

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Бойко Володимир Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 006.91:681.121.089

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення і метрологічні дослідження повірочних установок на базі ємності високого тиску

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

В. І. Бойко

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник

Середюк Орест Євгенович, д.т.н, проф

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

О. Є. Середюк

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

Рецензент

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

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

Івано-Франківськ, 2024 р.

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 *152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка*

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТ

О.Є. Середюк

« » 2023 року

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

Бойко Володимир Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розроблення і метрологічні дослідження повірочних установок на базі ємності високого тиску*

керівник роботи Середюк Орест Євгенович, д.т.н., проф.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 15 ” 12 2023 року № 734/7

2. Строк подання студентом роботи 18.01.2024

3. Вихідні дані до роботи *тип повірочної установки – на базі ємності високого тиску; робочі витрати установок 100-1000м³/год; робочий тиск в каліброваній ємності 0,2-1,0 МПа;*

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

1. Аналіз установок для калібрування лічильників газу

2. Розроблення і дослідження тенденцій розвитку еталонних установок на базі ємності високого тиску

3. Метрологічні дослідження повірочних установок на базі ємності високого тиску

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

1. Принципова схема установки на базі еталонних лічильників

2. Принципова схема і алгоритм функціонування установки PVTt-типу

3. Функціональна схема установки PVTt-типу неперервної дії

4. Принципова схема установки PVTt-типу із перемішуванням робочого середовища

5. Метрологічна модель установки PVTt-типу

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз установок для калібрування лічильників газу</i>	<i>20.12.2023</i>	
2.	<i>Розроблення і дослідження тенденцій розвитку еталонних установок на базі ємності високого тиску</i>	<i>05.01.2024</i>	
3.	<i>Метрологічні дослідження повірочних установок на базі ємності високого тиску</i>	<i>15.01.2024</i>	
4.	<i>Оформлення магістерської роботи</i>	<i>20.01.2024</i>	

Студент _____ *Бойко В. І.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ *Середюк О.Є.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 72 с., 9 рис., 3 табл., 24 джерела., 5 аркушів креслень.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення єдності вимірювань шляхом відтворення і передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати природного газу.

Мета дослідження є розв'язання науково-практичного завдання, яке стосується розроблення і метрологічних досліджень повірочної установки для оцінювання метрологічних характеристик лічильників і витратомірів природного газу.

Методи досліджень базуються на використанні математичного моделювання фізичних процесів у повірочній установці і застосування теорії похибок і теорії невизначеностей для оцінювання метрологічних характеристик повірочної установки.

Проаналізовані види повірочних установок і здійснений їх порівняльний аналіз конструкції і метрологічних характеристик. Здійснено моделювання фізичних процесів в установках на базі ємності високого тиску для підвищення їх точності функціонування. Досліджено напрямки вдосконалення і тенденції розвитку цього типу повірочних установок. Проведені метрологічні дослідження установок на базі ємності високого тиску з використанням теорії похибок і теорії невизначеності.

ПОВІРОЧНА УСТАНОВКА, ЄМНІСТЬ ВИСОКОГО ТИСКУ, ЕТАЛОН, ДОСЛІДЖУВАНИЙ ПРИЛАД, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ, ПОХИБКА, АЛГОРИМ ФУНКЦІОНУВАННЯ, РОБОЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ, МЕТРОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ.

ABSTRACT

Master's thesis: 72 pp., 9 figures, 3 tables, 24 sources, 5 sheets of drawings.

The object of the study is the process of ensuring the unity of measurements by reproducing and transmitting units of volume and volumetric consumption of natural gas.

The purpose of the study is to solve a scientific and practical task, which concerns the development and metrological studies of a calibration device for evaluating the metrological characteristics of natural gas meters and flowmeters.

Research methods are based on the use of mathematical modeling of physical processes in the calibration facility and the application of the theory of errors and the theory of uncertainties to evaluate the metrological characteristics of the calibration facility.

The types of calibration devices were analyzed and a comparative analysis of their design and metrological characteristics was carried out. Modeling of physical processes in installations based on a high-pressure tank was carried out to increase their accuracy of operation. The areas of improvement and trends in the development of this type of testing facilities have been studied. Metrological studies of installations based on high-pressure capacity using the theory of errors and the theory of uncertainty have been carried out.

TEST INSTALLATION, HIGH PRESSURE TANK, STANDARD, INVESTIGATED DEVICE, UNCERTAINTY, ERROR, FUNCTIONING ALGORITHM, WORKING ENVIRONMENT, METROLOGICAL MODEL.

ЗМІСТ

Вступ	6
1 Аналіз установок для калібрування лічильників газу	8
1.1 Аналіз принципів дії установок для метрологічних досліджень лічильників газу	8
1.1.1 Калібрувальні установки дзвонового типу	8
1.1.2 Еталонні установки на базі робочих еталонів	10
1.1.3 Еталонні установки трубопоршневого типу	16
1.1.4 Поршневі еталонні установки низького тиску	20
2. Розроблення і дослідження тенденцій розвитку еталонних установок на базі ємності високого тиску	22
2.1 Принцип дії і область застосування еталонних установок PVTt - типу	22
2.2 Сфера застосування установок PVTt – типу в повірочних схемах України для вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу	24
2.3 Моделювання фізичних процесів в установках PVTt - типу	37
2.4 Дослідження напрямків вдосконалення установок PVTt-типу	42
3.	59
3.1. Метрологічна модель повірочної установки PVTt-типу	59
3.2 Дослідження похибки від вологості повітря в повірочних установках PVTt-типу	61
3.3 Метрологічна модель повірочної установки PVTt-типу з використанням теорії невизначеності у вимірюваннях	62
Висновки	69
Список використаних джерел	70

ВСТУП

Природний газ є важливим природним енергетичним ресурсом і відіграє значну роль не тільки у сфері виробництва, але і у комунально-побутовій сфері. В переважній більшості природний газ розглядається як джерело енергії в паливно-енергетичному секторі промисловості і різних галузей виробництва. З врахуванням його все зростаючої вартості, а також доволі обмеженого видобутку в Україні надзвичайно важливим завданням є його раціональне і економне використання.

Одним із напрямків реалізації цього завдання є застосування для його обліку лічильників і витратомірів якомога вищої точності, тобто таких, у яких похибка була би мінімальною. Це досягається розробкою і вдосконаленням існуючих і новітніх методів і приладів для вимірювання об'єму і витрати газу. Водночас для оцінки їх метрологічних характеристик потрібна національна еталонна база. Це може бути досягнуто шляхом створення нових і вдосконалення існуючих еталонних засобів у сфері вимірювання об'єму і витратометрії природного газу.

При цьому також необхідно розвивати новітні технології метрологічного забезпечення засобів обліку природного газу, що не можливо без вдосконалення відповідної еталонної бази, яка може забезпечити правильне і достовірне оцінювання метрологічних характеристик лічильників і витратомірів газу.

Метрологічне забезпечення технічно реалізується за допомогою еталонних установок, а нормативно забезпечується основним законодавчим документом практичної реалізації метрологічного забезпечення – Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність», який конкретизує основні положення і сфери застосування різних засобів вимірювальної техніки, у тому числі і природного газу.

Тому актуальною задачею для забезпечення єдності вимірювань у сфері вимірювання об'єму і витрати природного газу є питання розроблення і вдосконалення відповідних повірочних установок.

Метою дослідження магістерської роботи є розв'язання науково-практичного завдання, яке стосується розроблення і метрологічних досліджень повірочної установки для оцінювання метрологічних характеристик лічильників і витратомірів природного газу.

Задачею дослідження є аналіз відомих методів і принципів створення еталонних установок і проведення на цій основі дослідження напрямків вдосконалення повірочних установок, які можуть бути реалізованими на базі ємності високого тиску. Також задачею магістерської роботи є проведення метрологічних досліджень повірочних установок на базі ємності високого тиску, які ще мають іншу споріднену синонімічну назву – установки PVTt – типу.

Об'єктом дослідження є процес забезпечення єдності вимірювань шляхом відтворення і передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати природного газу.

Предметом дослідження є повірочні установки на базі ємності високого тиску.

Практична цінність полягає у розробленні і дослідженні нових методологічних і конструктивних рішень для створення повірочної установки на базі ємності високого тиску.

Методи досліджень базуються на використанні математичного моделювання фізичних процесів у повірочній установці і застосування теорії похибок і теорії невизначеностей для оцінювання метрологічних характеристик повірочної установки.

Новизна магістерської роботи полягає у теоретично-прикладному дослідженні фізичних і метрологічних моделей повірочної установки на базі ємності високого тиску.

1 АНАЛІЗ УСТАНОВОК ДЛЯ КАЛІБРУВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

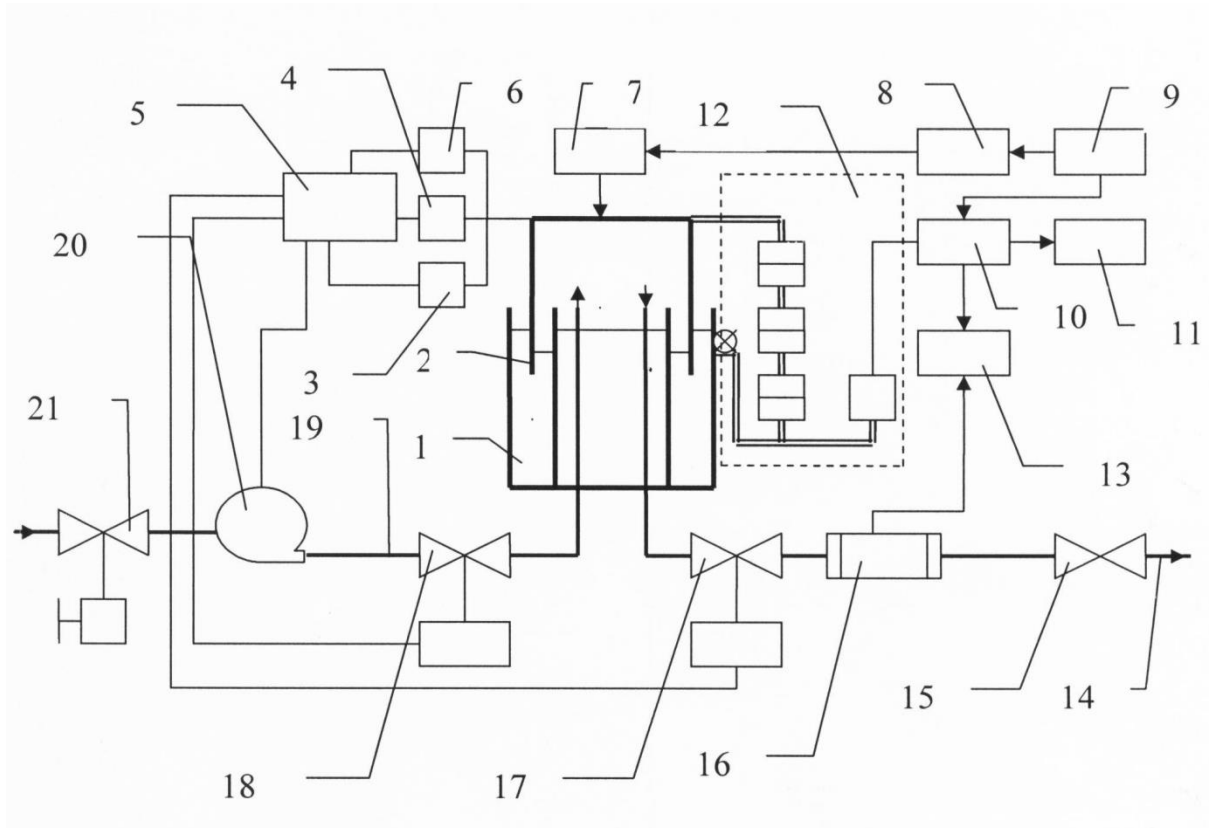
1.1 Аналіз принципів дії установок для метрологічних досліджень лічильників газу

