилось шляхом обміру секції труби об'ємним методом і зіставлення її об'єму з прецизійною ваговою установкою з використанням взірцевого турбінного лічильника води як компаратора [6].

Аналогічна установка, що працює на реальному газовому середовищі, експлуатується в ВАТ „Дніпрогаз” (м. Дніпропетровськ) – установка РПДУ-41п [7, 8]. Границі допустимої відносної похибки даної установки не перевищують  $\pm 0,3\%$  в діапазоні витрат від 500 до 8000 м<sup>3</sup>/год при робочих тисках до 1 МПа [7, 8].

Як приклад установок, в яких витіснення газу здійснюється допоміжним середовищем – рідиною, розглянемо установку, описану в [9]. Потік рідини, що створюється насосом витісняє газ із каліброваного резервуару через вимірювальний прилад в атмосферу. Всередині резервуару встановлені перетворювачі рівня, за допомогою яких фіксується початок та кінець витіснення контрольного об'єму газу при наповненні мірника без зупинки вимірювального приладу, розгін якого до усталеного режиму здійснюється в процесі заповнення резервуару установки рідиною [9].

Недоліком таких установок є низька ефективність використання об'єму каліброваного резервуару, що не дозволяє досягти на установці відтворення великих значень витрат, а також необхідність застосування спеціальних заходів для запобігання розчинення газу в рідині.

До переваг можна віднести відсутність поршневого розділювача, що механічно переміщується, а також можливість повірки засобів вимірювальної техніки при високих тисках (до 10 МПа) [10, 11].

Тенденції розвитку ПЕУ можна показати на прикладі установки, що експлуатується в НМІ [12]. Робочий діапазон витрати, що відтворюється установкою, складає від  $2 \cdot 10^{-5}$  до 3,5 м<sup>3</sup>/год. За допомогою такої установки

повіряються зразкові барабанні лічильники, ротаметри, тестери для медичних потреб, теплові лічильники-витратоміри, поршневі зразкові установки.

В конструктивному відношенні (рис. 1.2) установка складається з чотирьох скляних циліндрів 2, в яких переміщується поршні 1, виготовлені із скловолокна. Поршні мають кругові канавки, заповнені ртуттю, що забезпечує досить малу силу тертя поршня об стінку трубки. Номінальні мірні об'єми циліндрів складають 60, 480, 3500 і 13000 мл, два перших з них розміщені у водяній оболонці для підтримування температурного режиму. На вході повітря в поршень та на вході лічильника 4 високоточними термісторами 7 вимірюється температура, а диференціальним манометром 8 – перепад тиску.

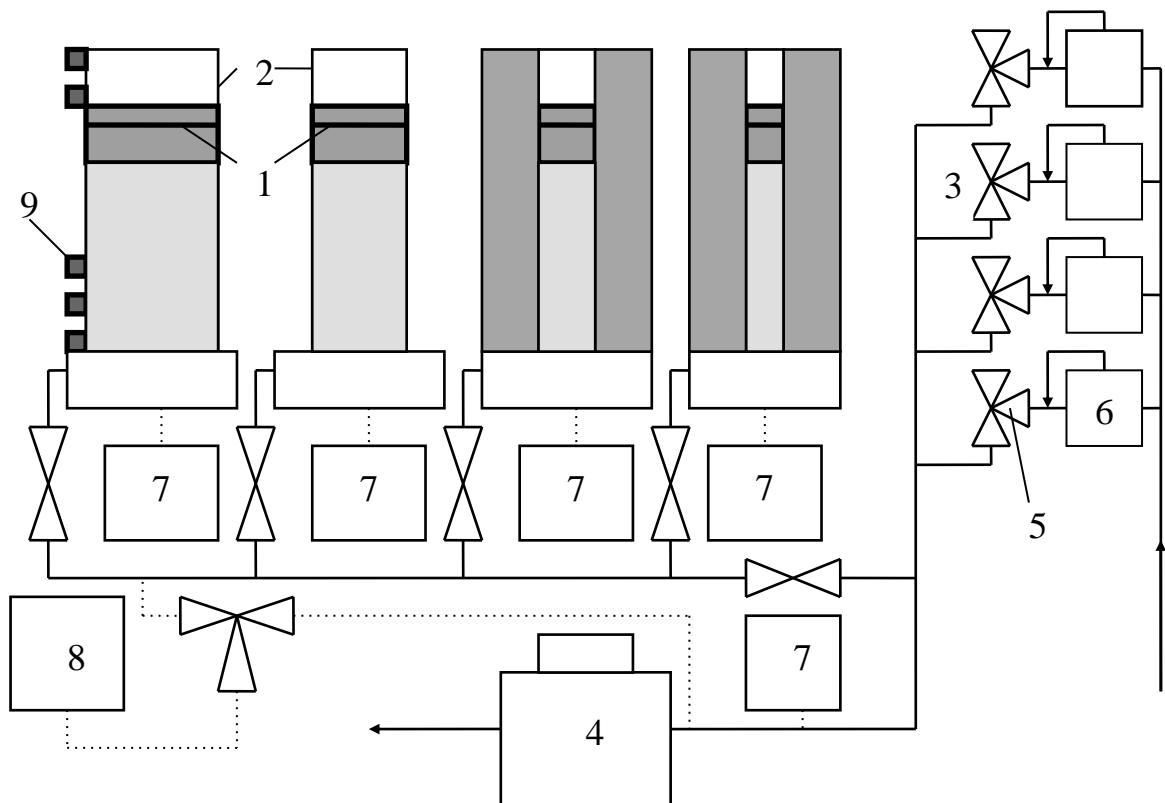


Рисунок 1.2. Схема поршневої установки, що експлуатується в NMI  
(Нідерланди)

Вздовж циліндрів розміщено по п'ять пар фотоелементів 9, з допомогою яких проводиться управління відліком часу переміщення. Витрата повітря регулюється чотирма задавачами 3, що складаються з регулювальних клапанів 5 та термоанемометричних витратомірів 6. Весь процес повірки

автоматизований, збір та обробка інформації проводиться за допомогою персональної електронної обчислювальної машини (надалі – ПЕОМ. Замість повітря в установці можуть використовуватися реальні гази. Відносна похибка відтворення об'ємних витрат даною установкою складає 0,1% [11].

Головна її перевага полягає в досить малій мінімальній границі діапазону відтворених витрат.

В останній час запропоновані нові схеми ПЕУ. Наприклад, в [13] описана установка, в якій безперервна витрата досягається запуском в кільцевий трубопровід другого кулевидного розділювача після проходження першим контрольної ділянки вимірювального трубопроводу[13].

Підводячи підсумок по використанню ПЕУ, можна відмітити, що основним їхнім недоліком є наявність незгладжуваних пульсацій тиску та його великі втрати на поршнях, що приводить до нерівномірності його ходу і відповідно, впливає на стабільність відтворення витрати.

### **1.3 Повірочні установки PVTt-типу**

Повірочні установки PVTt-типу (тиск, об'єм, температура, час), метрологічну основу яких складає ємність із засувками та приєднувальною арматурою, у внутрішній порожнині якої вмонтовані датчики температури, при цьому ємність має відводи для вимірювання надлишкового тиску в ній, а об'єм газу, який витікає із ємності через лічильник, що повіряється, визначається за рівнянням газового стану на основі об'ємів ємності і арматури, даних фізико-хімічного складу робочого середовища, часу витікання через лічильник та значень температури і тиску, отриманих на початку і в кінці вимірювань [14].

Принципова схема установки PVTt-типу наведена на рис. 1.3.

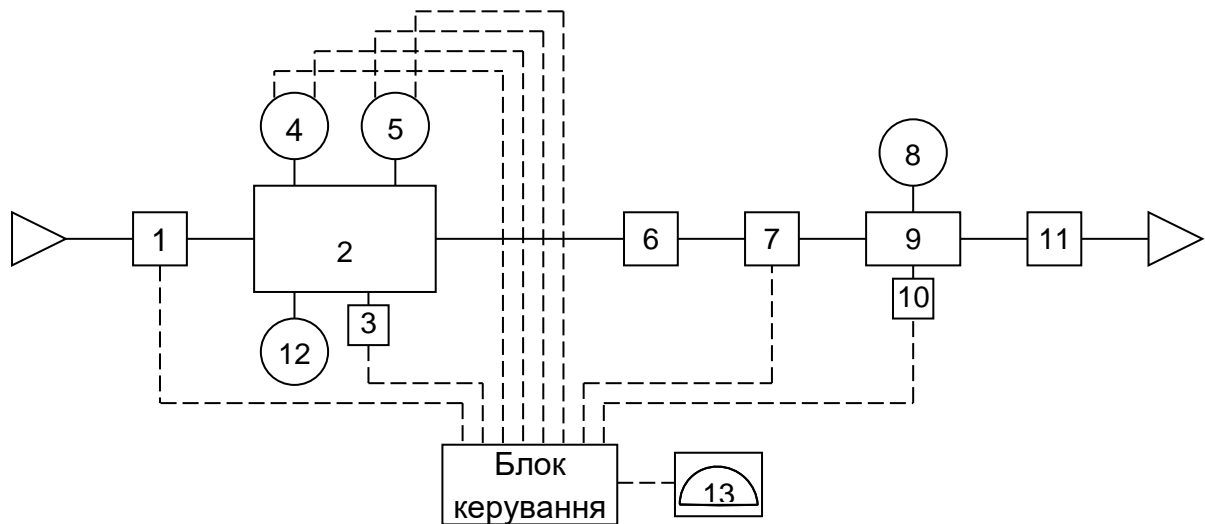


Рисунок 1.3 – Принципова схема установки PVTt-типу

Метрологічний аналіз установок на базі резервуарів високого тиску показує, що найбільш суттєвими джерелами похибки вимірювання об'єму газу є похибка градування мірної ємності, похибка визначення густини газу на початку та в кінці процесу витікання газу із резервуара, яка в свою чергу залежить від похибок засобів вимірювання тиску та температури. Якщо тиск є величиною малоінерційною і згідно закону Паскаля тиск в резервуарі в статичному режимі однаковий у всіх напрямках, то температура є величиною інерційною і, як правило, нерівномірно розподілена по об'єму резервуара. Тому для точного вимірювання об'єму газу в установках на базі резервуара високого тиску потрібно проводити тривалу витримку резервуара для зрівноваження температури [13, 14].

Проте ці установки мають низьку продуктивність роботи, що пояснюється збільшенням часу вимірювання із-за необхідної додаткової витримки на стабілізації процесів у системі і знайшли в Україні застосування тільки при повірці побутових лічильників газу, оскільки їх застосування для повірки промислових лічильників газу вимагає великої матеріалоемності резервуара та вирішення проблем, що виникають при вимірюванні температур в ньому, які в різних точках об'єму різні [13, 14].

Принцип дії установок на критичних соплах ґрунтується на створенні критичним соплом постійної масової витрати газу, тобто відбувається пряме

вимірювання не об'єму газу, а його масової витрати [15]. Тому точність вимірювання таких установок залежить не тільки від температури робочого середовища – повітря, але і його густини. У більшості соплових установок робочим середовищем є атмосферне повітря, густина якого є непостійною. На похибку вимірювання такої установки має вплив фізико-хімічний склад повітря, зокрема, його вологість. Потік газу проходить через сопло з надзвуковою швидкістю, сопло нагрівається, що в свою чергу призводить до нагрівання повітря в соплі. На виході із сопла повітря розширюється і його температура знижується. Тобто температура повітря в соплі є значно вищою від температури повітря перед соплом і за соплом. Але саме від температури газу в соплі залежить значення його критичної витрати. Температуру газу в соплі практично дуже складно виміряти. Через це виникає додаткова випадкова похибка вимірювання соплової установки. Джерелами похибок цих установок є точність виготовлення профілю критичного сопла, точність його встановлення в трубопровід (співвісність, наявність прямих ділянок, тощо) та дотримання відповідного перепаду тиску на ньому [15].