1.1.1 Калібрувальні установки дзвонового типу

Установка містить дзвін 2 (рис. 1.1), який своєю нижньою частиною занурюється в кільцевому резервуарі з рідиною 1, який називається гідравлічним витіснювачем. При підготовці до випробувань лічильників спочатку необхідно наповнити дзвін 2 повітрям. Це реалізується подачею повітря під дзвін при відкритому клапані 18 від джерела витрати 20, завдяки чому дзвін наповнюється і внаслідок чого піднімається [1]. При цьому клапан у вихідному трубопроводі повинен бути закритим. Після наповнення наповнення мірника до необхідного об'єму клапан в трубопроводі подачі газу закривають. Далі положення дзвонового мірника у піднятому положенні фіксується і витримують в такому положенні для стабілізації характеристик робочого середовища. При відкритті запірною органу 17 у вихідному трубопроводі, який з'єднує повітря піддзвонового простору з досліджуваним приладом 16, починається витіснення об'єму газу з-під дзвону через досліджуваний прилад. Відтворений об'єм витісненого газу відрховується за допомогою контрольної лінійки 12. Після цього запірний клапан 17 закривають. За різницею показів відлікового пристрою досліджуваного приладу і за даними вибраного контрольного об'єму, який пройшов через досліджуваний прилад, визначають похибку останнього.

Основним недоліком описаного режиму роботи дзвонової установки є обставина, що з їхнього вимірювального циклу не вилучений неусталений режим роботи як досліджуваного приладу так і дзвонової установки. Для зменшення впливу даного фактора алгоритму роботи на точність таких установок необхідно збільшувати тривалість вимірювального циклу. Це, в свою

чергу, потребує створення великогабаритних і значить дорогих за ціною установок із доволі великим об'ємом мірника, навіть до 60 м³.



1- гідравлічний витіснювач; 2- дзвін; 3-9 - прилади контролю та засоби керування роботою; 10, 11, 13 - блоки опрацювання даних; 12 - вузол індикації лінійного переміщення дзвонового мірника; 16 - пристрій, що калібрується; 15, 17, 18, 21 – перекривні і регульовальні клапани; 14, 19 – вхідний і вихідний трубопроводи; 20 - повітрорудка.

Рисунок 1.1 - Схема еталонної установки дзвонового типу

Тому зараз дзвонові установки переважно застосовують для калібрування лічильників газу на порівняно невеликих витратах. Особливістю дзвонових еталонних установок є можливість їх роботи за дискретно-динамічним методом чим підвищується їхня точність і ждосягається більш ширший діапазон відтворення об'єму та об'ємної витрат газу (до 1:1000) [1].

Одна із створених за участю фахівців Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу установка, яка мала позначення РКДУ-

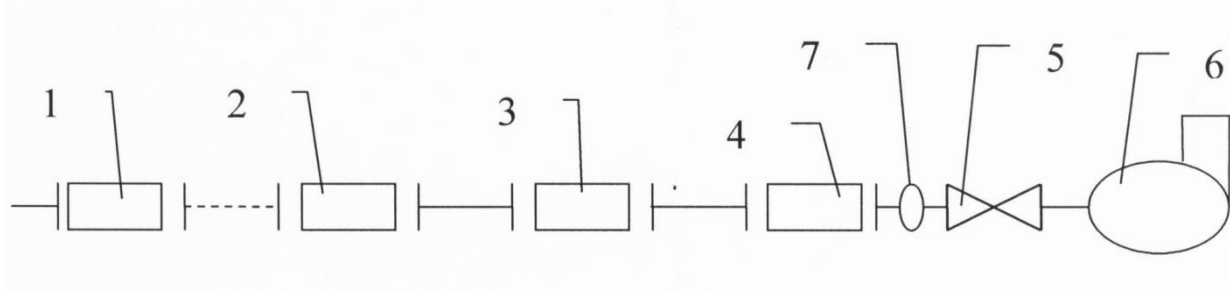
0,028 [3] після модернізації на початку 90-х років була метрологічно атестована і реалізована як Державний спеціальний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДЕТУ 03-01-96 [4]. Об'єм газу, який відтворювався та зберігався нею становив 1 м^3 , за робочих об'ємних витрат від 4 до $200 \text{ м}^3/\text{год}$. При цьому середньо квадратичне відхилення вимірювання об'єму не перевищувало $9 \cdot 10^{-4}$ а при невилученій систематичній похибці не більший за $5 \cdot 10^{-4}$. Цей еталон дозволив вперше запровадити Державний стандарт України [5] замість раніше чинного стандарту СРСР.

В Україні останніми роками дзвонові еталонні установки набули переважачого застосування, кількість яких за даними ДП «Івано-Франківськстандартметрологія» становить понад 20. Діапазони об'ємів дзвонів дзвонових установок, які знаходяться в експлуатації, складають від 0,05 до 28 м^3 , а відтворювані ними об'ємні витрати охоплюють діапазони від 0,01 до $10000 \text{ м}^3/\text{год}$ [6].

1.1.2 Еталонні установки на базі робочих еталонів

Принцип дії еталонних установок з обертовими рухомими елементами полягає у виділенні із потоку газу або повітря, що задається джерелом витрати 6, контрольного об'єму газу (рис. 1.2), який формується за допомогою зразкового пристрою 4 [7]. При передачі одиниці об'єму та об'ємної витрати здійснюється збір інформації з досліджуваних приладів 1, 2, 3 та зразкового пристрою 4. При цьому вимірюють значення температур та тисків робочого середовища на кожному з досліджуваних лічильників.

За таких умов вимірюваний контрольний об'єм газу знаходять як об'єм, що пройшов через вірцевий пристрій. За різницею показів відлікових пристроїв 1-3 та 4 з врахуванням відповідних поправок щодо температури та тиску розраховують похибки лічильників, які калібруються.



1, 2, 3 – лічильники, які калібруються; 4 – еталонний лічильник; 5 – задавач робочої витрати; 6 – джерело витрати; 7 – дросель.

Рисунок 1.2 - Схема еталонної установки на базі робочих еталонів

Згідно конструктивного виконання застосовуються два типи установок для калібрування:

- установки, в яких еталонний лічильник знаходиться після досліджуваних пристроїв, що випробовуються чи калібруються;

- установки, в яких еталонний лічильник знаходиться перед приладами, що випробовуються чи калібруються.

До еталонних лічильників належать певним чином відібрані роторні та барабанні лічильники газу, що випускаються підприємствами-виготовлювачами як робочі засоби вимірювань, але спеціально підготовані та атестовані до використання як зразкові.

Для покращання умов функціонування та реалізації автоматизації процесу калібрування еталонні лічильники комплектуються спеціальними відліковими пристроями перетворення об'єму газу, який протікає через них, в електричні вихідні сигнали. Діапазон вимірювань таких лічильників залежить від виду кривої похибок, яка залежить від робочих витрат. Похибка вимірювань еталонними лічильниками не повинна перевищувати $\pm 0,5\%$.

Похибка, головним чином, зумовлена перетоками в щілинах між роторами та між роторами і корпусом. Значною мірою на похибку вимірювань роторних лічильників газу має вплив тертя в синхронізуючих шестернях та в підшипниках. Це особливо має вплив на мінімальних витратах на мінімальних витратах. При більших витратах крива похибки роторних лічильників від

витрати має зростаючий характер близько до витрат $(0,2-0,5) Q_{\max}$ і становиться більш-менш постійною при витратах від $0,5 Q_{\max}$ до Q_{\max} . Зміна кривої похибок пояснюється тим, що, з одного боку, перетоки повітря в щілинах непостійні і зростають внаслідок збільшення різниці тиску в них при зростанні витрат, а з другого, потік в щілинах при збільшенні частоти обертання роторів меншим чином залежить від лінійної швидкості торцевої поверхні ротора відносно корпусу лічильника. Через це частина вимірюваного повітря повертається на вхід лічильника і вимірюється повторно. Перетоки витрати робочого середовища залежить від розміру щілини, густини вимірюваного середовища та характеру потоку в щілині (ламінальний чи турбулентний).

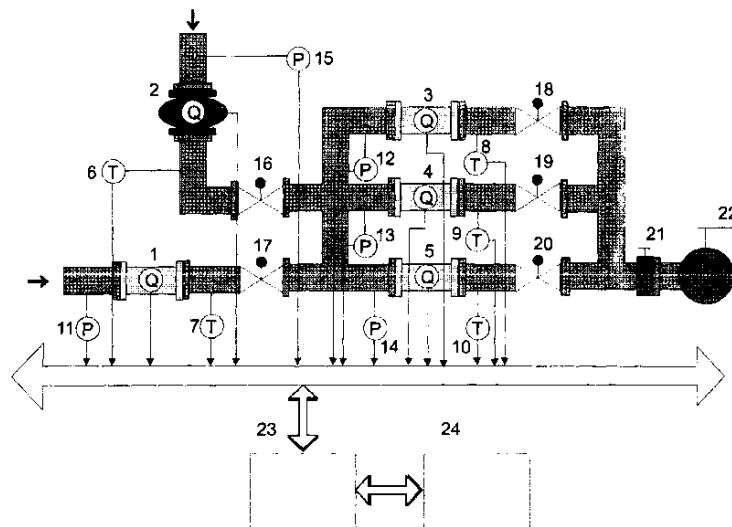
Необхідний рівень точності вимірювання об'єму природного газу еталонними лічильниками [1] може бути досягнуто завдяки застосуванню сучасних лічильників газу [8] забезпечених метрологічними еталонними засобами повірки при випуску з виробництва і експлуатації [1]. Вітчизняні та зарубіжні підприємства, які виготовляють лічильники газу, в основному забезпечені еталонними установками об'єму газу дзвонового типу і тільки деякі установками з еталонами об'єму газу.

Відомі еталонні установки об'єму газу дзвонового типу [1] мають високу точність, їх похибка має значення $0,12...0,27$ %. Але великі затрати на виготовлення і монтаж сповільнює їх широке впровадження. Тому альтернативною установкою може бути установка з еталонами об'єму газу. Затрати на виготовлення і монтаж такої установки значно менші в 5-6 разів порівняно з установками дзвонового типу. Виходячи із цього, в свій час, раніше спеціальним конструкторським бюро засобів автоматизації (м. Івано-Франківськ) були проведені науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи по створенню установки з еталонами об'єму газу [9].

На основі проведеного пошуку і вивчення науково технічної літератури був проведений аналіз сучасного стану засобів і методів повірки лічильників газу які базуються на еталонах об'єму газу. Технічні характеристики кращих установок з еталонами об'єму газу приведені в [9].

Відомі зарубіжні установки мають високий рівень автоматизації в обробці результатів вимірювання і застосовуються для повірки лічильників газу з похибкою $\pm 1,0$ %. Єдиним і основним недоліком всіх вказаних установок є їх висока ціна. Так ціна установки фірми "Инстромет" перевищує 400 тис. дол. США, фірми "Ромбах" - 250 тис. дол. США. Тому актуальною задачею в метрологічному забезпеченні є створення установки з технічними характеристиками не гірше приведених в таблиці, але з меншою ціною. Схема такої установки, яка розроблена Івано-Франківським СКБ ЗА зображена на рис. 1,3 [9].

Установка дозволяє проводити повірку турбінних і ротаційних лічильників газу вітчизняного і зарубіжного виробництва. Еталоном об'єму газу прийняті перетворювачі турбінного типу з діапазоном витрат 1...25 м³/год, 25...250 м³/год, 100... 1000 м³/год або 250...2500 м³/год. Турбінні перетворювачі мають високу стабільність характеристики в часі. Відхилення основної характеристики при багатократних вимірюваннях не перевищує 0,004 %. Це дозволяє прийняти їх в якості еталону об'єму газу.



1, 2 – робочі лічильники газу; 3, 4, 5 – еталон об'єму газу; 6, 7, 8, 9, 10 – сенсори температури; 11, 12, 13, 14, 15 – сенсори тиску; 16, 17, 18, 19, 20 – перекирвні пристрої; 21 – задавач витрати; 22 – компресор; 23 – панель керування; 24 – персональний комп'ютер.

Рисунок 1.3 – Схема установки на базі еталонних лічильників для повірки лічильників газу.

В приведених аналогічних установках метрологічно здійснюється атестація використовуючи конкретні витратомірні точки еталона по витраті, а похибка в проміжних точках еталона по робочих витратах не можуть використовуватися, або користуються при цьому апроксимуючими значеннями. Дані обмеження звужують область застосування еталонів об'єму і можуть сприяти виникненню додаткової похибки.

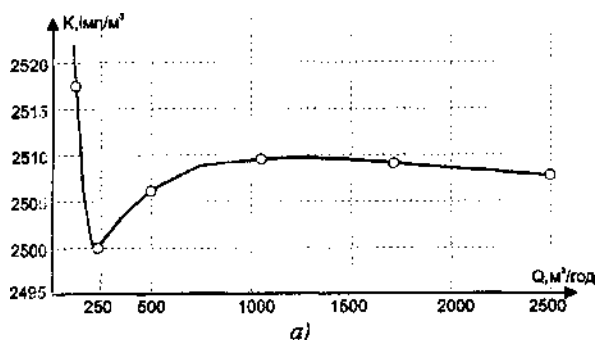
Щоб ліквідувати вказані недоліки може бути використана інтерполяційна залежність характеристики еталону об'єму газу:

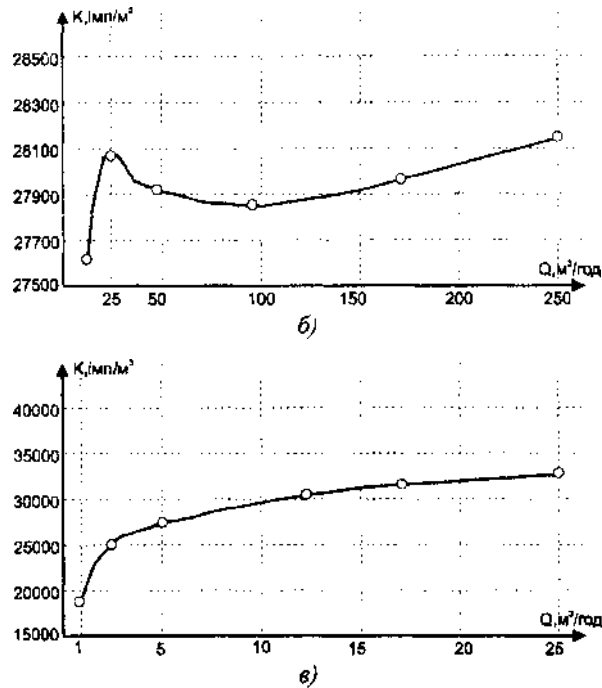
$$K = \sum_{i=0}^N A_i Q^{i-4}, \quad (1.1)$$

де K – кількість імпульсів на 1 м^3 пропущеного газу через еталон об'єму; N – кількість повірених точок; Q – витрата; i – порядковий номер повіреної точки ($i=1\dots N$).

В залежності (1.1) коефіцієнти A визначаються розв'язком системи N рівнянь методом Гауса.

При створенні еталонної установки для метрологічного оцінювання було вибрано три типи еталонів з відповідними типовими функціональними залежностями формування кількості імпульсів K на один кубічний метр від робочої витрати еталона Q (рис. 1.4). В дослідженнях [9] обґрунтовано, що мінімально необхідно створити шість метрологічно атестованих точок. Формула (1.1) дозволяє апроксимувати залежність по 6-ти точках, в діапазоні від $Q_{min}=0,1 Q_{max}$ до Q_{max} для еталонів з максимальним значенням витрати $2500 \text{ м}^3/\text{год}$ та $250 \text{ м}^3/\text{год}$ і від $Q_{min}=0,04 Q_{max}$ до Q_{max} для еталона з діапазоном вимірювання до $25 \text{ м}^3/\text{год}$ (рис. 1.4 а, б, в).





а) еталонів з Q_{max} 2500 м³/год; б) еталонів з Q_{max} 250 м³/год; в) еталонів Q_{max} 25 м³/год.

Рисунок 1.4 – Апроксимовані характеристики еталонів об'єму газу

Система збору і обробки інформації включає в свій склад крім складових частин зображених на рис. 1.3 ще і програмне забезпечення з визначенням інтерполяційного полінома (від 2 до 32 точок), що дозволяє адаптувати його до будь-якого еталона з метрологічно атестованими точками. При допомозі системи збору і обробки інформації можливо також встановити точне значення витрати газу, для чого використовують поліном такого виду:

$$K_r = \sum_{i=0}^N A_i Q^{i-4}, \quad (1.2)$$

де K_r – кількість імпульсів; Q – витрата, A_i – коефіцієнт полінома. На відріжку витрат від Q_{min} до Q залежність (1.2) є практично лінійно. Це забезпечує при відомому значенні кількості імпульсів на годину функціонування робочого еталону методом половинного ділення розрахувати точне значення витрати. З використанням комп'ютеризованої системи збирання і опрацювання інформації необхідно значення витрати можна сформулювати впродовж 10с.

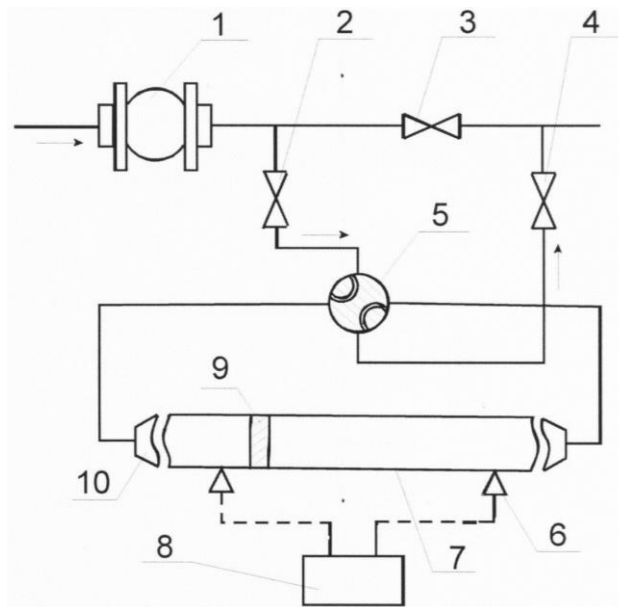
Відома створена установка з на базі еталонів об'єму газу [9] знайшла застосування для вивчення метрологічних характеристик турбінних і ротаційних лічильників. У ній похибка робочих еталонів не перевищує 0,17%, а

похибка установки разом є не більшою від 0,25% для діапазону витрат 1,0...2500м³/год.

Перевагою установок на базі робочих еталонів є достатньо великий діапазон сформованих об'ємів та об'ємної витрат газу, а також можливість оптимізації метрологічного циклу.

1.1.3 Еталонні установки трубопоршневого типу

Для для калібрування лічильників газу можна використовувати також трубопоршневі установки стаціонарного або пересувного виконання. Пересувні установки з успіхом використовуються для калібрування лічильників газу на місці їх експлуатації без демонтажу при використанні реального робочого середовища. Для цього на трубопроводі (рис. 1.5), де встановлюється досліджуваний прилад 1, повинна бути змонтована запірна засувка 3 і з обох її сторін два відводи, які служать для технологічного приєднання трубопоршневої установки і перекриваються за допомогою засувок 2 і 4.



1 – досліджуваний лічильник; 2 - 4 - засувки; 5 - чотирьохходовий кран; 6, 10 - шляхові давачі; 7 - труба; 8 - електричний лічильник імпульсів; 9 - поршневий розділювач.

Рисунок 1.5 – Схема принципова трубопоршневої еталонної установки

Установка для калібрування складається з ділянки труби 7 довжиною декілька метрів, внутрішня поверхня якої повинна бути добре обробленою для забезпечення постійності площі перетину вздовж довжини труби. На обох кінцях вимірювальної ділянки труби встановлені шляхові давачі 6 і 10, які формують електричні сигнали в момент проходження повз них в середині труби поршня 9, що переміщується під тиском вимірюваної речовини. На практиці застосовуються поршні з ущільнюючими манжетами або вільно рухомі поршні. В останньому випадку зазор між внутрішньою поверхнею труби і рухомим поршнем чи парою повинен бути якомога меншим. Об'єм контрольної ділянки труби визначають з максимально можливою точністю. При проведенні калібрування до лічильника необхідно приєднати тахометричний давач імпульсів рухомих елементів лічильника. Імпульси підраховуються електричним лічильником 8 тільки в період проходження поршнем вимірювальної ділянки труби. Лічильник за допомогою електричного реле під'єднують до генератора імпульсів в момент спрацювання першого шляхового давача і від'єднують в момент спрацювання другого давача. Чотирьохходовий кран 5 забезпечує прямий і реверсний рух поршня.