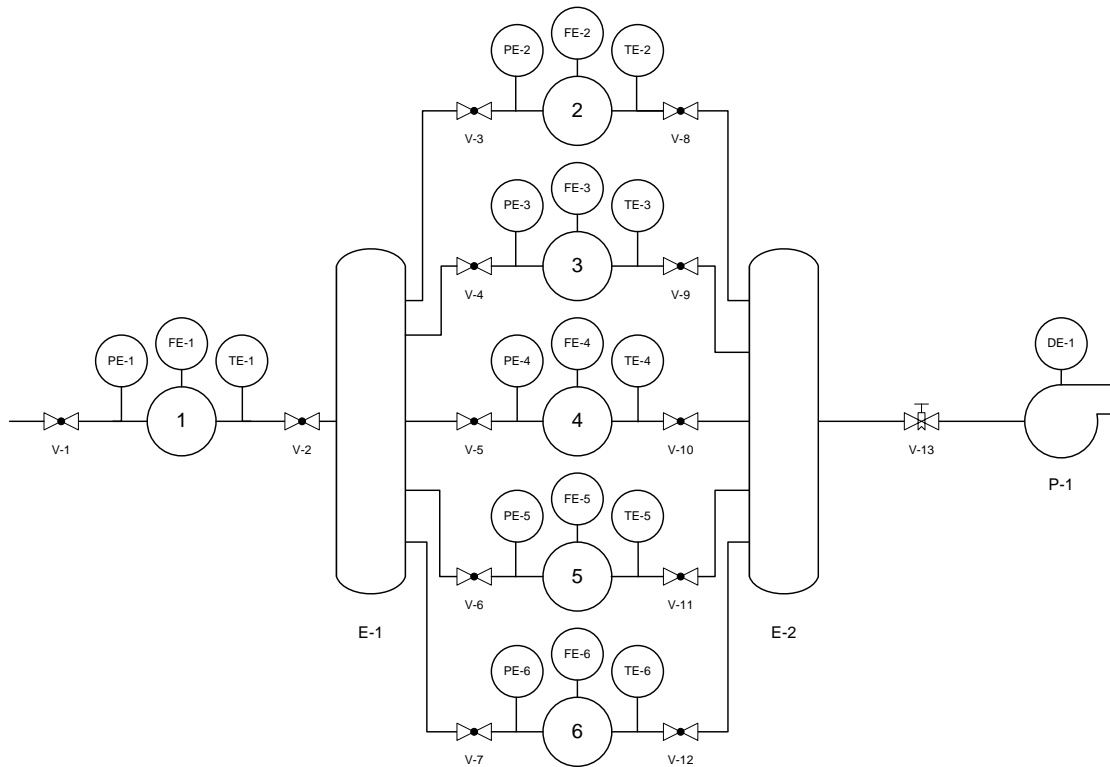
Точність вимірювання соплової установки залежність від точності вимірювання часу проходження контрольного об'єму повітря через сопло і лічильники газу, що перевіряють. Тобто достовірне вимірювання об'єму газу можливе лише в режимі так званого “старту з ходу”. Отже, реально на соплових установках можна повірити тільки лічильники газу, що мають контролюючий елемент у вигляді електричного вихідного сигналу. Такі контролюючі елементи (геркон, датчик Холла тощо), як правило, не встановлюють на побутових лічильниках газу. Критичне сопло має високу чутливість до забруднення. Особливо це стосується сопел малого діаметра для створення малих об'ємних витрат газу. Налипання дрібних частинок пилу в соплі звужує його переріз і неконтрольовано змінює метрологічні характеристики сопла. Перевагою соплових установок є висока стабільність їх характеристик з часом, саме тому критичні сопла використовують в якості передавальних еталонів в багатьох країнах, а також при міжнародних звіряннях [15].

Недоліком цих установок є те, що на точність вимірювання впливає наявність домішок в газі, які впливають на геометричні розміри сопла, а також фіксованість витрат, що можуть бути відтворені виходячи з наявних в установці номіналів сопел критичного витоку[15].

#### **1.4 Установки на базі еталонних лічильників газу**

Принцип дії установок (Рис. 1.4) на базі еталонних лічильників газу ґрунтується на порівнянні результатів вимірювань між лічильником газу, що досліджується, та еталонним лічильником газу витрата для яких забезпечується за допомогою керованого джерела створення витрати. За допомогою системи керування та вимірювання, та за допомогою прикладного програмного забезпечення, що входить в склад установки, здійснюється автоматичне керування процесом виставлення витрати та самим вимірюванням, а також збереження та формування відповідного протоколу вимірювання [16].

Важливим етапом є вибір еталонних лічильників газу. На сьогодні в Україні та світі в якості еталонних застосовуються лічильники газу турбінні, роторні та іноді ультразвукові. Кожен з цих типів лічильників має свої переваги та недоліки. Найбільш стабільними в часі та мають найбільший динамічний діапазон вимірювання звичайні роторні лічильники газу, але для цих лічильників із роторами вісімкоподібної форми характерним є наявність резонансних явищ при їх роботі за деяких значень витрати, що недопустимо для еталонної установки. Але на сьогодні передовими світовими виробниками виготовляються безрезонансні роторні лічильники газу із двома парами роторів, що зміщені по фазі між собою, або трьохроторні із закрученими по гвинту роторами [16].



1 – лічильник, що повіряється; 2-6 – еталонні лічильники газу;  
 PE – засоби вимірювання тиску; TE – засоби вимірювання температури; FE –  
 лічильники імпульсів; P-1 – джерело витрати (повітродувка).

Рисунок 1.4 – Функціональна схема установки на базі еталонних лічильників газу

Фахівці ДП „Івано-Франківськстандартметрологія” спираючись на власний досвід використання еталона передавання на базі роторного лічильника газу Delta S-Flow із трьома роторами закрученими по гвинту, обрали для реалізації вторинного еталона саме лічильники цього типу. Еталонні лічильники цього типу мають гладку градувальну криву, довгострокову стабільність, хорошу повторюваність та відтворюваність характеристики. На рисунку 1.5. показана градувальна характеристика лічильника Delta S-Flow, який експлуатується в якості еталона передавання в ДП „Івано-Франківськстандарт-метрологія”. [16].

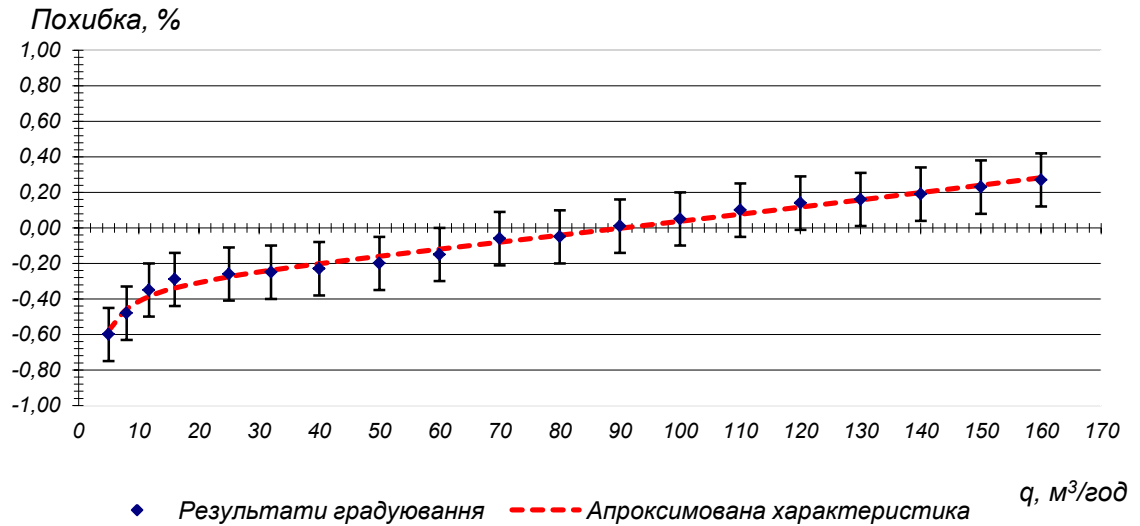


Рисунок 1.5 – Градувальна характеристика лічильника газу Delta S-Flow

Як видно з рис. 1.5 відхилення результатів експериментальних досліджень від апроксимованої характеристики не перевищує  $\pm 0,05\%$  у всьому діапазоні витрат еталонного лічильника.

Для усунення взаємовпливів між досліджуваним лічильником та еталонними лічильниками колектори для під'єднання еталонних лічильників паралельно, виконані в якості демпферів.[16].

Конфігурацію трубопроводів вторинного еталона представлено на рисунку 1.6.

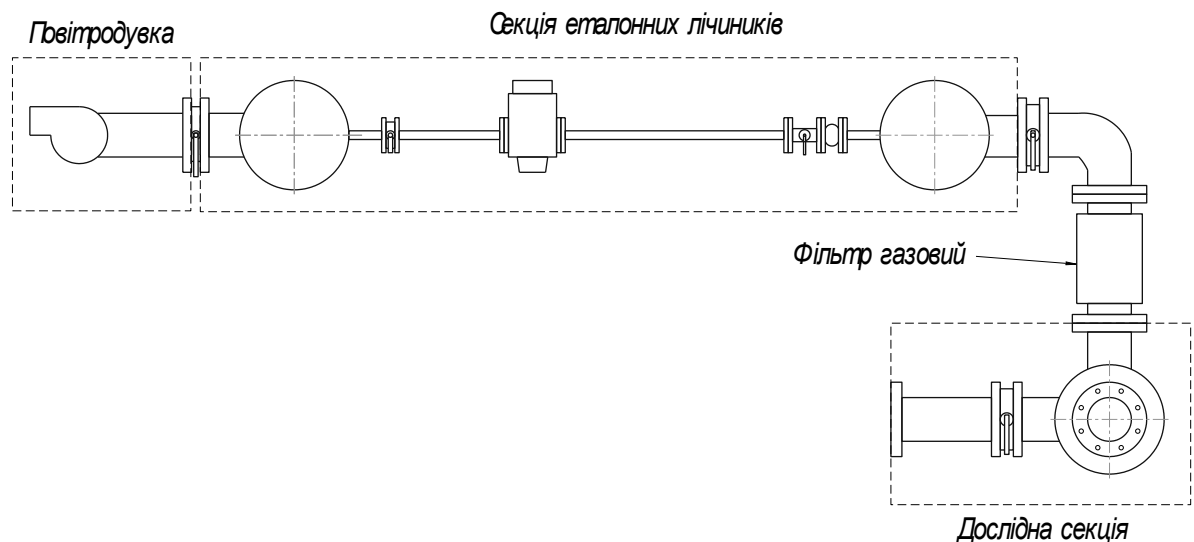
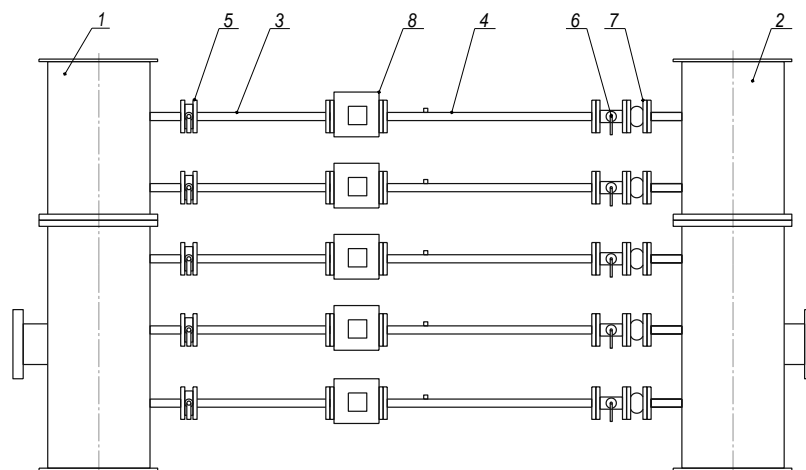


Рисунок 1.6. – Конфігурація трубопроводів еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати

Дослідна секція призначена для під'єднання досліджуваних лічильників газу. Передбачено різні варіанти під'єднання лічильника газу в залежності від умов його експлуатації. Лічильники можна під'єднувати вертикально і горизонтально. При горизонтальному під'єднанні передбачено можливість приєднання прямих ділянок труб до і після досліджуваного лічильника з технологічними отворами для вимірювання тиску та температури повітря. Секція еталонних лічильників складається з п'яти роторних лічильників типу Delta S-Flow, двох демпферів (для зменшення пульсацій потоку повітря), прямих ділянок труб до та після еталонного лічильника, згідно вимог виробника. Довжини прямих ділянок труб складають  $10 \times D_u$  до еталонного лічильника газу та  $5 \times D_u$  після еталонного лічильника для згладження потоку та зменшення пульсацій потоку. Прямі ділянки труб містять технологічні отвори для приєднання давачів температури та тиску. Також перед еталонними лічильниками встановлені кульові крани для обмеження потоку повітря з демпфера з метою забезпечення нормального режиму функціонування еталонних лічильників в заданому діапазоні витрат. Після лічильників встановлені засувки, які використовуються для регулювання витрати в гілках еталонної секції[16].

Вигляд еталонної секції представлений на рисунку 1.7



1,2 – демпферні ємності; 3,4 – прямі ділянки труби після та до еталонного лічильника; 5 – засувка типу батерфляй; 6 – кульовий кран; 7 – гумова вібровставка; 8 – еталонний лічильник.

Рисунок 1.7– Еталонна секція

## 1.5 Установа для перевірки лічильників газу ПУЛГ-9.А 1

Загальний вид установи показаний на фото.



Рисунок 1.8 – Установа ПУЛГ-9.А1

Установа ПУЛГ-9.А1 застосовується для перевірки турбінних, роторних та ультразвукових промислових лічильників газу типорозмірів від G10 до G1600.

Установа забезпечує:

Перевірку лічильників в діапазоні об'ємних витрат від 0,16 м<sup>3</sup>/год до 2500 м<sup>3</sup>/год;

Визначення значення відносної похибки лічильника, що повіряється;

Задання значення об'ємної витрати в діапазоні від 0,16 м<sup>3</sup>/год до 2500 м<sup>3</sup>/год;

- визначення втрати тиску на лічильнику, що повіряється;
- перевірку на герметичність в автоматичному режимі установи з лічильником, що повіряється і без нього;
- вимірювання електронними датчиками і вторинними електронними засобами, які входять в склад установи фізичних величин повітря в приміщенні лабораторії таких як:
  - температура;
  - відносна вологість;
  - барометричний тиск;

В установці використовуються еталонні лічильники газу в кількості 5 шт., які мають свідоцтва про державну метрологічну атестацію і придатні для застосування з границями допустимої відносної похибки в діапазоні витрат:

- від 0,1 до 0,5 м<sup>3</sup>/год ±0,25%;

- від 0,5 до 2,5 м<sup>3</sup>/год ±0,25%;
- від 2,5 до 25 м<sup>3</sup>/год ±0,25%;
- від 25 до 250 м<sup>3</sup>/год ±0,25%;
- від 250 до 2500 м<sup>3</sup>/год ±0,25%.

Відпадає необхідність виконувати вручну болтове з'єднання із значними втратами робочого часу. Це забезпечує збільшення її продуктивності і зручність в експлуатації.