Висока точність вимірювань установки забезпечується високою якістю геометричних розмірів і шорсткості обробки поверхні вимірювального трубопроводу, завдяки чому досягається рівномірний рух поршня, та використанням безконтактних детекторів його положення.

Процес калібрування автоматизовано, збір та обробка інформації проводиться з використанням ЕОМ. Замість повітря в установках такого типу можуть використовуватися реальні гази. Відносна похибка відтворення об'ємних витрат установками цього типу становить 0,1-0,2%.

Головна перевага таких установок стосується в можливості калібрування засобів вимірювальної техніки при високих тисках до 10 МПа і функціонуванні на реальних середовищах, насамперед, природному газі.

Недоліками таких установок є порівняно вузький діапазон робочих витрат газу, а також незгладжувані пульсації тиску та його великі втрати на поршнях з

ущільнюючими манжетами, що приводить до нерівномірності ходу поршня, і як наслідок знижує стабільність відтворення робочих витрат.

Особливістю установок трубопоршневого типу є робота за дискретно-динамічним методом, можливість досягнення підвищеної точності при широкому діапазоні відтворюваних об'ємів та об'ємних витрат газу (1:500). Також в них є можливість оптимізації градууювально-калібрувального циклу шляхом використання реверсивності установки та можливості її функціонування на природному газі.

В кінці 80-х років в Україні також приділялася увага дослідженню роботи витратомірів і лічильників газу на реальному природному газі. З цією метою галузевою лабораторією метрологічного забезпечення вимірювань витрати газу Івано-Франківського інституту нафти і газу спільно з УГГ «Дніпрогаз» була створена поршнева установка високої точності РПДУ-41ПГ [10]. Вона призначена для більш точного вимірювання витрати природного газу за високих тисків з метою метрологічного дослідження прямим методом витратомірів, зокрема витратомірів змінного перепаду тиску із звужувальними пристроями.

Основні вузли установки: вимірювальний трубопровід, поршень квазіущільнений типу «дисковий пакет», пуско-приймальні пристрої, система збору і опрацювання вимірювальної інформації.

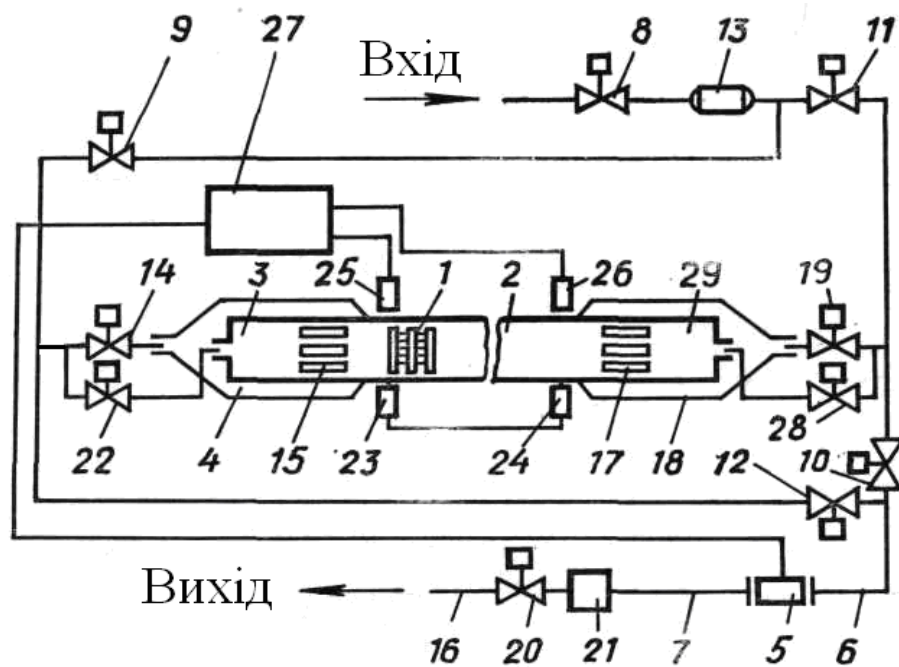
Схема установки РПДУ-41ПГ наведена на рис. 1.6.

У початковому стані поршень 1 виведений з вимірювального трубопроводу 2 і знаходиться в камері лівого пуско-приймального пристрою 4. Після монтажу і герметичного приєднання до установки випробовуваного витратоміра 5 з його комплектуючими прямолінійними ділянками 6 і 7 відкриваються дистанційно керовані засувки 8, 9, 10 (засувки 11, 12, 22, 28 закриті). Потік газу під високим тиском з газопроводу подається до витратовимірювальної установки через засувку 8 і далі через фільтр 13, засувку, в корпус лівого пуско-приймального пристрою, а звідти через поздовжні прорізи 15 в камері у вимірювальний трубопровід. Пройшовши трубопровід, потік через подовжні щілини 17 правого пуско-приймального пристрою через

керуючі засувки поступає до випробовуваного витратоміра 5. Далі через регулятор тиску і засувку 20 газ стравлюється в газопровід низького тиску.

Регулятором 21 і засувкою 20 задається робоче значення витрати природного газу і робочий тиск в установці.

Введення поршня 1 в трубопровід 2 здійснюють відкриттям засувки 22 малого діаметру.



1 – поршень; 2 – калібрований трубопровід; 3, 29 – циліндричні камери ввідного вузла, відповідно ліва і права; 4, 18 – пуско-приймальне обладнання поршня, відповідно ліве і праве; 5 – досліджуваний прилад; 6, 7 – прямі трубопроводи до і після досліджуваного приладу; 8, 9, 10, 12 – дистанційно керовані перекивні клапани; 11, 14, 19, 20, 22, 28 – перекивні засувки; 13 – фільтр газу; 15, 17 – поздовжні отвори в лівому і правому пуско-приймальному обладнанні; 28 – блок формування команд початку і кінця відліку контрольного об'єму; 16 – вихідний трубопровід низького тиску; 21 – регулятор витрати; 23, 24 – оптичні квантові генератори; 25, 26 – фотоприймачі оптичних сигналів оптичних генераторів; 27 – система збирання і опрацювання вимірювальної інформації.

Рисунок 1.6 – Схема поршневої установки з квазіуцільненим дисковим поршнем

Під дією перепаду тиску, що виникає на засувці 14, поршень, що знаходиться в камері 3, потоком газу виштовхується з неї і входить у вимірювальний трубопровід. Далі поршень в потоці газу проходить мимо оптичних лазерних детекторів. Під час короткочасного затінювання фотоприймачів об'єму газу відбувається формування контрольного об'єму газу. При переміщенні поршня між оптичними давачами формується інформація від досліджуваного витратоміра 5, яка поступає до системи збору інформації. Потім поршень уловлюється в правому пуско-приймальному пристрої 18. Після цього алгоритм роботи установки повторюється за умови зворотного напрямку руху поршня. При цьому напрям потоку газу через витратомір не змінюється.

Про похибку випробовуваного приладу (витратоміра) судять по різниці показів випробовуваного приладу і витратовимірювальної установки яка виконує роль еталонного засобу вимірювання.

В установці передбачені два режими роботи — автоматичний і ручний з можливістю виведення інформації на ПЕОМ.

Технічні характеристики установки є наступними:

- границі вимірювання (розраховані відповідно до стандартних умов газу) – 0,14...41,66 (500...150 000) м³/с, (м³/год);
- контрольний об'єм газу – 8,997 м³;
- робочий тиск – до 1,5 МПа;
- похибка при вимірюванні об'єму газу (за робочих умов) – ±0,25 %, витрати газу (за робочих умов) ±0,3%.

На сьогоднішній час установка потребує технічного вдосконалення і переобладнання, що дозволить знову її ввести в дослідно-промислову експлуатацію.

1.1.4 Поршневі еталонні установки низького тиску

У поршневій еталонній установці (рис 1.7) типу РПДУ-0,5 [11] стабілізований потік газу створюється джерелом витрати 1 (генератором), що складається з об'ємно-камерного перетворювача з електроприводом,

забезпеченим системою стабілізації частоти обертання. Під час виходу установки на заданий режим роботи поршневий розділювач 9 утримується в оточуючому його потоці в пускоприймальному пристрої 6 за допомогою електромагніту. Після досягнення в еталонній установці сталої заданої витрати за допомогою пневмоприводу 5 поршень вводиться у вимірювальний трубопровід 8, де захоплюється потоком робочого середовища (повітря), проходить послідовно повз детекторів його положення, які складаються освітлювачів (газові лазери 13) і фотоприймачів 7, 10, відстані між якими становлять l і L в залежності від вибраного значення відтворюваного контрольного об'єму. Після проходження вздовж вимірювального трубопроводу поршневого розділювача останній зупиняється пневмоштоком 12 у лівому пускоприймальному пристрої 11. Далі за допомогою системи збору і обробки інформації 2 з оптичного імпульсного перетворювача 3 частоти обертання роторів досліджуваного приладу 4 здійснюється порівняння відтворюваного значення контрольного об'єму повітря із зібраною з показами досліджуваного лічильника, тобто з вимірювальною інформацією з нього за період проходження поршневого розділювача між детекторами. За цими даними визначають похибку досліджуваного приладу.

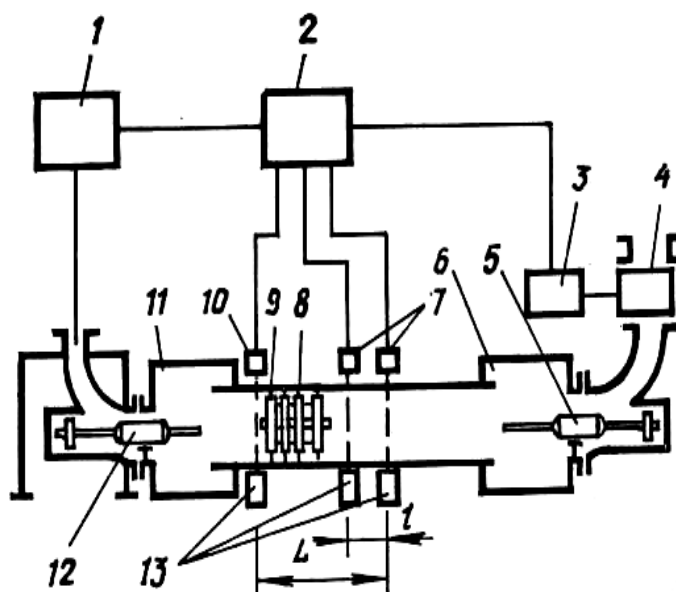


Рисунок 1.6 – Принципова схема поршневої еталонної установки типу РПДУ-0,5

2. РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЕТАЛОННИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ЄМНОСТІ ВИСОКОГО ТИСКУ

2.1 Принцип дії і область застосування еталонних установок PVTt - типу

При роботі ЕУ за сигналом з пульта керування відкривається електромагнітний клапан 1 (рис. 2.1) і повітря високого тиску заповнює калібровану ємність 2. При досягненні в ємності заданого тиску, виставленого на електроконтактному манометрі 4, з нього поступає електричний сигнал в блок керування. За цим сигналом одночасно відкривається електромагнітний клапан 7, закривається клапан 1 і вмикається хронометр 13, починається процес витікання газу з ємності через досліджуваний прилад (ДП) 11. Після досягнення в ємності тиску p_2 , на який налаштований електроконтактний манометр 5, з нього поступає сигнал у блок керування. В результаті закривається клапан 7 і відключається хронометр 13, фіксуючи час випорожнення ємності. На цьому випробувальний цикл закінчується.