Частотне регулювання обертів пристрою створення витрати, що забезпечує створення необхідних розходів потоку повітря при роботі установки і застосування імпортованих електроприводів на запірній арматурі дозволяє значно знизити енергозатрати установки. Застосування сучасних кульових кранів забезпечує довгострокову надійну герметизацію в установці під час її експлуатації і високі метрологічні характеристики установки. Пояснюється це тим, що застосування кульових кранів (на відміну від клинових, дискових поворотних засувок, відсікаючих клапанів і т.д.) умовний діаметр і форма пропускного каналу у кулі у відкритому положенні повністю співпадають з патрубками прямих ділянок, що межують з еталонами і це виключає збудження пульсацій, завихрення і перепад потоку повітря перед еталонами. Електроживлення установки здійснюється трьохфазним змінним струмом напругою  $380 \pm 10$  В з частотою  $50 \text{ Гц} \pm 1 \text{ Гц}$ . Потужність споживання електроенергії установкою змінна і залежить в якому режимі вона працює. Максимальне споживання електроенергії відбувається в режимі повірки на витраті 2500 м<sup>3</sup>/год. Тоді установка споживає близько 9 кВт. У всіх інших режимах завдяки використанню частотного регулювання обертів електропривода пристрою для створення робочого потоку повітря в установці і застосування енергоощадних електроприводів (мотор-редукторів) імпортованого виробництва у кульових кранах, споживання електроенергії установки значно менше. Так для прикладу, звичайний електропривід для засувки DN200, в залежності від його типу, споживає від 1,8 до 2,0 кВт. А електропривід типу VS150 виготовлений у Франції (який застосовується в установці ПУЛГ-9.А1) для управління роботою

аналогічного крану споживає всього 80 Вт. (0,08кВт.). З метою запобігання зміни метрологічних характеристик еталонних лічильників внаслідок забруднення їх робочих елементів частками іржі і бруду, які можуть відірватись потоком повітря від лічильників які повіряються, а також виключення впливу пульсацій від роторних лічильників під час їх повірки, і зменшення матеріалоемності повірочної установки, повітря із лічильників, які повіряються, перед тим як поступити в еталонні лічильники, спочатку, через спеціальні фільтри, поступає у стійку-сепаратор. Крім усього іншого програмне забезпечення установки дозволяє перед кожною повіркою лічильника проводити перевірку герметичності установки з установленим лічильником, що повіряється в автоматичному режимі. Що є особливістю установки і повністю забезпечує вимогу Держстандарту, а саме методики МПУ168/03-2008 повірки герметичності повірочної Установки разом із лічильником, що повіряється Автоматизоване управління роботою установки забезпечується персональним комп'ютером.

Програмне забезпечення установки – спеціалізована авторська програма PovAutoMod v5.0, яка може працювати під керуванням ОС Windows.

Пристрій створення витрат розміщується в окремому приміщенні, розміри якого 3,0×3,5 м., або за шумоізолюючою перегородкою в цьому ж приміщенні що і установка.

Автоматизована установка повірки промислових лічильників газу захищена патентом на корисну модель №59795. зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.05.2011р.

Авторські права на програмний продукт, що використовується для автоматизованого управління роботою установки повірки промислових лічильників газу теж захищені, свідоцтво №7816 від 18.06.2003р.

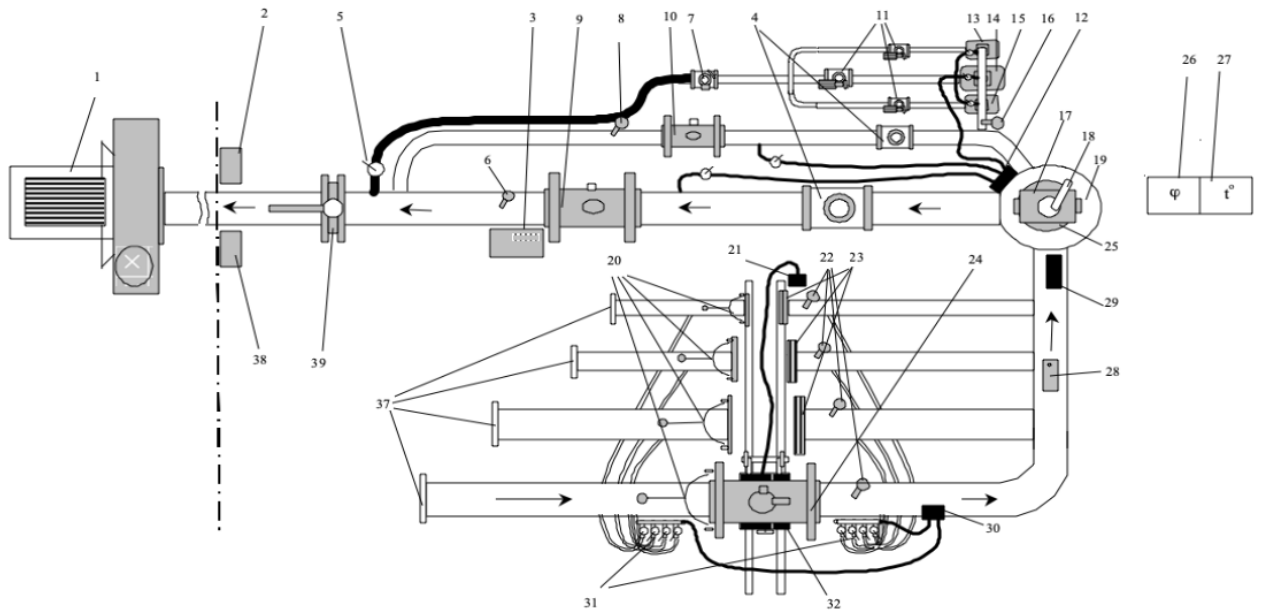


Рисунок 1.9 – Структурна схема автоматизованої установки ПУЛГ-9.А1

Установка рисунок 1.9 складається з таких елементів: 1 – пристрій створення витрати; 2 – регулятор великих витрат; 3 – силовий блок управління; 4, 11 – запірні арматури; 5 – кран для перекривання ділянки низьких витрат; 6, 8, 16, 22 – датчики температури; 7 – регулятор малих витрат; 9 – еталонний лічильник газу ЛГЕ-200 (діапазон від 250 м<sup>3</sup>/год. до 2500 м<sup>3</sup>/год.); 10 – еталонний лічильник газу ЛГЕ-80 (діапазон від 25 м<sup>3</sup>/год. до 250 м<sup>3</sup>/год.) 12 – датчик для вимірювання різниці тиску між робочими еталонами та оточуючим середовищем (атмосферою); 13 – еталонний лічильник газу G1,6 (діапазон від 0.16 м<sup>3</sup>/год. до 0.5 м<sup>3</sup>/год.); 14 – еталонний лічильник газу G2,5 (діапазон від 0.5 м<sup>3</sup>/год. до 2,5 м<sup>3</sup>/год.); 15 – еталонний лічильник газу G16 (діапазон від 2,5 м<sup>3</sup>/год. до 25 м<sup>3</sup>/год.); 16 – датчик температури робочого середовища в еталонних лічильниках G1,6, G2,5, G16; 17 – лічильник, що повіряється, роторного типу (РГ); 18 – перетворювач обертів робочих елементів роторних лічильників в електричні вихідні сигнали; 19 – стійка-сепаратор з фільтром для встановлення робочих лічильників роторного типу; 20 – прямі ділянки трубопроводів та притискні механізми для встановлення лічильників турбінного типу (ЛГ) та ультразвукових; 21 – датчик для вимірювання різниці тиску між лічильником та оточуючим середовищем (атмосферою); 22 – датчики

температури робочого середовища в лічильниках турбінного типу (ЛГ) і ультразвукових лічильниках, що повіряються; 23 – заглушки; 24 – лічильник турбінного типу (ЛГ, (ЛГ-К)); 25 – перехідник; 26 – давач вологості повітря електронний; 27 – давач температури робочого середовища; 28 – засіб вимірювання тиску при опресуванні установки; 29 – комутатор перетворювачів імпульсів до лічильників, що повіряються; 30 – вимірювальний перетворювач перепаду тиску на повіряємих лічильниках турбінного і ультразвукового типу; 31 – комутатор забору тиску робочих лічильників типу ЛГ(ЛГ-К); 32 – каретка для лічильників турбінного і ультразвукового типу

Перевагою таких установок є можливість розширення діапазону відтворення об'єму та об'ємної витрати газу при проведенні дослідження лічильника газу, який має значно ширший діапазон витрат та потребує пропускання великого контрольного об'єму газу для отримання достовірного результату вимірювання. Після проведеного аналізу було прийнято рішення використати для реалізації робочого еталона установку на базі еталонних лічильників, що реалізована на базі пристрою для калібрування та повірки лічильників і витратомірів газу [16], що складатиметься з однотипних еталонних лічильників включених паралельно. Принцип дії такої установки ґрунтується на явищі адитивності потоків, що проходять через еталонні лічильники [16]. Цей аналіз дав змогу оцінити сильні та слабкі сторони існуючих установок та зробити відповідні висновки і врахувати їх при розробці робочого еталону для повірки та калібрування лічильників і витратомірів газу в діапазоні об'ємних витрат газу від 1 м<sup>3</sup>/год до 25 000 м<sup>3</sup>/год.

## 2 РОЗРОБКА ЕТАЛОННОЇ УСТАНОВКИ НА НАДВЕЛИКІ ВИТРАТИ

### 2.1 Розробка технічного завдання

Підставою для робіт є Закон України "Про вищу освіту" [17], Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність», наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України [18] №1747 від 13.10.2016 р. "Про затвердження міжповірочних інтервалів законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації", а також звернення ТОВ "Оператор ГТС України".[17,18]

Виконавцем робіт є ДП "Івано-Франківський науково-виробничий центр стандартизації, метрології та сертифікації" та субпідрядні підприємства.

Метою роботи є створення спеціалізованої навчально-дослідницької лабораторії, обладнаної сучасним устаткуванням, яке включає різноманітну контрольно-вимірювальну апаратуру, обчислювальну техніку та обладнання для підготовки кваліфікованих фахівців, виконання науково-дослідних робіт, проведення повірки і випробувань при оцінці відповідності лічильників газу в діапазоні витрат до 25 000 м<sup>3</sup>/год на (орендованій) матеріально-технічній базі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) з простежуваністю вимірювань до національних еталонів України, які є міжнародно визнаними та мають СМС-рядки у КСДВ і зберігаються у ДП "ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ".

Забезпечення навчального процесу, а саме проведення теоретичних та практичних занять, дослідницької, експертної діяльності та проведення повірки і випробувань при оцінці відповідності лічильників газу в діапазоні витрат до 25 000 м<sup>3</sup>/год, які використовуються в сфері законодавчо регульованої метрології згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Роботи на зазначеному стенді, встановленому в спеціалізованій навчально-дослідницькій лабораторії з повірки лічильників газу в діапазоні витрат до

25 000 м<sup>3</sup>/год будуть спрямовані на підготовку кадрів, науково-дослідну і виробничу діяльність й проводитимуться фахівцями ДП "ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ" з використанням еталонів, які простежуються до національних еталонів України і є міжнародно визнаними та мають СМС-рядки у КСДВ і зберігаються на підприємстві.

Діапазон вимірювання об'ємної витрати газу, що повинна забезпечувати лабораторія : від 1 м<sup>3</sup>/год до 25000 м<sup>3</sup>/год.

Максимальне значення розширеної невизначеності вимірювання не повинно перевищувати 0,3%.

В склад лабораторії повинно входити: робочий стенд; приміщення (тамбур, склад/вентиляторна, приміщення стенду, операторна, клас); система клімат-контролю.

Робочий стенд, повинен:

- забезпечувати визначення метрологічних характеристик лічильників газу в усьому діапазоні витрат із дотриманням вимог ЕД виробника лічильників газу.

- реалізувати метод повірки «старт з ходу», тобто стенд має забезпечувати початок і закінчення відліку контрольного об'єму за сигналом (імпульсом) від лічильника чи відлік імпульсів із лічильника між стартовим і стоповим сигналами (мітками) стенду в автоматичному режимі.

У будь-якому разі система збирання та оброблення інформації має враховувати вплив недорахованого імпульсу на початку та в кінці заміру або величина контрольного об'єму має бути достатньо великою, щоб вплив недорахованих імпульсів був нехтовно малий.

Робочий стенд має забезпечувати простоту та надійність (герметичність) під'єднання лічильників згідно з вимогами до монтування лічильників цього типу, що містяться в ЕД на ці лічильники. Герметичність системи має бути такою, щоб витікання повітря з неї було меншим від двох величин: 0,1 дм<sup>3</sup>/год чи об'єму, що не перевищує 0,1 % від пропущеного об'єму за найменшого

значення витрати. Рекомендовано автоматичну процедуру перевірки герметичності без втручання оператора.

Робочий стенд обов'язково має бути укомплектовано засобами вимірювальної техніки, що дають змогу отримати таку вимірювальну інформацію:

- різницю тисків між лічильником, що досліджують, і тиском на еталонному лічильнику за якого відтворено контрольний об'єм;
- температуру на лічильнику й температуру на еталонному лічильнику за якої відтворено контрольний об'єм;
- засоби для підрахування кількості сигналів генератора імпульсів лічильника.

Місця встановлення перетворювачів тиску й температури робочого середовища в лічильниках, що досліджують, мають відповідати вимогам, установленим в ЕД на лічильник.

Програмне забезпечення робочого стенду за результатами кожного вимірювання має:

- забезпечувати ведення та збереження електронного протоколу повірки, вимоги до змісту якого наведено у відповідних ДСТУ на лічильники газу;
- мати можливість подання всіх вимірюваних величин та параметрів налаштувань на матеріальному носії у формі, придатній для візуального сприйняття людиною, які дають змогу виконати обчислення похибки вимірювань лічильника.
- мати можливість юстування.
- передбачати його однозначну ідентифікацію, що забезпечується присвоєнням версії програми й дати її зміни.
- гарантувати захист параметрів налаштування програми, які мають вплив на його метрологічні характеристики так, щоб їх зміна приводила до видимих ознак втручання та фіксації/збереження такої дії.

Вимоги до приміщення та системи клімат-контролю лабораторії.

Приміщення лабораторії повинно:

- мати окремий належний контур заземлення для силових ліній, а також окремий для системи збирання й оброблення інформації та вимірювальні кола;
- бути обладнано тельфером з мінімально можливим навантаженням в 1.5 т;
- бути оснащено належним освітленням у відповідності до вимог рівні якого мають відповідати вимогам [21] ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»;
- основа(підлога) повинна витримувати масу робочого стенду та забезпечувати зручне та безпечне транспортування, монтаж досліджуваних лічильників газу та відповідних прямих ділянок для його під'єднання;
- мати тамбур, який буде відділяти приміщення робочого стенду від вулиці;
- мати окреме приміщення для складування засобів та розміщення силових вентиляторів з компресорним обладнанням;[21]
- мати відокремлене приміщення для оператора та навчального класу з встановленими вікнами, що дозволяють стежити за роботою робочого стенду та проводити навчально-практичні заняття;
- входи в усі приміщення лабораторії повинні бути захищені від несанкціонованого проникнення та мати можливість зачинятись на ключ.

Система клімат-контролю повинна забезпечувати: підтримання температури повітря в приміщенні в межах  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ ; підтримання відносної вологості повітря в межах — не більше ніж 80 %; зміна температури повітря в приміщенні, де зберігають робочий стенд, не повинна перевищувати  $10^\circ\text{C}$  за 8 год [21].

Робочий стенд має бути захищено від прямих сонячних променів. Під час застосування в приміщенні кондиціонерів не допускають прямого потоку повітря з кондиціонера на робочий стенд чи дослідну секцію. Рекомендовано застосовувати кондиціонери, які забезпечують поступове перемішування потоку повітря з кондиціонера з повітрям у приміщенні.

Вимоги до надійності. Робочий стенд повинен бути відновлюваним, переїзdnим і однофункціональним виробом, який має циклічний характер

роботи з експоненціальним законом розподілу часу безвідмовної роботи. Ймовірність безвідмовної роботи стенда повинна бути не менше 0,82 за 8000 год. Параметром, за яким визначають відмову, є сумарний середньоквадратичний відхил результатів вимірювання. Час відновлення - не більше 8-ми годин.

Строк збереження – не менше 15-ти років. Строк експлуатації – не менше 20-ти років.[21]

Вимоги до техніки безпеки. В експлуатації робочого стенду повинні брати участь спеціалісти, які добре знають будову і принцип роботи стенда і правила виконання вимірювань на ньому. Робочий стенд повинен відповідати щодо безпеки його експлуатації НПАОП 0.00-7.14-17 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками» [22].

Електромонтаж і заземлення складових частин робочого стенду повинні бути виконані відповідно до чинних "Правил улаштування електроустановок", затверджених наказом Мінпаливенерго України від 28 серпня 2006 р. № 305 [23].

Вимоги до конструктивного оформлення та розміщення робочого стенду. Конструктивне оформлення робочого стенду повинно відповідати сучасним вимогам ергономіки та дизайну. Робочий стенд повинен бути розміщений в окремому приміщенні з необхідними умовами експлуатації.

Вимоги до маркування. На всіх окремих складових частинах робочого стенду повинно бути нанесено таке маркування: умовне позначення, номер та рік випуску.

Джерелами інформації, необхідної для створення спеціалізованої навчально-дослідницької лабораторії є:

- ЗУ «Про вищу освіту» і Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»;

- наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України №1747 від 13.10.2016 р. «Про затвердження міжповітряних інтервалів законодавчо

регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації» [18];

- Порядок, процедуру та умови проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки встановлює «Порядок проведення перевірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів» затверджений наказом міністерства економічного розвитку і торгівлі України № 193 від 08.02.2016 [19].

- ДСТУ 3383:2015 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу результати наукових-дослідних робіт науковців ДП «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ» та ІФНТУНГ[20].

- публікації іноземних науковців у різних фахових виданнях.

Таблиця 2.1 – Етапи і зміст роботи технічного завдання

№ з/п	Найменування етапу
1	Розробка проекту конструкторської документації та алгоритму роботи установки і програмного забезпечення
2	Формування вимог до приміщення де буде розташований РЕ та підготовка до робіт з реконструкції
3	Підготовка технічних вимог до еталонного обладнання, механічної частини установки та програмного забезпечення
4	Проведення реконструкції та ремонтних робіт у приміщенні.
5	Проведення закупівлі еталонного обладнання та матеріалів для виготовлення робочого стенду
6	Виготовлення та монтаж механічної частини і пристроїв для створення витрати в робочому стенді
7	Монтаж та налагодження системи збору та обробки інформації, закупівля/розроблення програмного забезпечення.
8	Налагоджувальні роботи та калібрування робочого стенду
9	Проводити теоретичні та практичні заняття для студентів.

## 2.2 Розробка 3D моделі

Робочий еталон, який спроектований фахівцями ДП “ІВАНО-ФРАНКІВСЬКСТАНДАРТМЕТРОЛОГІЯ” з максимальною витратою до 25000 м<sup>3</sup>/год, складається з системи трубопроводів з агрегатами для створення потоку газу, набору паралельно встановлених еталонних лічильників газу (ЕЛ) і досліджуваного лічильника газу, встановленого послідовно до еталонних лічильників, системи регулювання витрати, перетворювачів температури і тиску, системи збору, передачі і обробки інформації [24]. В складі установки паралельно встановлені еталонні лічильники DN 300 з можливістю одночасної роботи. При цьому набір з шести ЕЛ механічно розв'язаний від агрегатів створення потоку газу і досліджуваного лічильника газу через спеціалізовані вібровставки, чотири паралельних еталонних ліній з ЕЛ з витратою 6500 м<sup>3</sup>/год пропорційні зростанню значення досліджуваної витрати. Система регулювання витрати газу через досліджуваний лічильник газу виконана багатоступенево і включає агрегати для створення потоку з частотним управлінням, для чотирьох ліній, регулятор витрати з позиційним регулюванням стабілізації потоку при різних режимах роботи агрегату і засувки з обертовими приводами і позиційним регулюванням для забезпечення точного виставлення витрати в кожній еталонній лінії. 3D-модель робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від 1 м<sup>3</sup>/год до 25000 м<sup>3</sup>/год наведена на рис. 2.1. [24]

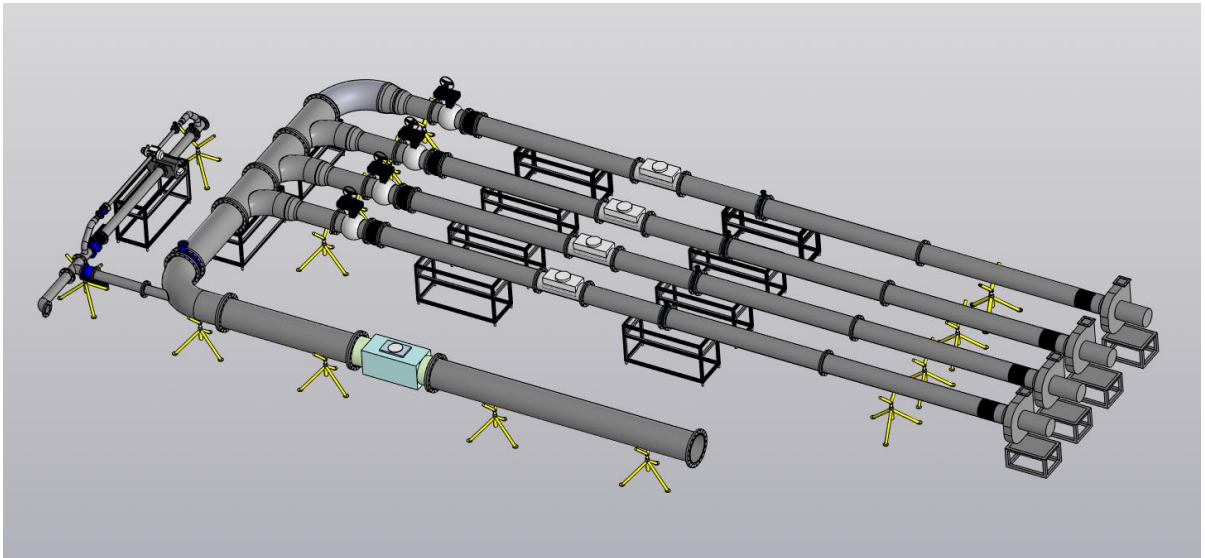


Рисунок 2.1 – 3D-модель робочого еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від 1 м<sup>3</sup>/год до 25000 м<sup>3</sup>/год

Паралельне використання таких еталонних лічильників газу у стенді дозволяє збільшити діапазон відтворюваних витрат, що залежить від кількості встановлених і задіяних еталонних лічильників газу, забезпечити метрологічну простежуваність вимірювань до національної еталонної бази, а саме до вторинних еталонів в діапазоні об'ємної витрати газу до 7800 м<sup>3</sup>/год, що володіють міжнародно визнаними вимірювальними можливостями та опублікованими СМС-рядками в міжнародній базі KCDB під грифом UA4. Лічильники пройшли калібрування на державному вторинному еталоні одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ВЕТУ 03-01-03-11 та ВЕТУ 03-01-04-12 таким чином їхні динамічні діапазони будуть перетинатися за декількох значень об'ємних витрат. Це дає суттєві переваги, в порівнянні із типовими повірочними установками з еталонними лічильниками, в яких діапазони еталонних лічильників перетинаються тільки в одній спільній точці. Тобто із застосуванням програмного забезпечення установки є можливість проведення діагностичних вимірювань з метою постійного контролю стабільності метрологічних характеристик та невизначеності вимірювань установки.

### 2.3 Розробка функціональної схеми з алгоритмами роботи

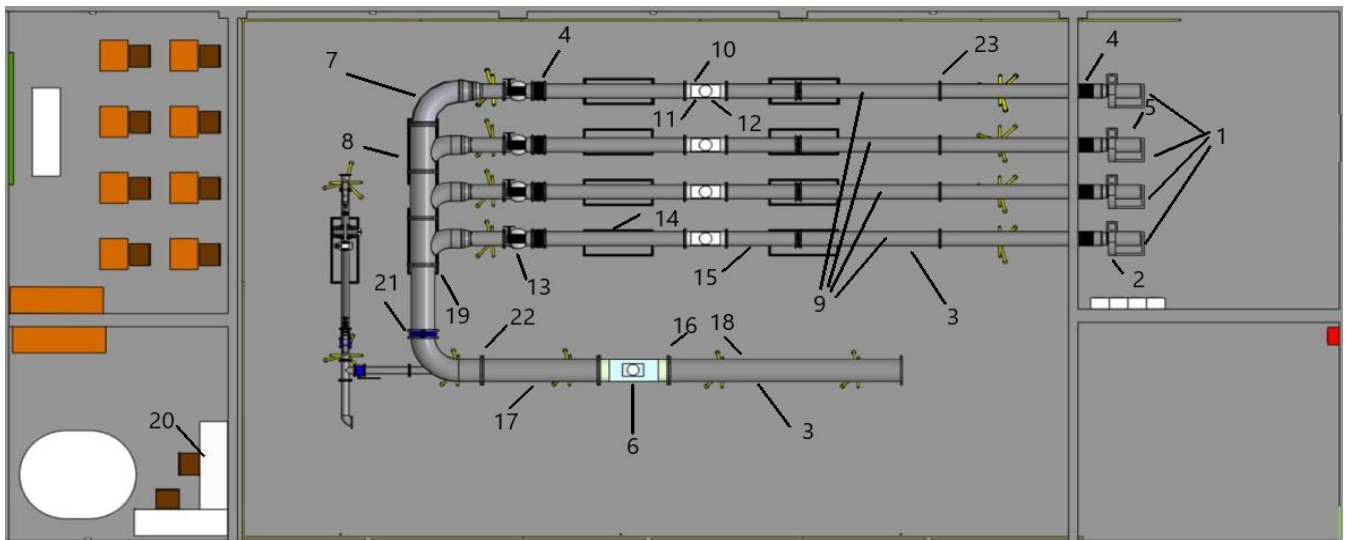


Рисунок 2.2 - Функціональна схема еталонної установки для промислових лічильників газу на надвеликі витрати газу

Пристрій складається з чотирьох агрегатів створення потоку 1, як приклад, радіальних вентиляторів, та під'єднаних до них регуляторів частоти 2, який призначені для встановлення необхідної швидкості обертання вентиляторів. Агрегати створення потоку (1) під'єднані до трубопроводу 3 через спеціалізовані вібровставки 4, що дозволяють уникнути передачі вібрації, зумовленої його роботою. Трубопроводи (3) під'єднані до загальних регуляторів витрати з позиційним регулюванням 5, які забезпечують створення стабільного потоку при різних режимах роботи агрегатів. За допомогою загального регулятора (5) також забезпечується підтримка необхідного значення витрати у трубопроводі 3 досліджуваного лічильника/витратоміра газу 6. Коліна 7 та 8 забезпечують під'єднання паралельних еталонних ліній 9, кількість яких може складати дві і більше, в залежності від відповідного значення досліджуваної витрати. На рис., як приклад, наведено чотири, еталонних ліній (9). В склад паралельних еталонних ліній (9) входить засувка 6 з повільнообертним приводом та позиційним регулюванням, для забезпечення точного виставлення витрати. Основною складовою лінії (9) є еталонний лічильник газу 10 з давачами тиску 11 та температури 12, які призначенні для визначення значення об'єму та об'ємної витрати, що проходить через