Наладка електроконтактних манометрів проводиться по еталонному манометру 12. Тиск перед ДП регулюється редуктором 6 за допомогою еталонного манометра 8, змонтованого на проміжній ємності 9. Первинними перетворювачами для вимірювання температури в каліброваній ємності і перед досліджуваним приладом служать термопарні сенсори 3 і 10.

Витрата газу у досліджуваному приладі визначається за формулою:

$$G = \frac{V}{R\tau} \left(\frac{p_1}{K_1 T_1} - \frac{p_2}{K_2 T_2} \right), \quad (2.1)$$

де G – масова витрата газу, кг/год; V – об'єм відкаліброваної ємності, м³; R – питома газова стала, Дж/кг·град; T_1, T_2 – температура на початку і в кінці випробування в ємності, К; K_1, K_2 – коефіцієнти стиснення газу на початку і в кінці випробування; τ – тривалість вимірювального циклу при зниженні тиску від p_1 до p_2 .

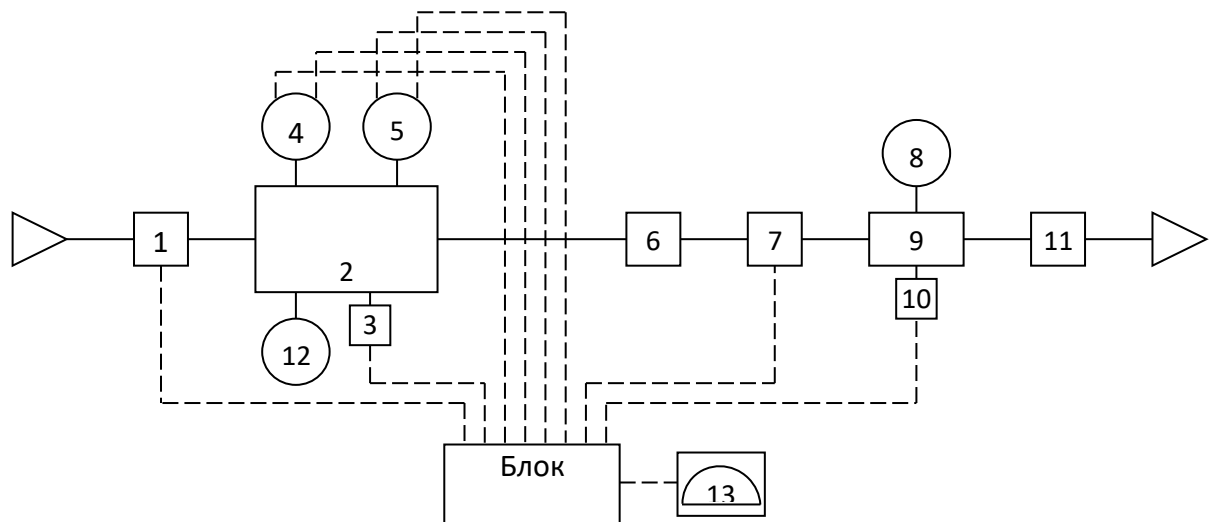


Рисунок 2.1. – Схема установки на базі ємності високого тиску

Технічні і метрологічні характеристики установки є такими [109]:

- діапазон відтворюваних витрат – $G=600$ кг/год;
- робоче середовище – повітря;
- границя допустимої похибки – $\pm 1\%$;
- об'єм каліброваної ємності – $0,05$ м³.

Ця установка (рис. 2.1) відноситься до порційно-статичних [12] і її робота ґрунтується на витіканні газу із ємності через випробовуваний прилад [13, 14]. При вимірюванні тиску і температури газу в ємності при витіканні його через випробувальну ділянку з випробовуваним приладом забезпечує формування контрольного об'єму газу. Цей об'єм використовується як еталонне значення для визначення похибки лічильників і витратомірів газу.

Такого типу установки набули достатньо широкого застосування за кордоном. Однак в Україні вони тільки зараз набувають широкого практичного застосування.

Тому дослідження цього типу установок набувають значної уваги. Це пов'язано з їх можливістю працювати на повітрі і реальному природному газі. Це обґрунтовується особливістю їх конструкції і насамперед відсутність механічних рухомих вузлів. Це дозволяє досягти досить високої точності $\pm 0,02\%$ [15]. Поряд з цим в [16] декларується розширена невизначеність цього типу установок в США у межах $\pm(0,02-0,05)\%$ і $\pm 0,13\%$, а в Японії і Швеції $\pm 0,1\%$ і $\pm 0,15\%$ відповідно (табл.2.1).

Одна із аналогів установок PVTt – типу, яка розроблена у Франції, планується для впровадження калібрування критичних витратомірів на природному газі в Боярці при створенні метрологічного центру [1].

Серед закордонних рішень відомий патент [17], який передбачає застосування ємності в режимі її наповнення, а не витікання газу з неї. Крім того, актуальною в цих установках є необхідність стабілізації теплообмінних процесів, що може здійснюватися у відповідності до конструктивних рішень [116, 117] із застосуванням додаткових факторів стабілізації і прискорення теплообмінних процесів, а також зменшення градієнта температури всередині ємності.

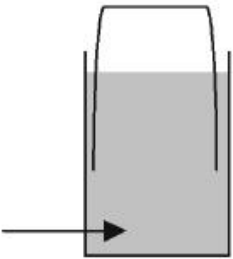

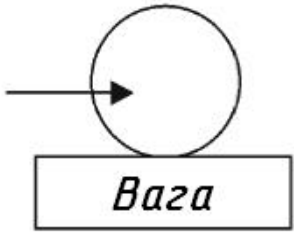
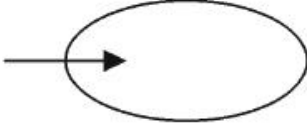
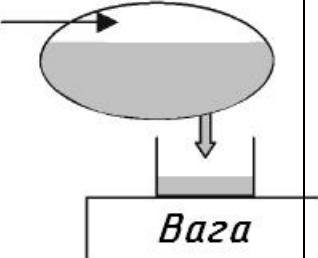
Водночас для можливостей досягнення якнайкращих результатів при створенні державних (первинних) і вторинних еталонів з урахуванням їх практичного використання у світовій практиці заслуговує уваги класифікація, наведена в [16] і використана для аналізу можливих технічних рішень для метрологічного забезпечення витратовимірювальної техніки (табл.2.1).

Із наведеної табл. 2.1 є невідомими конструктивний варіант виконання еталонних установок (стаціонарні чи мобільні), конкретне робоче середовище (повітря чи природний газ), діапазон робочих витрат. Оскільки всі вони є первинними еталонами, то очевидним є їх виконання як стаціонарних об'єктів.

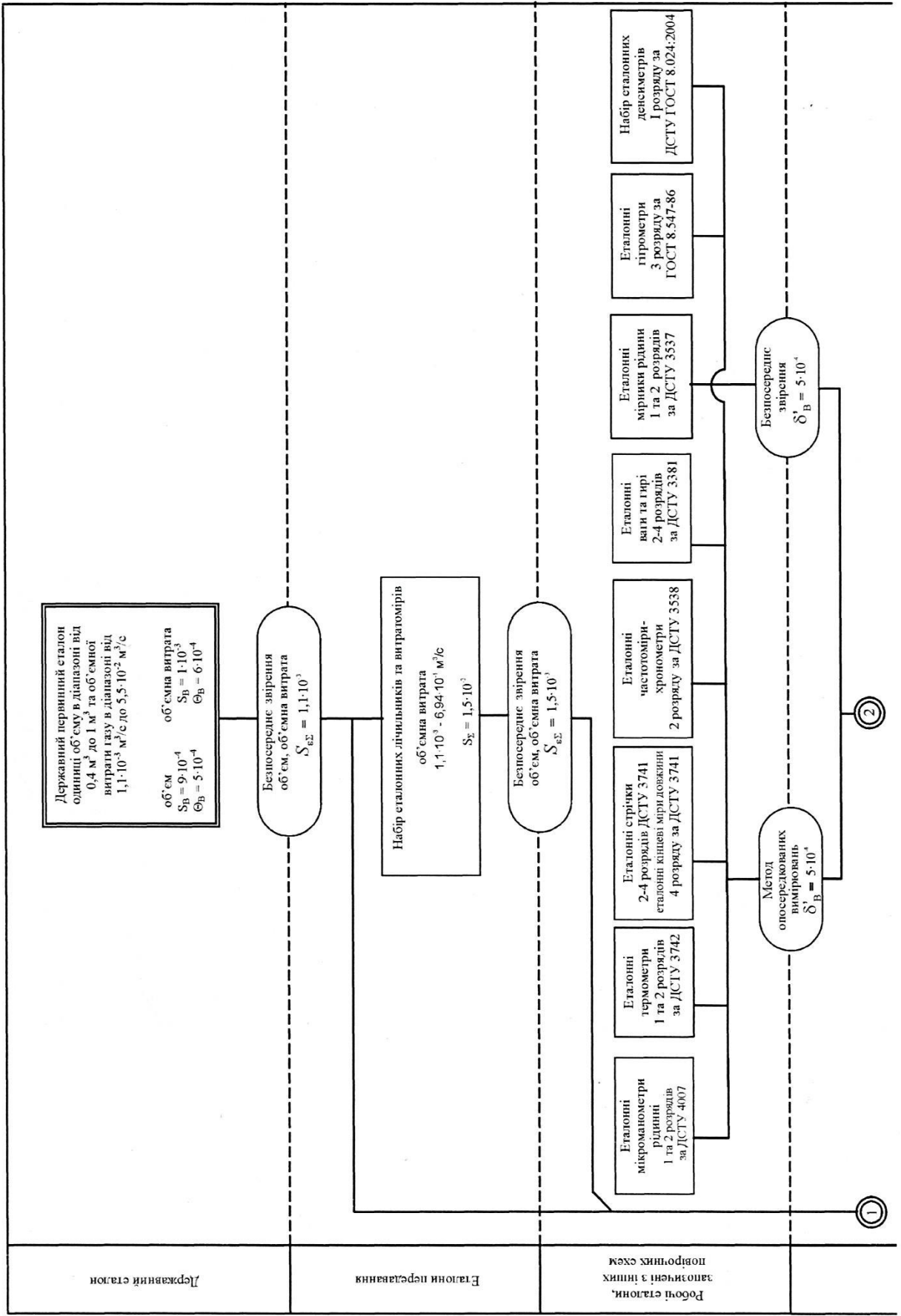
2.2 Сфера застосування установок PVTt – типу в повірочних схемах України для вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу

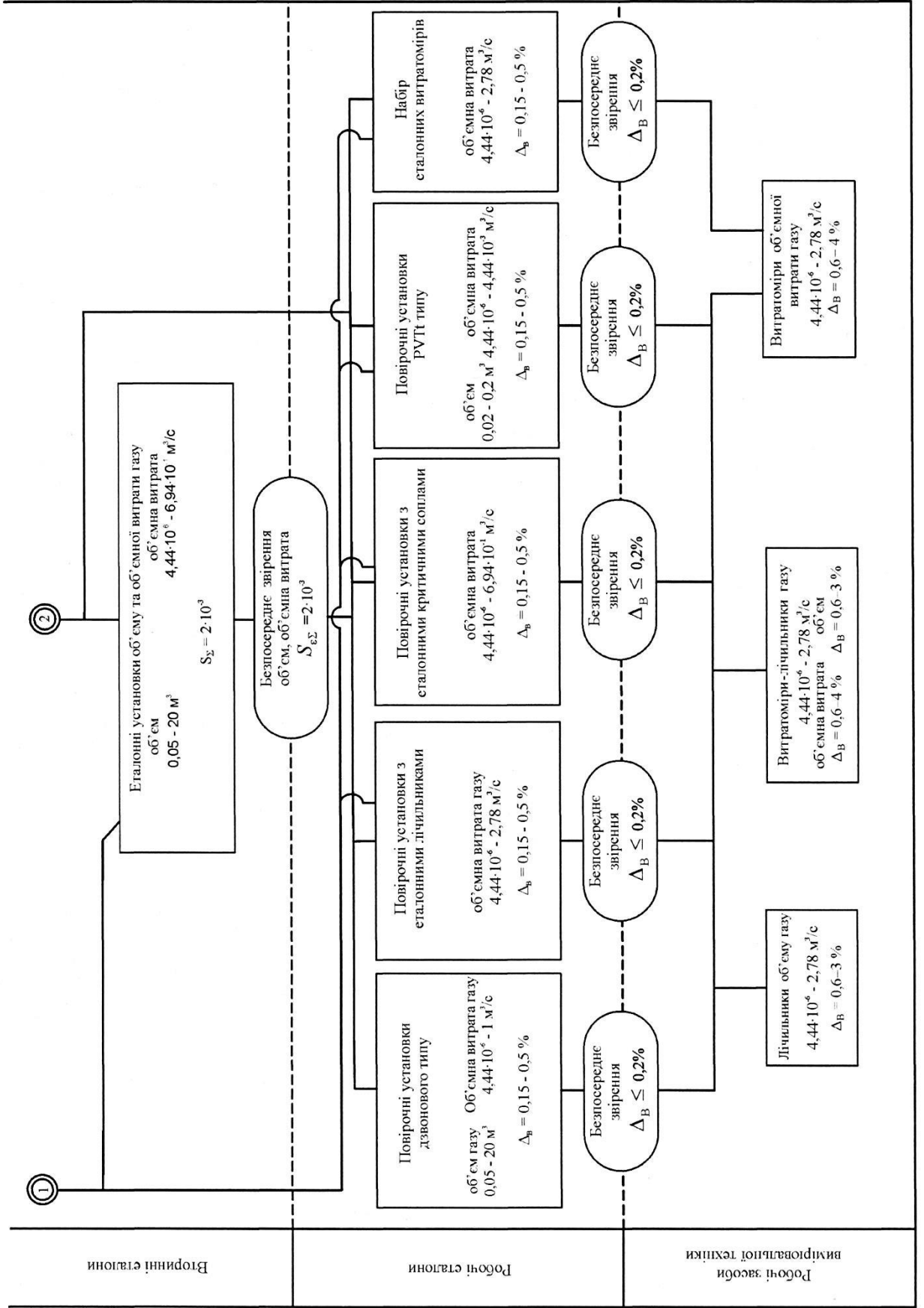
В [18] при побудові державної повірочної схеми для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу подаються п'ять можливих типів ЕУ (повірочні установки дзвонового типу, повірочні установки з еталонними лічильниками, повірочні установки з еталонними критичними соплами, повірочні установки PVTt-типу, набір еталонних витратомірів), де регламентуються їх типи, сфера застосування і допустимі значення похибки без розкриття при цьому особливостей їх конструктивного виконання.

Таблиця 2.1 – Типи закордонних первинних еталонів та значення їх розширеної невизначеності (при коефіцієнті охоплення $k=2$) [16]

Дзвонова установка	Поршнева установка	Вагова установка
 <p>Австралія (0,2%) Австрія (0,15%) Бразилія (0,15%) Канада (0,3%) Китай (0,2%) Німеччина(0,06%; 0,12%) Греція (0,2%) Італія (0,1%) Корея (0,3%) Мехіко (0,3%) Польща(0,13%; 0,3%) Сінгапур (0,2%) Швеція (0,15%) Турція (0,25%) Великобританія (0,2%)</p>	 <p>Франція (0,2%) Німеччина (0,08%; 0,25%) Греція (0,2%) Італія (0,05%, 0,1%) Корея (0,2%) Польща (0,25%) Сінгапур (0,2%) Великобританія (0,2%)</p>	 <p>Аргентина (0,2%) Франція (0,22%; 0,4%) Японія (0,15%) Корея (0,2%) Тайвань (0,16%; 0,25%) Великобританія (0,15%)</p>
Інші	PVT	Витиснення рідини
<p>Австралія (Floppy V, “плівковий” 0,15%) Бразилія (Bubble, “пухирцевий” 0,95%) Німеччина (LDV jet, “об’ємно- рідинний” 0,1%; 0,15%) Туреччина (Bubble, “пухирцевий” 0,54%; 0,93%)</p>	 <p>Китай (0,05%, 0,2%) Японія (0,1%) Швеція (0,15%) Великобританія (0,13%; 0,2%; 0,5%) Франція (0,15%) США(0,02-0,05%,1,13%)</p>	 <p>Чеська Республіка (0,18%) Нідерланди (0,4%) Словацька Республіка (0,13%; 0,22%)</p>

Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу за ДСТУ 3383:2007 [11]





Цей стандарт поширюється на державну повірочну схему для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу і встановлює призначеність державного первинного еталона одиниць об'єму (м^3) та об'ємної витрати ($\text{м}^3/\text{с}$) газу, комплекс основних засобів вимірювальної техніки, що входять до його складу, основні метрологічні характеристики та порядок передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу від державного первинного еталона за допомогою еталонів передавання, вторинних та робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки із зазначанням похибок і основних методів повірки.

ДЕРЖАВНИЙ ПЕРВИННИЙ ЕТАЛОН

Державний первинний еталон призначено, щоб відтворювати, зберігати одиниці об'єму та об'ємної витрати газу і передавати розміри цих одиниць за допомогою еталона передавання, вторинних та робочих еталонів робочим засобам вимірювальної техніки, щоб забезпечити єдність вимірювання в Україні.

В основу вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу має бути покладено одиниці, які відтворює зазначений державний еталон.

Державний еталон складається з комплексу таких засобів вимірювальної техніки:

- дзвонової установки;
- інформаційно-вимірювального комплексу для збирання та оброблення інформації, отриманої з вимірювальних каналів, призначених для вимірювання:

- а) переміщення дзвону;
- б) атмосферного тиску;
- в) надлишкового тиску під дзвоном та на дослідній ділянці;
- г) температури під дзвоном та в дослідній ділянці;
- д) вихідної частоти (кількості імпульсів).

Діапазони значень, які відтворює еталон, становлять:

- від $0,4 \text{ м}^3$ до 1 м^3 — для об'єму газу;
- від $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ до $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ — для об'ємної витрати газу.

Державний первинний еталон забезпечує відтворення одиниць:

— об'єму газу із середнім квадратичним відхилом результату вимірювання B_V , що не перевищує $9 \cdot 10^{-4}$ під час 40 незалежних спостережень. Невилучена систематична похибка 0_V не повинна перевищувати $5 \cdot 10^{-4}$;

— об'ємної витрати газу із середнім квадратичним відхилом результату вимірювання B_V , що не перевищує $1 \cdot 10^{-3}$ під час 40 незалежних спостережень. Невилучена систематична похибка 0_V не повинна перевищувати $6 \cdot 10^{-4}$.

Щоб забезпечити відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати газу з визначеною точністю, треба дотримуватись правил зберігання та застосовування еталона, затверджених у встановленому порядку.

Державний первинний еталон застосовують для передавання розміру одиниць об'єму та об'ємної витрати газу еталонам передавання, вторинним еталонам та робочим еталонам безпосереднім звіренням.

Сумарний середній квадратичний відхил результатів звірення $B_{сЕ}$ еталонів передавання, вторинних еталонів та робочих еталонів з державним еталоном не повинен перевищувати $1,1 \cdot 10^{-3}$

ЕТАЛОНИ ПЕРЕДАВАННЯ

Як еталони передавання застосовують набори еталонних лічильників та витратомірів об'ємної витрати газу в діапазоні від $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,94 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$.

Сумарний середній квадратичний відхил результатів звірення B_E еталона передавання з державним еталоном не повинен перевищувати $1,5 \cdot 10^{-3}$.

Еталони передавання застосовують для взаємного звірення еталонів та передавання розміру одиниць об'єму та об'ємної витрати газу вторинним еталонам: дзвонового типу, гравіметричним, еквівалентного витіснення, РУН-типу, поршневого типу та робочим еталонам: повірочним установкам дзвонового типу, повірочним установкам з еталонними лічильниками та еталонними критичними соплами, РУН-типу і наборам еталонних витратомірів безпосереднім звіренням.

Сумарний середній квадратичний відхил результатів звірення $B_{\text{сЕ}}$ вторинних еталонів та робочих еталонів з еталонами передавання не повинен перевищувати $1,510^{-3}$.

ВТОРИННІ ЕТАЛОНИ

Як вторинні еталони застосовують установки повірочні дзвонового типу, гравіметричні, установки еквівалентного витіснення, РУН-типу, поршневого типу з діапазоном вимірювання об'єму газу від $0,05 \text{ м}^3$ до 20 м^3 та об'ємної витрати газу від $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,9410^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$.

Вторинні еталони застосовують для передавання розміру одиниць об'єму та об'ємної витрати газу робочим еталонам об'єму: повірочним установкам дзвонового типу, повірочним установкам з еталонними лічильниками, повірочним установкам РУН-типу та робочим еталонам об'ємної витрати газу: повірочним установкам з еталонними критичними соплами та наборам еталонних витратомірів, безпосереднім звіренням.