досліджуваний лічильник/витратомір газу 6. Для забезпечення герметичного закриття або під'єднання паралельних еталонних ліній (9) використовують повнопрохідні кульові крани 13. Для визначення та контролю параметрів навколишнього середовища призначені давачі тиску 14 та температури 15. Досліджуваний лічильник/витратомір газу 6 під'єднують до запропонованого пристрою за допомогою засувки 16. Контроль умов на досліджуваному лічильнику/витратомірі газу (6) здійснюють давачем тиску 17 та давачем температури 18. Вся інформація від регуляторів, давачів тиску та температури, досліджуваного лічильника/витратоміра газу (6) та еталонного лічильника (10) передається на контролер 19, який перетворює інформацію у цифровий код і передає на ПЕОМ 20, де відбувається контроль та обробка результатів вимірювання. Пристрій для калібрування, метрологічної атестації та повірки лічильників і витратомірів газу працює так. Досліджуваний лічильник/витратомір газу 6 монтують на трубопровід 3, згідно з експлуатаційними документами. Далі відповідно до способу встановлення відкривають засувку 21 або 22. В залежності від необхідного значення витрати задіюють відповідну кількість паралельних еталонних ліній 9 за допомогою відкриття засувки 23. Для перевірки герметичності під'єднання досліджуваного лічильника/витратоміра газу 6 вхідний трубопровід 3 закривають заглушкою. За допомогою агрегату 1 створюють розрідження у системі під'єднаних трубопроводів. Після закриття регуляторів 2 агрегат 1 вимикається. Перевірка проводиться, шляхом контролю показів давача тиску 17 і показів досліджуваного лічильника/витратоміра газу 6. Після позитивного результату перевірки герметичності заглушку знімають. На екрані монітора ПЕОМ 20 оператор задає необхідні параметри регулятора частоти 2, загального регулятора 5 та засувки з позиційним управлінням 23, що відповідатиме заданому значенню об'ємної витрати на досліджуваному витратомірі/лічильнику газу 6 та задіяних паралельних еталонних лініях 9. Оператор задає об'єм повітря, який необхідно пропустити через досліджуваний лічильник/витратомір газу 6, що регламентовано у методиці калібрування,

метрологічної атестації або повірки даного приладу. Для проведення вимірювання вмикають агрегат 1. Після виходу у робочий режим, що контролюється на екрані монітора ПЕОМ 20 на основі показів еталонних лічильників газу 10 та давачів тиску 11, 17 і температури 12, 18, проводять серію досліджень з формуванням протоколу з подальшим його збереженням у пам'яті ПЕОМ 20. Кількість вимірювань визначають відповідно до методики калібрування, повірки або метрологічної атестації.

#### **2.4 Розробка програмного забезпечення з алгоритмом роботи**

У відповідності до Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [25], установки, які застосовуються для проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки – лічильників газу, повинні пройти обов'язкову процедуру калібрування із розрахунком значення розширеної невизначеності.[25]

Розрахунок розширеної невизначеності вимірювань еталонної установки здійснюється під час проведення її калібрування. Процедура калібрування проводиться згідно методики [26]. Методика на початковому етапі передбачає поетапне калібрування каналів вимірювання тиску та температури (на лініях еталонних лічильників та на дослідній лінії) і часу. Калібрування вказаних каналів проводиться в складі установки для виключення впливу монтажу, забезпечення герметичності та перевірки роботи програмного забезпечення. Для калібрування застосовують калібратор тиску, термостат з еталонним термометром та частотомір. Для кожного каналу визначається складова сумарної невизначеності за типом *A* та типом *B* (з врахуванням невизначеності еталонного засобу, яким проводили калібрування). [26]

Калібрування каналу вимірювання об'єму газу, тобто еталонного лічильника, відбувається із застосуванням еталонів передавання. Еталони передавання проходять періодичне калібрування на національних державних первинних та вторинних еталонах об'єму та витрати газу.[2]

Крім того, проводиться розрахунок складової невизначеності, яка зумовлена ефектом накопичення об'єму через зміну температури за час проведення калібрування. Для зменшення впливу цього ефекту, установка сконструйована із застосуванням чотирьох паралельних ліній (Ду 300 мм) для монтажу лічильників, з можливістю відсікання додаткового приєднуваного об'єму. При цьому, розрахунки проводяться для кожного еталонного лічильника в складі установки. Розрахунок цієї складової невизначеності здійснюється за наступною формулою:

$$\Delta_{V_{EH}^i} = V_T \cdot \left( \left| \frac{T_{enMM} - T_{stMM}}{T_{stMM} + 273,15} \right| + \left| \frac{T_{enTM} - T_{stTM}}{T_{stTM} + 273,15} \right| \right), \quad (2.1)$$

$V_T$  – сумарний об'єм внутрішнього простору установки між еталоном передавання та еталонним лічильником, м<sup>3</sup>,

$T_{enMM}$ ,  $T_{stMM}$ ,  $T_{enTM}$ ,  $T_{stTM}$  – температури в кінці (*en*) та на початку (*st*) вимірювання перетворювачів на еталонному лічильнику (ММ) та на еталоні передавання (ТМ) відповідно, °С.

Невизначеність вимірювання, зумовлена ефектом накопичення об'єму:

$$u_{BV_{EH}^i} = 100 \cdot \frac{\Delta_{V_{EH}^i}}{\sqrt{3} \cdot V_K}, \quad (2.2)$$

$V_K$  – контрольний об'єм, який проходить через еталонний лічильник за час одного вимірювання, м<sup>3</sup>.

Наступним етапом проводиться калібрування еталонних лічильників. Калібрування еталонних лічильників рекомендується проводити в порядку спадання максимальної витрати. Калібрування кожного еталонного лічильника проводиться не менше ніж в 9-ти точках об'ємної витрати, розподілених у всьому діапазоні об'ємної витрати у порядку спадання. Допускається дослідження у додаткових точках витрат якщо форма характеристики еталонного лічильника вимагає детальніших досліджень частини діапазону. Калібрування еталонного лічильника установки полягає у визначенні коефіцієнта перетворення ( $K$ ), що відповідає 1 м<sup>3</sup>. Його розрахунок здійснюється за наступною формулою:

$$K_i = \frac{N_i}{V_i}, \quad (2.3)$$

$N_i$  - кількість імпульсів еталонного лічильника, що відповідає об'єму  $V_i$ .

Слід врахувати, що при підрахунку імпульсів виникає невизначеність, яка пов'язана із неврахуванням імпульсів за  $i$ -ого значення об'ємної витрати, яка визначається як:

$$u_{BN_i} = 100 \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{2}{N_i}, \quad (2.4)$$

$N_i$  – кількість імпульсів з еталонного лічильника за  $i$ -того значення об'ємної витрати.

За результатами всіх вимірювань, використовуючи метод найменших квадратів, визначають коефіцієнти апроксимаційного полінома для кожного еталонного лічильника наступного виду:

$$K(q) = A_{-2}q^{-2} + A_{-1}q^{-1} + A_0 + A_1q^1 + A_2q^2, \quad (2.5)$$

$A_i$ - коефіцієнти апроксимаційного полінома, які визначаються за результатами калібрування;

$q$  – об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/год.

Для визначення складової невизначеності за типом  $B$  для кожного еталонного лічильника, проводять не менше, ніж 3 вимірювання за допомогою еталона передавання та обчислюють невизначеність за формулою:

$$u_{BMMi} = \frac{(\overline{\delta_{PR_j}} - \delta_{TM_j})}{\sqrt{3}}, \quad (2.6)$$

$\overline{\delta_{PR_j}}$  – середнє значення похибки, отриманої для еталона передавання на установці за  $i$ -ого значення об'ємної витрати, %;

$\delta_{TM_j}$  – значення похибки еталона передавання, отримане під час його калібрування на національному первинному або вторинному еталонах за  $i$ -ого значення об'ємної витрати, %

Після чого здійснюють розрахунок невизначеності вимірювання за типом  $A$  під час проведення калібрування еталонної установки з врахуванням наступних складових:

$$u_{A_i} = \sqrt{u_{AMM_i}^2 + u_{AP}^2 + u_{AT}^2}, \quad (2.7)$$

$u_{AMM_i}$  – невизначеність за типом  $A$  еталонного лічильника (ММ);

$u_{AP}$  – невизначеність за типом  $A$  вимірювання тиску;

$u_{AT}$  – невизначеність за типом  $A$  вимірювання температури.

Відповідно невизначеність за типом  $B$  еталонної установки буде аналогічно визначатись з урахуванням наступних складових:

$$u_{B_i} = \sqrt{u_{TM}^2 + u_{BMM_i}^2 + u_{BP}^2 + u_{BT}^2 + u_{BN_i}^2 + u_{BV_{EH}^i}^2}, \quad (2.8)$$

$u_{TM}$  – невизначеність еталона передавання;

$u_{BMM_i}$  – невизначеність за типом  $B$  еталонного лічильника;

$u_{BP}$  – невизначеність за типом  $B$  вимірювання тиску;

$u_{BT}$  – невизначеність за типом  $B$  вимірювання температури;

$u_{BN_i}$  – невизначеність неврахування імпульсів;

$u_{BV_{EH}^i}$  – невизначеність впливу ефекту накопичення.

Розширена стандартна невизначеність вимірювання об'єму  $U_i$  розраховується індивідуально для кожного  $i$ -того еталонного лічильника з врахуванням складових за типом  $A$  (7) та складових за типом  $B$  (8), за наступною формулою:

$$U_i = 2 \cdot \sqrt{u_{A_i}^2 + u_{B_i}^2}, \quad (2.9)$$

За результатами розрахунків вибирається найбільше значення розширеної невизначеності вимірювання.

Програмне забезпечення еталонної установки містить обов'язкові вимоги нових методик повірки на лічильники газу турбінного, роторного, ультразвукового типів та лічильники із вбудованими пристроями перетворення, які містяться в національних стандартах [31 – 34]. Зокрема, передбачено

формування електронного протоколу повірки із збереження необхідних первинних даних. Також передбачений розрахунок контрольної суми параметрів налаштування програми, яка має вплив на метрологічні характеристики, зокрема: коефіцієнти перетворення еталонних лічильників та параметри калібрування вимірювальних перетворювачів, що входять у склад еталона. Відповідно до пунктів методик повірки, повинно виконуватись два вимірювання за кожного значення об'ємної витрати газу. Слід відзначити, що для оцінки придатності, обирають більше за модулем з двох значень отриманої основної відносної похибки лічильника, а не середнє арифметичне значення з двох послідовних вимірювань.[31 – 34]

Загальний вигляд робочого еталону одиниці об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати газу від  $1 \text{ м}^3/\text{год}$  до  $25000 \text{ м}^3/\text{год}$  наведено на рис.3



Рисунок 2.3 – Робочий еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу в діапазоні об'ємної витрати від  $1 \text{ м}^3/\text{год}$  до  $25000 \text{ м}^3/\text{год}$

В установці, в залежності від параметрів лічильника, який повіряється, реалізовано наступний метод повірки: «старт з ходу», тобто установка забезпечує початок і закінчення відліку контрольного об'єму по сигналу (імпульсу) від лічильника газу. Крім того, в переліку операцій повірки, яка здійснюється після ремонту лічильника газу введено вимоги обов'язкового визначення середньозваженої похибки (WME), яка визначається за наступною формулою:

$$WME = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \delta_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (2.10)$$

$\delta$  – основна відносна похибка лічильника, що повіряється (у відсотках);  $q_i$  – значення об'ємної витрати газу, на якому проводиться повірка;

$$k_i = \frac{q_i}{q_{\max}} \quad \text{при } q_i \leq 0,7 q_{\max};$$

$$k_i = 1,4 - \frac{q_i}{q_{\max}} \quad \text{при } 0,7 q_{\max} < q_i \leq q_{\max}$$

Для розробленої установки передбачене перспективне застосування для проведення серії різноманітних випробувань лічильників газу в рамках проведення оцінки відповідності вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки. Зокрема, згідно нормативних документів [27, 28], які є доказовою базою, зазначений перелік випробувань на збурення потоку. Конструкцією установки передбачена технічна можливість встановлення завад на збурення потоку низького рівня і збурення потоку високого рівня.

## 2.5 Конструювання установки

Робочий еталон DN50 - DN500 з максимальною витратою до 25000 м<sup>3</sup>/год розробляється з дотриманням вимог ДСТУ 3383:2007 [29] та призначений для повірки лічильників газу згідно з «Порядком проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки» [30] у відповідності до: ДСТУ

9033:2020 [31], ДСТУ 9034:2020 [32], ДСТУ 9036:2020 [33], ДСТУ 9037:2020 [34], а також може бути застосований при випробуваннях та оцінці відповідності лічильників газу на відповідність вимогам Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки [35].

Сформуємо перелік вимог до еталонної установки в діапазоні об'ємної витрати до 25000 м<sup>3</sup>/год.