Сумарний середній квадратичний відхил результатів звірення $B_{\text{Е}}$ робочих еталонів з вторинними еталонами не повинен перевищувати 210^{-3} .

РОБОЧІ ЕТАЛОНИ, ЗАПОЗИЧЕНІ З ІНШИХ ПОВІРОЧНИХ СХЕМ

Як робочі еталони, що запозичені з інших повірочних схем, застосовують: мікроманометри рідинні 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 4007, еталонні термометри 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 3742, еталонні стрічки 2—4 розрядів згідно з ДСТУ 3741, еталонні кінцеві міри довжини 4 розряду згідно з ДСТУ 3741, еталонні частотоміри-хронометри 2 розряду згідно з ДСТУ 3538, еталонні ваги та гирі 2—4 розрядів згідно з ДСТУ 3381, еталонні мірники рідини та газу 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 3537, еталонні гігрометри 3 розряду згідно з ГОСТ 8.547-86, набір еталонних денсиметрів I розряду згідно з ДСТУ ГОСТ 8.024:2004.

Робочі еталони, запозичені з інших повірочних схем, застосовують для перевірки вторинних еталонів та робочих еталонів, що входять до складу повірочних установок, методами опосередкованих, прямих вимірювань та безпосереднього звірення.

Відносна похибка результатів звірення 8[^] робочих еталонів та вторинних еталонів з робочими еталонами, запозиченими з інших повірочних схем, не повинна перевищувати 510^{-4} .

РОБОЧІ ЕТАЛОНИ, З НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТУ [18]

Як робочі еталони використовують повірочні установки дзвонового типу з діапазоном вимірювання об'єму газу від $0,05 \text{ м}^3$ до 20 м^3 та об'ємної витрати газу $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $1 \text{ м}^3/\text{с}$, повірочні установки з еталонними лічильниками з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$, повірочні установки РУН-типу з діапазоном вимірювання об'єму газу від $0,02 \text{ м}^3$ до $0,2 \text{ м}^3$ та об'ємної витрати газу $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,4410^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, повірочні установки з еталонними критичними соплами з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,9410^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$ і набори еталонних витратомірів з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$.

Межі допустимих відносних похибок робочих еталонів становлять від $0,15 \%$ до $0,5 \%$.

Робочі еталони застосовують для передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу робочим засобам вимірювальної техніки безпосереднім звіренням.

Відносна похибка результатів звірення робочих засобів вимірювальної техніки з робочими еталонами не повинна перевищувати $0,2 \%$.

РОБОЧІ ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Як робочі засоби вимірювальної техніки застосовують лічильники об'єму газу, витратоміри об'ємної витрати газу та витратоміри-лічильники газу з діапазоном вимірювань об'ємної витрати газу від $4,4410^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$.

Межі допустимих відносних похибок робочих засобів вимірювальної техніки об'єму газу становлять від $0,6 \%$ до 3% , об'ємної витрати газу — від $0,6 \%$ до 4% .

Новий стандарт державної повірочної схеми для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу [19] встановлює призначеність державного первинного еталона одиниць об'єму газу (м^3) та об'ємної витрати

газу ($\text{м}^3/\text{с}$), комплекс основних засобів вимірювальної техніки, що входять до його складу, основні метрологічні характеристики та порядок передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу від державного первинного еталона методом звірення із застосуванням еталонів порівняння до вторинних, робочих еталонів та робочих засобів вимірювальної техніки із зазначенням похибок і основних методів повірки (калібрування). В ньому передбачена наявність вторинних еталонів.

Вторинний еталон — еталон, якому передаються розміри одиниць від державного первинного еталона і який призначений для передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу робочим еталонам, а також для взаємного звірення еталонів, які за тих чи інших обставин не можуть бути звірені безпосередньо.

Як вторинні еталони застосовують установки дзвонового типу, установки еквівалентного витіснення рідини з діапазоном вимірювання об'єму від $0,003 \text{ м}^3$ до $0,2 \text{ м}^3$ та об'ємної витрати $2,78 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ та установки з набором еталонних лічильників газу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $1,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ до $1,11 \text{ м}^3/\text{с}$.

Довірчі границі похибки результатів вимірювання під час звірення вторинних еталонів з державним первинним еталоном не повинні перевищувати $2,0 \cdot 10^{-3}$ за довірчої ймовірності 0,95.

Розширена невизначеність результатів вимірювання під час звірення вторинних еталонів з державним первинним еталоном не повинна перевищувати $2,0 \cdot 10^{-3}$ з коефіцієнтом охоплення $k = 2$ довірча ймовірність $P = 0,95$.

Вторинні еталони застосовують для передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу:

а) методом прямих вимірювань робочим еталонам — еталонним лічильникам газу та еталонним витратомірам газу.

Сумарний середній квадратичний відхил передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу методом прямих вимірювань від вторинних

еталонів до робочих еталонів не повинен перевищувати $5,0 \cdot 10^{-4}$ за 11 незалежних спостережень;

Передавання методом звірення із застосуванням еталонів порівняння реалізується робочим еталонам — повірочним установкам об'єму та об'ємної витрати газу

Сумарний середній квадратичний відхил передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу методом звірення із застосуванням еталонів порівняння від вторинних еталонів до робочих еталонів не повинен перевищувати $5,0 \cdot 10^{-4}$ за 11 незалежних спостережень.

Як еталони порівняння застосовують:

— набори еталонних лічильників газу в діапазоні від $2,78 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,94 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$;

— набори еталонних витратомірів газу в діапазоні від $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

В новій повірочній схемі [19] конкретизуються види і типи робочих еталонів. Тут виділяються робочі еталони, запозичені з інших повірочних схем.

Як робочі еталони, що запозичені з інших повірочних схем, застосовують: поршневі, деформаційні манометри та калібратори тиску 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 4007, еталонні термометри 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 3742, еталонні стрічки 2—4 розрядів згідно з ДСТУ 3741 еталонні кінцеві міри довжини 4 розряду згідно з ДСТУ 3741, еталонні частотоміри-хронометри 2 розряду згідно з ДСТУ 3538, еталонні ваги та гирі 2—4 розрядів згідно з ДСТУ 3381, мірники рідини та газу 1 та 2 розрядів згідно з ДСТУ 3537, еталонні гігрометри 3 розряду згідно з ГОСТ 8.547, набір еталонних денсиметрів 1 розряду згідно з ДСТУ ГОСТ 8.024.

Робочі еталони, запозичені з інших повірочних схем, застосовують під час передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати вторинним еталонам методом опосередкованих вимірювань та методом прямих вимірювань як альтернативу передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати від Державного первинного еталона та у випадках, коли значення одиниць об'єму та об'ємної витрати вторинного еталона не може бути відтворено Державним первинним еталонам.

Границі відносної похибки методу прямих вимірювань та методу опосередкованих вимірювань вторинних еталонів з робочими еталонами, запозиченими з інших повірочних схем не повинні перевищувати $5,0 \cdot 10^{-4}$.

В новій повірочній схемі [19] конкретизуються також види робочих еталонів.

Робочі еталони — повірочні установки об'єму та об'ємної витрати газу. Як робочі еталони застосовують повірочні установки об'єму та об'ємної витрати газу установки дзвонового типу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$, установки з еталонними лічильниками газу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$, установки з еталонними критичними соплами з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $6,94 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$, установки еквівалентного витіснення рідини з діапазоном об'ємної витрати газу від $2,78 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ до $1,11 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$, установки PVTt-типу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу $4,44 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $1,11 \cdot 10^{-1} \text{ м}^3/\text{с}$, установки поршневого типу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $4,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$ до $2,78 \text{ м}^3/\text{с}$ та установки вантажокільцевого типу з діапазоном вимірювання об'ємної витрати газу від $1,66 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $4,44 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$.

Границі допустимих відносних похибок повірочних установок становлять від 0,2 до 0,5 %.

Повірочні установки застосовують для передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати робочим засобам вимірювальної техніки методом прямих вимірювань.

Границі відносної похибки методу прямих вимірювань робочих засобів вимірювальної техніки з повірочними установками не повинні перевищувати $2 \cdot 10^{-3}$.

Робочі еталони — еталонні лічильники газу та еталонні витратоміри газу. Як еталонні лічильники газу та еталонні витратоміри газу застосовують лічильник барабанного, роторного, турбінного типів, сопла критичні еталонні та ламінарні витратомір в діапазоні вимірювання об'ємної витрати газу від $2,78 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с}$ до $1,8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Границі допустимих відносних похибок еталонних лічильників та еталонних витратомірів становлять від 0,2 % до 0,5 %.

Еталонні лічильники та еталонні витратоміри застосовують для передавання розміри одиниць об'єму та об'ємної витрати газу робочим засобам вимірювальної техніки методом опосередкованих вимірювань.

Границі відносної похибки методу опосередкованих вимірювань під час передавання розмірів одиниць об'єму та об'ємної витрати газу від еталонних лічильників та еталонних витратомірів до робочих засобів вимірювальної техніки не повинні перевищувати $2 \cdot 10^{-3}$.

Конкретизація нової повірочної схеми [19] подається на рис 2.2

ДЕРЖАВНА ПОВІРОЧНА СХЕМА ДЛЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ТА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