Робочий еталон повинен забезпечувати простоту та надійність (герметичність) під'єднання лічильників згідно з вимогами до монтування лічильників різного типу (турбінного, роторного та ультразвукового), що містяться в ЕД на ці лічильники. Місця встановлення перетворювачів тиску й температури робочого середовища в лічильниках, що досліджують, мають відповідати вимогам, установленим в експлуатаційній документації на лічильник. Конструктивне оформлення робочого еталона повинно відповідати сучасним вимогам ергономіки та дизайну.

Структурна схема робочого еталона наведена на рис.2.4

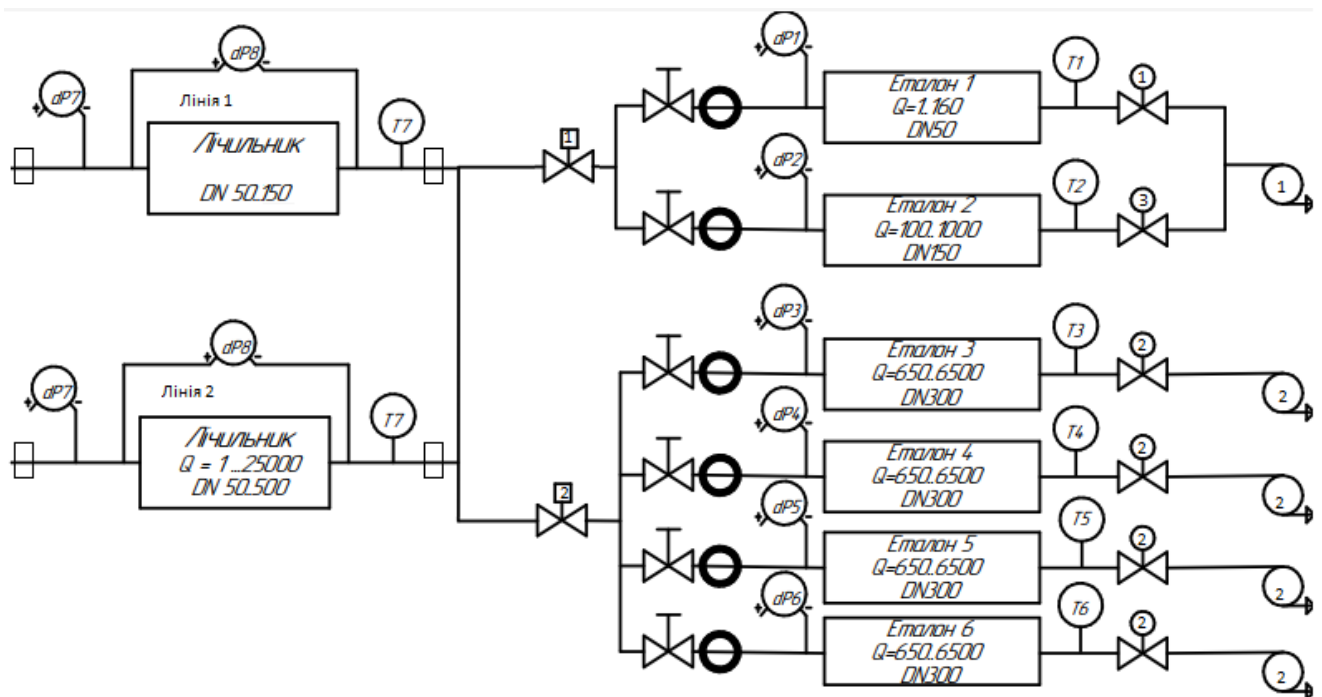





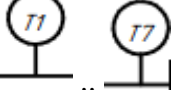
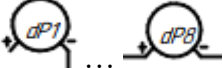







Рисунок 2.4 – Структурна схема робочого еталона

Умовні позначення та номенклатура елементів, зображених на структурній схемі, наведені у таблиці 2.1

Таблиця 2.1. - Умовні позначення та номенклатура необхідних елементів, які будуть застосовані в складі установки

Позначення	Номенклатура
	Вентилятор – 1 шт.
	Вентилятори з електродвигуном 45 кВт. 3000 об/хв. - 4 шт.
	Поворотний затвор DN50 PN16 виробництва – 1 шт.
	Поворотний затвор DN300 PN16 виробництва – 4 шт.
	Поворотний затвор DN150 PN16 виробництва – 1 шт.
	Перетворювачі температури з зовнішньою різьбою M20x1.5 – 7 шт.
	Перетворювачі перепаду тиску – 8 шт.
	Вібровставка, EPDM, Ру16 (Діаметр у відповідності до місця монтажу) – 6 шт.
	Кран фланц. Ду 50/50 цільнозварний (Ру=16, Т=-35...+180°C) – 1шт. Кран кульовий фланцевий 565 Ду 150 Ру=16 – 1 шт. Кран фланц. Ду 300/300 цільнозварний з редуктором (Ру=16, Т=-30...+180°C) – 1шт. (Місце встановлення відповідно до діаметру трубопроводу)
	Затвор дисковий поворотний міжфланцевий, батерфляй DN150 PN16 – 1 шт.
	Затвор дисковий поворотний міжфланцевий, батерфляй DN500 PN16 – 1шт.
	Фланцеві під'єднання: Лінія 1 – від DN50 до DN150 Лінії 2 – від DN50 до DN500
Еталон 1	Еталон роторного типу G100 – 1 шт.
Еталон 2	Еталон роторного типу G650 – 1шт.
Еталон 3 – Еталон 6	Еталон турбінного типу G4000 DN300 – 4шт.
Лінія 1	Дослідна лінія для монтажу лічильників газу роторного, турбінного, ультразвукового типу умовного діаметру від 50мм до 150мм з універсальним фланцевим під'єднанням до фланців лічильника розрахованого на тиск від PN6 до PN100

Лінія 2	Дослідна лінія для монтажу лічильників газу роторного, турбінного, ультразвукового типу умовного діаметру від 50мм до 500мм з універсальним фланцевим під'єднанням до фланців лічильника розрахованого від PN6 до PN100
---------	---

Проектування здійснено керуючись наступними вимогами:

- Конструкція еталона повинна забезпечувати зручне його обслуговування та доступ до всіх його елементів, а саме, еталонних лічильників, перетворювачів тиску та температури, засувок тощо.

- Дослідні лінії 1-2 та еталонні лічильники 2–6 повинні бути розміщені на висоті 950мм над рівнем підлоги (Еталон 1 повинен бути розміщений на одній висоті з Еталоном 2 або над ним).

- Дослідні та еталонні лінії повинні мати можливість приєднання перетворювачів температури на відстані 2DN до еталона/лічильника та 2DN після еталона/лічильника.

- Дослідні та еталонні лінії повинні мати фітинги для відбору тиску/розрідження на відстані 2DN до еталона/лічильника та 2DN після еталона/лічильника.

- Дослідні лінії повинні мати допоміжні елементи для їх монтажу/демонтажу за допомогою кран-балки або тельфера.

- Під дослідними лініями повинні бути розроблені переносні регулюючі опори для утримання відповідних прямих ділянок DN50, DN80, DN100, DN150, DN200, DN250, DN300, DN400, DN500.

- Всі виготовлені елементи робочого еталона повинні бути покриті захисним покриттям (фарба/гальванічне покриття).

- Вхідні ділянки трубопроводів перед Еталонними лічильниками 1 – 6, а також перед досліджуваним лічильником не повинні бути меншими ніж 10DN.

- Вихідні ділянки трубопроводів після Еталонних лічильників 1 – 6, а також після досліджуваного лічильника не повинні бути меншими ніж 5DN.

- Відстань перед вхідною ділянкою лічильника і будь-якою перешкодою не повинна бути меншою за 3.5 м.

## 2.6 Стенд для перевірки герметичності

Стенд для перевірки на герметичність промислових лічильників газу спг-16

Загальний вид стенда показаний на рис. 2.5



Рисунок 2.5 - Загальний вид стенда

Стенд СПГ-16 застосовується для перевірки на герметичність надлишковим тиском турбінних, роторних та ультразвукових промислових лічильників газу з фланцевим типом під'єднання, типорозмірів від G10 до G1600.

Стенд забезпечує:

- перевірку на герметичність лічильників фланцевого типу під'єднання, умовний діаметр яких знаходиться в діапазоні від 0 до 200мм та базова довжина яких від 100мм до 650мм;

- можливість доукомплектації перехідними фланцями і подовжувачами для адаптації стенду під перевірку будь яких типорозмірів лічильників у вище вказаному діапазоні;

- перевірку лічильників на герметичність надлишковим тиском від 0 до 1,6МПа;

- плавне створення надлишкового тиску (без гідроударів) в системі;

- визначення величини втрати тиску в лічильнику, що перевіряється;

- перевірку лічильників на герметичність в автоматичному режимі з друком протоколу перевірки;

- перевірку лічильників на герметичність в ручному режимі (візуально по показам манометра);

- можливість під'єднання до комп'ютеризованої системи керування і збору даних установки повірки промислових лічильників газу типу ПУЛГ виробництва ТзОВ Науково-виробничого центру «Новатор».

Конструкція установки забезпечує зручне і швидке під'єднання лічильників, що перевіряються, до установки з допомогою гідроциліндра. Відпадає необхідність виконувати вручну болтове з'єднання із значними втратами робочого часу. Це забезпечує збільшення її продуктивності і зручність в експлуатації.

Стенд комплектується спеціальними перехідними фланцями, вставками та подовжувачами, що значно прискорює і полегшує процес встановлення та закріплення лічильника, що перевіряється.

Застосування понижаючого газового редуктора забезпечує плавне створення надлишкового тиску в порожнині лічильника без гідравлічних ударів. Це запобігає ушкодженням елементів лічильника та контрольнo-вимірювального обладнання, що задіяне в системі.

Контроль величини створення надлишкового тиску в системі та втрати тиску при опресуванні лічильника проводиться візуально шляхом спостереження за показами на манометрі, або шляхом спостережень на моніторі комп'ютера за автоматичною побудовою графіка падіння тиску.

При проведенні перевірки лічильників на герметичність в автоматичному режимі – параметри падіння тиску передаються через вимірювальний блок на комп'ютер, за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення

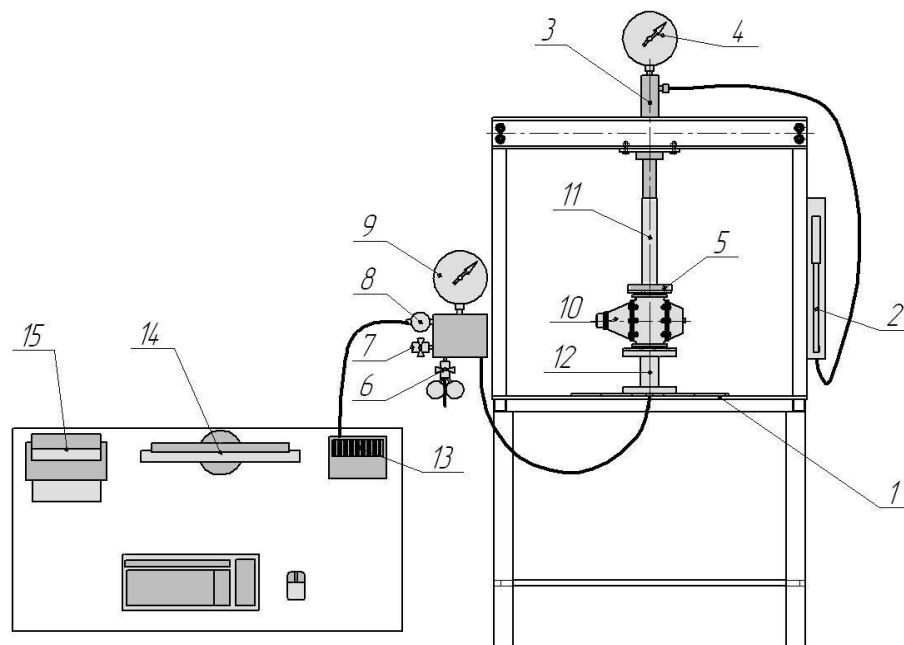
обробляються і на монітор виводиться графік падіння тиску за певний проміжок часу з наступним автоматичним формуванням протоколу перевірки та висновком.

Програмне забезпечення установки – спеціалізована авторська програма PovAutoMod v5.0, яка може працювати під керуванням ОС Windows XP, Windows 95, Windows 98, Windows Me.

Габаритні розміри установки (без пристрою створення надлишкового тиску та стола оператора):

- довжина 0,8 м.;
- ширина 1,5 м.;
- висота 2,0 м.

Маса – 200 кг.



1 – стіл установки лічильника; 2 – гідропомпа затискного механізму; 3 – гідроциліндр затискного механізму; 4 – манометр гідроциліндра; 5 – фланці-заглушки; 6 – редуктор газовий понижуючий; 7 – кран «ствавлення» повітря з системи; 8 – резистивний давач тиску; 9 – манометр контролю величини надлишкового тиску в лічильнику; 10 – лічильник, що перевіряється на герметичність; 11 – подовжувач штока; 12 – вставка-котушка перехідна; 13 – блок вимірюючий; 14 – ЕОМ; 15 – принтер.

Рисунок 2.6 - Структурна схема станда СПГ-16

### 3 МЕТРОЛОГІЧНА АТЕСТАЦІЯ УСТАНОВКИ.

Метрологічна атестація установки здійснюється згідно таких пунктів:

#### 1 Операції повірки

1.1 При повірці установок повинні бути виконані операції, перелік яких наведений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік операцій при повірці установок

Назва операції	Пункт методики
1 Зовнішній огляд	6.1
2 Перевірка функціонування	6.2
3 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску	6.3
4 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання температури	6.4
5 Перевірка герметичності	6.5
6 Контроль сумарної похибки	6.6
7 Визначення рівня еквівалентності установки з використанням еталонів передавання	6.7

1.2 При поелементному способі повірки повинні бути обов'язково виконані операції 1 – 6.