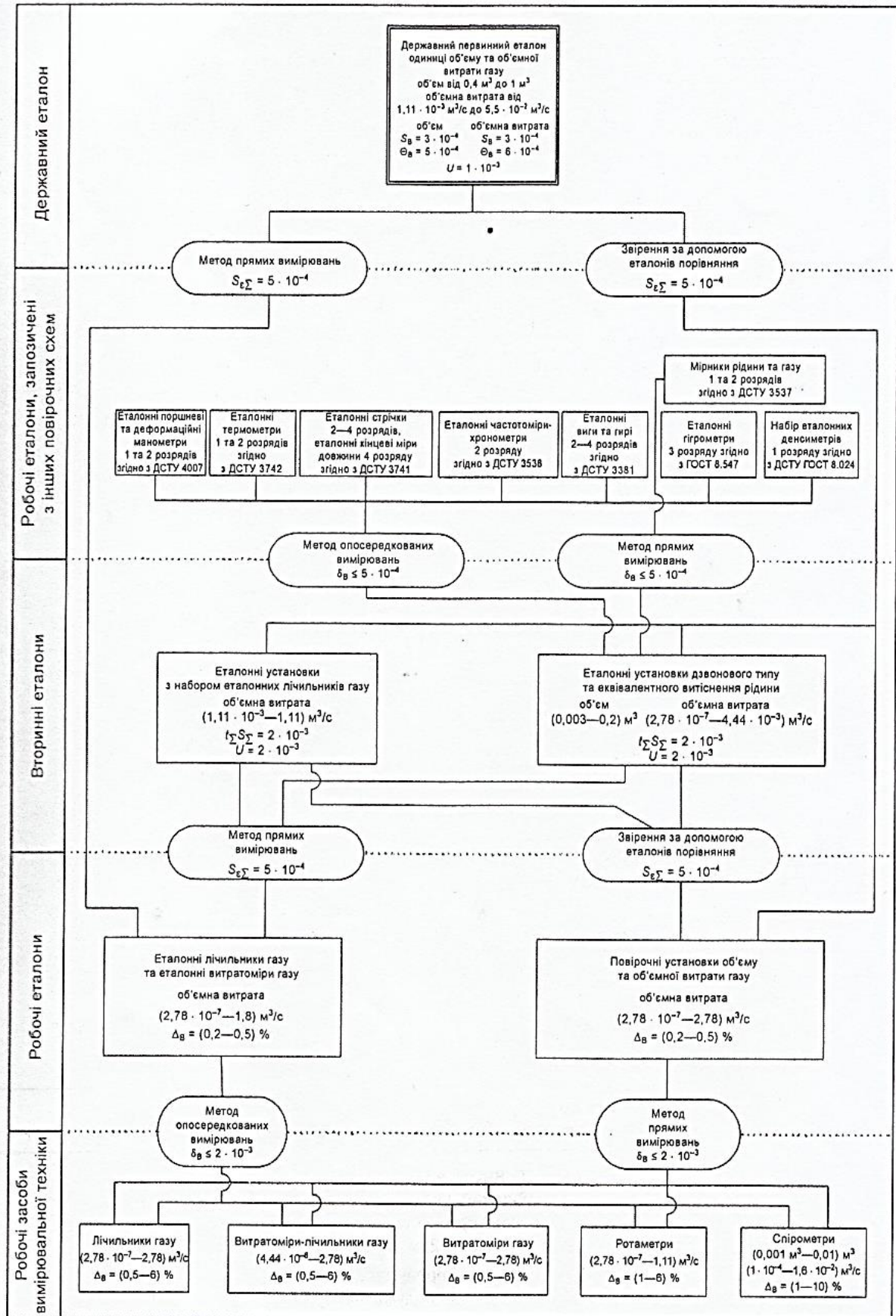


Рисунок 2.2 – Державна повірочна схема

2.3 Моделювання фізичних процесів в установках PVTt - типу

Установки PVTt - типу є досить простими за конструкцією, надійними в експлуатації, мобільними в застосуванні. Однак головним їх недоліком є періодичність функціонування і вплив зміни тиску в ємності на стабільність відтворених витрат. Незважаючи на те, що останній фактор в певній мірі усувається застосуванням регуляторів тиску і витрати газу, внаслідок суттєвої різниці тисків в ємності і перед ДП алгоритм функціонування цього типу робочих еталонів потребує вдосконалення з попереднім виконанням їх математичного моделювання.

В теоретичному плані є відомими алгоритми функціонування установок з ємністю під тиском (PVTt-типу), які передбачають витікання газу із ємності через випробувальну ділянку з вмонтованим досліджуваним приладом і вимірюванні тиску і температури в ємності. При цьому витікання газу із ємності проводять впродовж певного проміжку часу, здійснюють витримку в часі до відновлення початкової температури газу в ємності і донаповнюють ємність газом до досягнення початкового тиску, що зумовлює складність практичної реалізації цього алгоритму випробувань і вимагає великих затрат часу на його проведення.

Тому в одній із відомих установок використаний алгоритм із змінними параметрами тиску і температури в ємності, який описується формулою:

$$q_m = \frac{V_0}{R\Delta t} \left(\frac{p_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{p_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right), \quad (2.2)$$

де q_m – масова витрата газу; V_0 – об'єм каліброваної ємності; Δt – час протікання газу через ДП; p_{11}, T_{11}, Z_{11} і p_{12}, T_{12}, Z_{12} – тиск, температура і ФС газу в ємності на початку і в кінці витікання газу відповідно; R – питома газова стала робочого середовища.

Цей алгоритм забезпечує розрахунок масової витрати газу і потребує вдосконалення при його застосуванні для дослідження засобів вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу. Крім того при випробуваннях необхідно враховувати зміну параметрів робочого середовища перед ДП. З цією метою

використовується на базі основного рівняння стану реального газу, запропонований такий алгоритм розрахунку витрати газу у випробувальній ділянці перед ДП:

$$q = \frac{V_0}{\Delta t} \left(\frac{p_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{p_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right) \frac{T_B \cdot Z_B}{p_B}, \quad (2.3)$$

де q – об’ємна витрата газу на ДП; p_B, T_B, Z_B – абсолютний тиск, температура і ФС газу у випробувальній ділянці перед ДП відповідно.

Далі використовуючи відому формулу для визначення похибки лічильників газу за умови припущення стабільного значення відтворюваної витрати, тобто

$$V_E = q \cdot \Delta t \quad (2.4)$$

на базі алгоритму (2.3) отримуємо такий вираз для розрахунку похибки досліджуваного лічильника:

$$\delta_L = \left(\frac{V_L \cdot p_B}{V_0 \cdot T_B \cdot Z_B \cdot K_{\Pi}} - 1 \right) \cdot 100, \% \quad , \quad (2.5)$$

де K_{Π} – коефіцієнт приведення, який розраховують за формулою

$$K_{\Pi} = \frac{p_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{p_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}}. \quad (2.6)$$

Для практичної реалізації алгоритму (2.3)–(2.6) спочатку наповнюють калібровану ємність повітрям або робочим газом до необхідного тиску. Потім вимірюють абсолютний тиск і температуру та розраховують фактор стискуваності (ФС) газу стосовно параметрів, що характеризують умови роботи ємності перед витіканням газу із неї, тобто p_{11}, T_{11}, Z_{11} . Далі відкривають подачу робочого газу до випробувальної ділянки і через певний проміжок часу Δt , який відповідає заданій тривалості витікання газу із ємності по випробувальній ділянці через стабілізатор тиску та ДП, знову вимірюють абсолютний тиск p_{12} і температуру T_{12} газу в ємності та коригують значення ФС Z_{12} стосовно цих параметрів. Водночас, протягом цієї тривалості протікання повітря або газу у випробувальній ділянці вимірюють абсолютний тиск p_B і температуру T_B на ДП, розраховують ФС Z_B для цих умов та

фіксують покази з відлікового пристрою ДП, які відповідають значенню вимірюваного об'єму $V_{Д}$.

Потім цикл досліджування продовжують до аналогічного вище прикладу, але вже за наступний певний проміжок часу Δt або за інші будь-які проміжки часу $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n$, до одержання необхідного числа контрольних точок вимірювання. В результаті отримуємо ряд значень тиску і температури, що характеризують параметри повітря або газу в ємності: $p_{11}, p_{12}, \dots, p_{1n}$ і $T_{11}, T_{12}, \dots, T_{1n}$, а також ряд значень, що характеризують роботу досліджуваного приладу $p_{В1}, p_{В2}, \dots, p_{Вn}$ і $T_{В1}, T_{В2}, \dots, T_{Вn}$. За рахунок проведення додаткових обчислень одержують значення ФС газу $Z_{11}, Z_{12}, \dots, Z_{1n}$ і $Z_{В1}, Z_{В2}, \dots, Z_{Вn}$ відповідно для умов ємності і для ДП за відповідні проміжки часу Δt_i .

Далі, використовуючи отримані результати, можна за формулою (2.6) розрахувати похибку лічильника при випробуваннях впродовж одного або декількох проміжків часу. При цьому витрату газу через ДП, при потребі можна або фіксувати або змінювати при кожному іншому проміжку часу Δt_i .

Алгоритм (2.3) передбачає необхідність стабілізації параметрів тиску $p_{В}$ і температури $T_{В}$ на ДП. Це досягається розміщенням на випробувальній ділянці стабілізатора тиску і пристрою задавання температури режиму дослідження, функцією якого є стабілізація температури газу перед ДП. Шляхом зміни завдань стабілізатора тиску і пристрою задавання температури можна здійснювати калібрування, градуювання та повірку лічильників і витратомірів за різних робочих умов. А враховуючи ту обставину, що як робоче середовище може бути використаний будь-який газ, в тому числі повітря, інертний чи природний, то можливості цього способу градуювання та повірки стають ще більш суттєвими.

Поряд з цим описаний алгоритм градуювання та повірки все ж таки характеризуються недоліком, пов'язаним з періодичністю наповнення і випорожнення ємності і обмеженістю тривалості проведення випробувального циклу. Тому з метою ліквідації цих недоліків автором запропоновано одночасно з витіканням газу із ємності здійснювати безперервне донаповнення

його газом від додаткового джерела стисненого газу безпосередньо за допомогою стабілізатора вхідного тиску і витратоміра критичного витоку газу. При цьому значення стабілізованого вхідного тиску визначають за робочими умовами ДП та витратою газу на ньому [50].

Для розрахунку витрати газу через ДП за усталеного режиму функціонування ЕУ з ємністю під тиском скористаємося законом збереження маси газу, який стосовно вдосконаленого алгоритму роботи установок PVT-типу можна подати виразом:

$$M_B = \Delta M_P + M_K, \quad (2.7)$$

де M_B, M_K – маса газу, що перетекла через досліджуваний витратомір і критичний витратомір відповідно; ΔM_P – зміна маси газу в ємності на початку і в кінці вимірювального циклу.

Здійснивши ділення кожного члена рівняння (2.7) на час Δt протікання газу через ДП отримуємо:

$$q_m = \frac{\Delta M_P}{\Delta t} + q_{mk}, \quad (2.8)$$

де q_m, q_{mk} – масова витрата газу через досліджуваний витратомір і критичний витратомір відповідно.

Використовуючи рівняння стану для реального газу, яке передбачає врахування в ньому ФС, запишемо вираз для визначення зміни маси газу в ємності за час Δt :

$$\Delta M_P = V_0 \cdot \rho_c \cdot \frac{T_c}{p_c} \cdot \left(\frac{p_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{p_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right), \quad (2.9)$$

Витрату газу через критичне сопло визначають згідно формули:

$$q_{mk} = \mu \cdot C_{KC} \cdot F \cdot \frac{p_{KC}}{\sqrt{R \cdot T_{KC}}}, \quad (2.10)$$

де μ – коефіцієнт витрати КС; F – площа отвору КС; C_{KC} – функція критичної витрати газу через КС; p_{KC}, T_{KC} – значення абсолютного тиску і абсолютної температури ізоентропічно загальмованого газу перед КС.

Таким чином сукупність рівнянь (2.9)-(2.10) формують математичну модель для розрахунку масової витрати газу через досліджуваний витратомір в залежності від фактичних значень інформативних параметрів ємності, КС і ДП. При цьому із виразу (2.9) витікає, що при практичній реалізації алгоритму функціонування повірочної установки тиск в ємності може зростати, спадати або залишатися незмінним, що визначається конкретизацією умов реалізації запропонованого способу. Це свідчить про його універсальність стосовно різних комбінацій інформативних параметрів і режимів