1.3 При комплектному способі повірки виконуються операції 1, 2, 3, 4, 5, та 7.

1.4 При негативних результатах будь-якої операції, повірку установки припиняють.

#### 2 Засоби повірки

2.1 Перелік засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ), що використовуються при повірці установок, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Перелік ЗВТ, що використовуються при повірці повірочних установок

Номер пункту методик и	ЗВТ і допоміжні засоби, що використовуються при повірці
6.1	Візуально
6.2	ЗВТ (вимірювальні канали), що входять в комплект установки, лічильник газу
6.3	Манометр вантажопоршневий КПП-1, діапазон вимірювань від 1600 до 100000 Па, клас точності 0,02; Мікроманометр МКВ-250, діапазон вимірювань від 0 до 2500 Па, клас точності 0,02
6.4	Термостат рідинний, діапазон підтримування та регулювання температури від 10 до 30 °С, підтримування заданої температури в часі з похибкою до 0,05 °С; Термометр ртутний ТЛ-4, діапазон вимірювань від 0 до 50 °С, ціна поділки 0,1°С
6.5	Засоби створення надлишкового тиску (розрідження); ЗВТ тиску (розрідження), що входять до складу установки; ЗВТ тиску (розрідження) класу не нижче 1%.
6.6	–
6.7	Еталони передавання одиниці об'єму газу в діапазонах об'ємних витрат від 0,016 до 2500 м <sup>3</sup> /год, відтворюваність показів ±0,05%

2.2 Допускається використовувати під час повірки інші ЗВТ, які за своїми метрологічними та технічними характеристиками задовольняють вимоги цього документа.

2.3 Всі ЗВТ, що використовуються під час повірки повинні бути повірені або атестовані в органах державної метрологічної служби.

### 3 Вимоги безпеки

3.1 При повірці установок необхідно дотримуватись вимог безпеки, що діють на підприємствах (організаціях), які проводять повірку, а також вимог безпеки, що наведені в технічних описах та інструкціях з експлуатації на установки, ЗВТ та випробувальне обладнання.

3.2 Загальні вимоги безпеки згідно ДСТУ 12.2.003[36].

3.3 Вимоги безпеки до установок повинні бути наведені в їхній експлуатаційній документації.

3.4 Повірник повинен пройти інструктаж з техніки безпеки та протипожежної безпеки, в тому числі і на робочому місці.

3.5 Повірник повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до технічної документації на проведення повірки та згідно порядку видачі, зберігання та користування спецодягом та запобіжними засобами.

### 4 Умови повірки

4.1 Повірка установок проводиться при наступних умовах:

- температура робочого середовища і навколишнього повітря ( $20 \pm 2$ ) °С;
- відносна вологість навколишнього повітря до 80 %;
- атмосферний тиск від 84,0 до 106,7 кПа;
- відсутність вібрації, ударів, магнітних полів (крім земних), трясіння, які впливають на роботу установки;
- використання в якості робочого середовища повітря.

### 5 Підготовка до повірки

5.1 Перед проведенням повірки установки необхідно перевірити:

- наявність діючих відбитків повірочних тавр або свідоцтв про повірку та (або) свідоцтв про державну метрологічну атестацію ЗВТ та робочих еталонів об'єму газу, що використовується під час повірки та входять в комплект установки;
- працездатність всіх засобів повірки;

– робочі місця на відповідність вимогам безпеки.

5.2 Установка та ЗВТ до початку повірки повинні бути витримані в умовах, зазначених в п.4.1 цієї методики, не менше 12 годин.

5.3 Засоби повірки та установка повинні бути підготовлені до роботи згідно вимог ТД, яка на них поширюється.

## 6 Проведення повірки

### 6.1 Зовнішній огляд

При зовнішньому огляді перевіряють відповідність установки вимогам ТД і

паспорта в частині складу, комплектності, маркування та пломбування; відсутності

механічних пошкоджень та інших дефектів, які б перешкождали роботі установки.

### 6.2 Перевірка функціонування

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

- регулювання об'ємної витрати шляхом контролю цього параметру на моніторі ПЕОМ (далі за текстом – комп'ютер);

- вимірювання установкою контрольного об'єму повітря;

- вимірювання витрати тиску на лічильниках, що повіряються,

- вимірювання температури перед лічильниками, що повіряються.

Після перевірки функціонування установки повітродувку виключають.

Функціонування установки вважають задовільним, якщо:

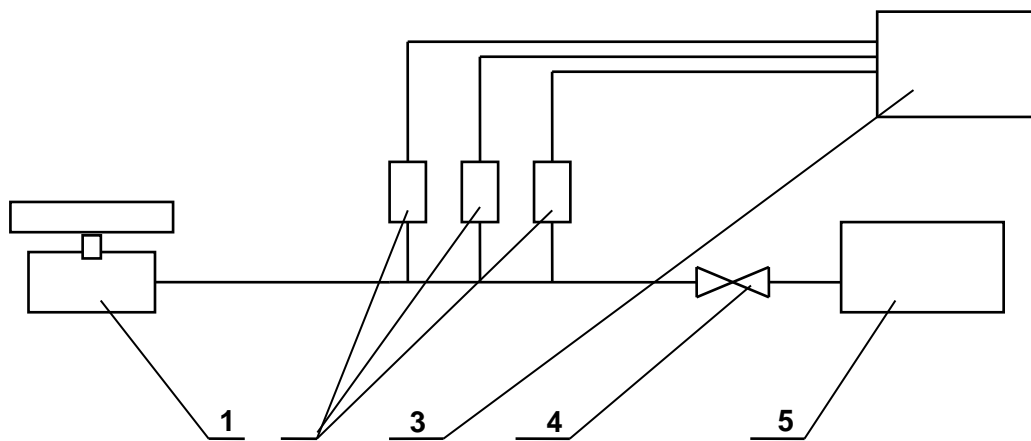
- забезпечується можливість регулювання об'ємної витрати в усьому діапазоні витрат лічильників, що повіряються;

- виконується вимірювання контрольного об'єму повітря;

- вимірюється тиск та температура перед робочими еталонами об'єму газу та лічильниками, що повіряються, а також втрати тиску на лічильниках, що повіряються.

### 6.3 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску

Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання тиску ведуть у наступній послідовності. Від'єднують ЗВТ тиску від установки і під'єднують їх до засобу створення надлишкового тиску (розрідження) згідно (рис 3.1.). Тиск (розрідження) в діапазоні від 1 до 2,5 кПа задається та вимірюється мікроманометром МКВ-250, в діапазоні від 1.6 до 10 кПа - задається та вимірюється манометром вантажопоршневим КПП-1.



- 1 - Джерело надлишкового тиску (розрідження); 2 - ЗВТ тиску повірочної установки;  
3 - ПЕОМ (вторинний прилад); 4 - Кран запірний; 5 - ЗВТ тиску

Рисунок 3.1 - Схема повірки каналів вимірювання тиску установки

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

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

Кількість досліджуваних значень тиску повинна бути не менше 6.

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

$$\bar{P}_j = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ij}}{n}, \quad (3.1)$$

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

Обчислюють оцінку СКВ результату вимірювань за формулою:

$$S_{P_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_{ij} - \bar{P}_j)^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

Обчислюють абсолютну похибку кожного каналу вимірювання тиску:

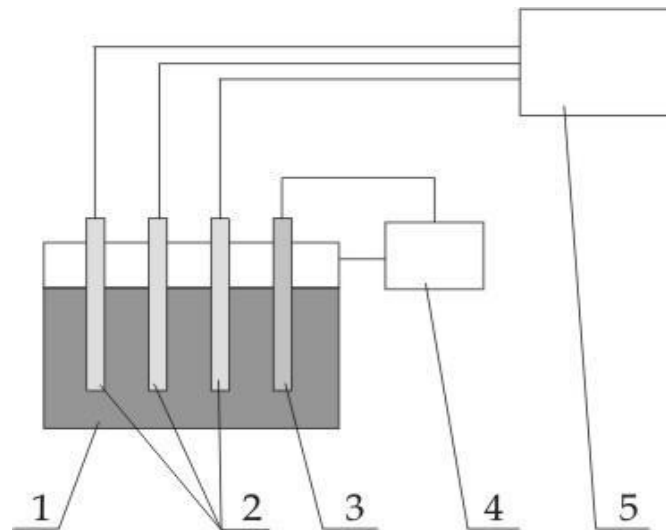
$$\Delta P_{ci} = P_{ij} - P_{задj}, \quad (3.3)$$

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

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

#### 6.4 Визначення метрологічних характеристик каналів вимірювання температури

Проводять демонтаж ЗВТ температури установки і занурюють їх в ванну термостата (рис.3.2 ). Задають і застабілізують одне із значень температури. Термостат витримують при заданій температурі протягом часу, що вказаний в паспорті на термостат. Після стабілізації температури проводять запис не менше 20 значень температури, виміряних ЗВТ температури, що входять в комплект повірочної установки. Контроль температури ведуть за допомогою термометра ртутного ТЛ-4 або термометра термостата.



1 – Термостат; 2 – ЗВТ температури повітряної установки; 3 – Термометр термостата; 4 - Пульт керування та індикації термостата; 5 – ПЕОМ (вторинний прилад)

Рисунок 3.2 - Схема повірки каналів вимірювання температури установки

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

Операцію запису значень температури можна проводити програмно за допомогою комп'ютера.

За одержаними значеннями температури обчислюють середнє арифметичне значення температури для кожного ЗВТ температури за формулою:

$$\bar{T}_j = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ij}}{n}, \quad (3.4)$$

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

Обчислюють оцінку СКВ результату вимірювань за формулою:

$$S_{T_j} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} - \bar{T}_j)^2}{n-1}}, \quad (3.5)$$

Обчислюють абсолютну похибку кожного каналу вимірювання температури:

$$\Delta T_{ci} = T_{ij} - T_{задj}, \quad (3.6)$$

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

$T_{задj}$  -  $j$  - задане значення температури, °С.

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

## 6.5 Перевірка герметичності

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

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

Для перевірки герметичності установки розрідженням вхід установки закривають, включають повітродувку і створюють в установці розрідження, рівне найбільшому робочому розрідженню, при якому проводиться повірка лічильників. Після цього вихід установки герметизують, повітродувку вимикають і витримують установку протягом не менше 30 хвилин.

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

6.5.2 Протягом перевірки установки на герметичність зміна температури робочого середовища не повинна перевищувати 0,2 °С.

Установку вважають герметичною, якщо при випробуванні розрідженням протягом останніх 10 хвилин покази ЗВТ тиску не змінились або витік повітря з установки був менший від двох величин: 0,1 дм<sup>3</sup>/год або об'єму, що не перевищує 0,1% від пропущеного об'єму за найменшого значення витрати.

## 6.6 Контроль сумарної похибки

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

### 6.6.1.1 Визначення НСП та СКВ передачі одиниці об'єму газу

Сума НСП передачі установкою одиниці об'єму газу

$$\sum \Theta = 1.1 \sqrt{\left(\frac{\delta_{PE}}{100}\right)^2 + n \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \cdot \Delta T_E\right)^2 + n \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial P} \cdot \Delta P_E\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial V}{\partial T} \cdot \Delta T_{ci}\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial V}{\partial P} \cdot \Delta P_{ci}\right)^2}, \quad (3.7)$$

$\delta_{PE}$  – максимальна відносна похибка робочих еталонів об'єму газу (береться із свідоцтва про державну метрологічну атестацію або перевірку), %;

$\Delta T_E$  – абсолютна похибка робочого еталона температури (термостату), за допомогою якого проводилась перевірка каналів вимірювання температури, °С;

$\Delta P_E$  – абсолютна похибка робочого еталону тиску, за допомогою якого проводилась перевірка каналів вимірювання тиску, Па;

$n$  – кількість вимірювальних каналів температури та тиску, результати вимірювання яких беруться при розрахунках відносної похибки лічильника (-ів) газу, що повіряється (-ються) на установці;

$\Delta T_{ci}$  – максимальна абсолютна систематична похибка  $i$ -того каналу вимірювання установки, °С (п. 6.4);

$\Delta P_{ci}$  – максимальна абсолютна систематична похибка  $i$ -того каналу вимірювання тиску установки, Па (п. 6.3);

$\frac{\partial V}{\partial T}$ ,  $\frac{\partial V}{\partial P}$  – коефіцієнти впливу вимірюваних величин на величину об'єму газу.

Зміна температури на 1 °C зумовлює зміну об'єму на  $\approx 0,34\%$ ,

$$\text{тобто } \frac{\partial V}{\partial T} = 3,4 \cdot 10^{-3}.$$

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

$$\frac{\partial V}{\partial P} = 9,9 \cdot 10^{-6}.$$

З врахуванням величини коефіцієнтів впливу формула (7) запишеться в наступному вигляді:

$$\sum \Theta = 1.1 \sqrt{\left(\frac{\delta_{PE}}{100}\right)^2 + n \cdot (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T)^2 + n \cdot (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P)^2 + \sum_{i=1}^n (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta T_{ci})^2 + \sum_{i=1}^n (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta P_{ci})^2}, \quad (3.8)$$

СКВ передачі установкою одиниці об'єму газу:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial V}{\partial T} \cdot \sigma_{Ti}\right)^2 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial V}{\partial P} \cdot \sigma_{Pi}\right)^2}, \quad (3.9)$$

$\int_{Ti}, \int_{Pi}$  – максимальні значення СКВ результатів вимірювання відповідних параметрів  $i$ -тими вимірювальними каналами (п.п. 6.3, 6.4).

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (3.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sigma_{Ti})^2 + \sum_{i=1}^n (9.9 \cdot 10^{-6} \cdot \sigma_{Pi})^2}, \quad (3.10)$$

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

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S^2 + S_{\Theta}^2}, \quad (3.11)$$

$S$  – середньоквадратичне відхилення суми випадкових похибок;

$S_{\Theta}$  – середньоквадратичне відхилення суми НСП,

$$S_{\Theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum \Theta^2}.$$

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

$$\delta_{\Pi} = \pm t_{\Sigma} \cdot S_{\Sigma} \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\sum \Theta + t \cdot S}{S_{\Theta} + S}, \quad (3.13)$$

$t$  – квантіль нормального закону розподілу для відповідної довірчої ймовірності (для довірчої ймовірності  $P=0,95$ ,  $t = 1,96$ ).

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

6.7 Визначення рівня еквівалентності установки з використанням еталонів передавання

6.7.1 Визначають характеристики еталонів передавання на Державному (вторинному) еталоні перед проведенням експериментальних досліджень і присвоюють отримані коефіцієнти. Після проведення досліджень за пп. 6.7.2-6.7.5, проводиться повторна перевірка еталонів передавання на Державному (вторинному) еталоні.

6.7.2 Монтують еталони передавання на установку на місце для повірки лічильника газу і проводять визначення відхилення від номінального коефіцієнта в наступній послідовності.

Перед проведенням вимірювань необхідно протягом не менше 10 хвилин пропускати повітря через еталон передавання для досягнення врівноваження температур між еталоном передавання та робочими еталонами установки.

6.7.3 Визначення відхилення від номінального значення коефіцієнта перетворення еталона передавання проводять шляхом пропускання через еталон передавання в діапазоні об'ємних витрат від  $0,016$  до  $0,05$  м<sup>3</sup>/год контрольного об'єму повітря не менше  $0,02$  м<sup>3</sup>; від  $0,05$  до  $0,1$  м<sup>3</sup>/год - не менше

0,05 м<sup>3</sup>; від 0,1 до 0,3 м<sup>3</sup>/год - не менше 0,1 м<sup>3</sup>; від 0,3 до 3 м<sup>3</sup>/год - не менше 0,5 м<sup>3</sup>; в діапазоні об'ємних витрат від 3 до 25 м<sup>3</sup>/год - не менше 1 м<sup>3</sup>, в діапазоні об'ємних витрат від 25 до 250 м<sup>3</sup>/год - не менше 2 м<sup>3</sup>, в діапазоні об'ємних витрат від 250 до 2500 м<sup>3</sup>/год - не менше 14 м<sup>3</sup>, що відтворюється установкою за витрат визначених в ТЗ на еталонні лічильники установки. На кожній витраті контрольний об'єм пропускають не менше 3-ох разів.

Значення об'ємної витрати задається із відхиленням не більше  $\pm 1\%$ .

6.7.4 Місця вимірювання тиску та температури на еталоні передавання аналогічні, як і при проведенні їх досліджень на Державному (вторинному) еталоні.

Відхилення від номінального значення коефіцієнта перетворення еталона передавання визначають за об'ємних витрат, значення яких наведені в свідоцтвах на еталонні лічильники, що входять до складу повірочної установки, але не менше ніж за 3 (трьох) значень об'ємної витрати для кожного еталонного лічильника установки.

6.7.5 За кожного значення об'ємної витрати визначають відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання і обчислюють (згідно алгоритму розрахунку похибки повірочної установки):

- середнє значення відхилення за  $j$  – того значення об'ємної витрати:

$$\bar{\delta}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{ji}}{n}, \quad (3.14)$$

$n$  – кількість вимірювань за  $j$  – того значення об'ємної витрати,  $\delta_{ji}$  - відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання, визначене на повірочній установці при  $i$  – тому вимірюванні за  $j$  – того значення об'ємної витрати;

- обчислюють середньоквадратичне відхилення (СКВ) результату вимірювань за  $j$  – того значення об'ємної витрати:

$$S_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{ji} - \bar{\delta}_j)^2}{n-1}}, \quad (3.15)$$

- визначають довірчі границі відхилення від нормованого значення коефіцієнта перетворення еталона передавання за  $j$  – того значення об'ємної витрати:

$$\varepsilon_{2j} = 2 \cdot \sqrt{\frac{\delta_{II}^2}{3} + S_j^2}, \quad (3.16)$$

$\delta_{II}$  - границі відносної похибки передачі розміру одиниці об'єму газу повірочної установки (12);

- визначають рівень еквівалентності за  $j$  – того значення об'ємної витрати:

$$E_{N_j} = \frac{\bar{\delta}_j - \delta_{jE}}{\sqrt{\varepsilon_{1j}^2 + \varepsilon_{2j}^2}}, \quad (3.17)$$

$\delta_{jE}$  - відхилення від номінального значення коефіцієнта перетворення еталона передавання визначене на державному або вторинному еталоні за  $j$  – того значення об'ємної витрати (береться із свідоцтва про державну метрологічну атестацію еталона передавання),  $\varepsilon_{1j}$  - довірчі границі похибки еталона передавання визначені на державному або вторинному еталоні за  $j$  – того значення об'ємної витрати (береться із свідоцтва про державну метрологічну атестацію еталона передавання).

Установку разом із еталонними лічильниками вважають придатною для повірки лічильників газу, якщо значення рівня еквівалентності  $E_N$  за всіх об'ємних витрат  $E_N < 1$ .

У випадку, якщо хоча б за одного значення об'ємної витрати  $E_N \geq 1$ , то установка визнається непридатною.

## 7 Оформлення результатів повірки

7.1. Результати повірки установки оформляють протоколом.

7.2. При позитивних результатах повірки установки на неї оформляють свідоцтво про повірку за ДСТУ2708 і допускають до експлуатації [37].

7.3. Термін дії свідоцтва про повірку установки не повинен перевищувати один рік.

7.4 У випадку негативних результатів повірки, установку вважають непридатною, попереднє свідоцтво про повірку анулюється та виписується довідка про непридатність.

## ВИСНОВОК

У магістерській роботі було розроблено еталонну установку для повірки та калібрування промислових лічильників газу з надвеликими витратами, яка забезпечує високу точність калібрування та повірки лічильників і витратомірів газу. Основною науковою новизною є застосування багатолінійної паралельної системи еталонних лічильників, що дозволяє покращити стабільність метрологічних характеристик та зменшити невизначеність вимірювань. Теоретично значущими є запропоновані методи розрахунку невизначеності вимірювань із врахуванням нових підходів калібрування. Практичне значення полягає в створенні установки, яка відповідає сучасним вимогам до обліку природного газу та здатна працювати у широкому діапазоні витрат.

Створена 3D-модель установки відображає її основні конструктивні особливості, а функціональна схема з алгоритмами роботи деталізує принцип дії, що дозволяє автоматизувати процеси калібрування та забезпечити високу точність вимірювань.

Результати дослідження показали відповідність робочого еталону вимогам метрологічної простежуваності, що дало можливість підвищити ефективність процесу калібрування та знизити експлуатаційні витрати. Отримані дані підтвердили можливість використання системи для повірки промислових лічильників великого діаметра (до Ду500), що раніше не було реалізовано в Україні.

Запропонована методологія має перспективи для подальшої адаптації та інтеграції у міжнародні метрологічні системи. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розширення міжнародно визнаних вимірювальних та калібрувальних можливостей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу: пат 76283 Україна № 20040705918; заявл. 19.07.2004; опубл. 17.07.2006 Бюл. № 7 . 6 с.
2. Калібрувальна поршнева установка одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на реальному середовищі при високих тисках: пат 85973 Україна № u201306810; заявл. 31.05.2013; опубл. 10.12.2013 Бюл. № 23 . 3 с.
3. Тупіченков А.А., Хусайнов Н.М., Хомяков Г.Д. Державні первинні еталони одиниць об'єму і об'ємної витрати газу// Вимірювальна техніка. - 1976. - №6. - С. 45-47.
4. ДСТУ 8.143-75.. Державний первинний еталон і загальна схема повірки для засобів виміру об'єму та об'ємної витрати газу 10-6 | 102 м<sup>3</sup>/с.
5. Jasek A.W. Mechanical Power Erases Doubt in Gas Measurement // Oil and Gas J. - 1966. - Vol.64, №25. - P. 205-211.
6. Використання трубопоршневої витратовимірювальної установки в якості еталонного засобу при повірці та калібруванні лічильників газу. "FLOMEKO'85, Int. Conf. Flow Meas., Melbourne, 20-23 Aug., 1985", Bedford (англ.).
7. Бродін І.С., Праскова З.М. Поршнева об'ємно-динамічна система точного відтворення і виміру великих витрат газу// Прилади та системи управління. - 1978. - №7. - С.20-21.
8. Поршнева витратовимірювальна установка високого тиску РПДУ-41 пг. / Бродін І.С., Середюк О.Є., Чеховский С.А. // Проспект МВССО УССР.Івано-Франківський інститут нафти і газу. - Київ: Реклама, 1989.
9. Патент 70 761: МКИ G01 F (ГДР).
10. Аналіз об'ємного методу вимірювання критичних витрат газу Аналіз об'ємного метода измерения критических расходов газа / Подкопаев С.П., Івашиненко В.В., Данилів М.А., Федорів В.А. // Вимірювальна техніка. - 1976. - №8. - С. 31-32.
11. Подкопаев С.П., Кивилис С.С., Данилів М.А. Витратовимірювальна

- установка з рідким витісненням газу при високому тиску // Сучасні методи і прилади автоматичного контролю та регулювання технологічних процесів: Матеріали семінару. - М., 1976. - С. 51-55.
- 12 Bellinga H. Facility for calibration under operating conditions of gas flow metering equipment. In "Flow measurement of fluids. Processings of FLOMEKO 1978, North-Holland, Amsterdam, 1978". - P. 109-116.
  - 13 А.С. 877334. : МКÈ G01 F3/16. Трубопоршнева витратовимірювальна установка. В.Б. Овандер // Відкриття. Винаходи. - 1981. - №40. - С.196.
  - 14 Автоматизована установка повірки промислових лічильників газу: пат 59795 Україна № u201015246; заявл. 17.12.2010; опубл. 25.05.2011 Бюл. № 10 . 16 с
  - 15 ISO 9300:2022 Measurement of gas flow by means of critical flow nozzles
  - 16 І.С. Петришин, Я.В. Безгачнюк, Д.О. Середюк Впровадження еталонів передавання в повірочну практику засобів вимірювальної техніки об'єму та об'ємної витрати газу // Український метрологічний журнал. – 2006. - № 4. С. 55-59.
  - 17 ЗУ «Про вищу освіту» і Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність»;
  - 18 Наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України №1747 від 13.10.2016 р. "Про затвердження міжповірочних інтервалів законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки
  - 19 Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів, затверджений Наказом Мінекономрозвитку від 08.02.2016 № 193
  - 20 ДСТУ 3383:2015 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу
  - 21 ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення»;
  - 22 НПАОП 0.00-7.14-17 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час

- використання виробничого обладнання працівниками».
- 23 "Правил улаштування електроустановок", затверджених наказом Мінпаливенерго України від 28 серпня 2006 р. № 305.
  - 24 Катамай В., Коржак О., Малісевич В., Середюк Д., Бас О., Лемішка В. ОЦІНКА РОЗШИРЕНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РОБОЧОГО ЕТАЛОНУ В ДІАПАЗОНІ ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ДО 25000 м<sup>3</sup>/год тези: ПІМЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ (м. Львів 13-14 листопада 2024) м. Львів, 2024 С.
  - 25 Україна. Накази. Про затвердження Порядку калібрування вторинних та робочих еталонів [Текст] : Наказ [прийнятий Міністерством економіки України 10.08.2020 № 1518. – Київ: Офіційний вісник України [2020 р.]. – № 84, с. 180, стаття 2728
  - 26 МК 004 РД/03-2023 Метрологія. Установки з еталонними лічильниками. Методика калібрування.
  - 27 ДСТУ ОІМЛ R 137-1-2:2018 Лічильники газу. Частина 1. Метрологічні й технічні вимоги. Частина 2. Методи підтвердження метрологічних і технічних
  - 28 ДСТУ EN 12261:2019 Лічильники газу. Турбінні лічильники газу (EN 12261:2018, IDT)
  - 29 ДСТУ 3383:2015 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу
  - 30 Порядку проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів, затверджений Наказом Міністерства економіки України від 08.02.2016 № 193
  - 31 ДСТУ 9033:2020 Метрологія. Лічильники газу турбінні. Методика повірки
  - 32 ДСТУ 9034:2020 Метрологія. ЛІЧИЛЬНИКИ ГАЗУ РОТОРНІ. Методика повірки.
  - 33 ДСТУ 9036:2020 Метрологія. Лічильники газу ультразвукові. Методика

повірки

- 34 ДСТУ 9037:2020 Метрологія. ЛІЧИЛЬНИКИ ГАЗУ З ВБУДОВАНИМИ ПРИСТРОЯМИ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОБ'ЄМУ. Методика повірки
- 35 Технічний регламент засобів вимірювальної техніки, затверджений Постановою КМУ від 24.02.2016 № 163.
- 36 ДСТУ 12.2.003-91 Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки
- 37 ДСТУ 2708:2006 Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення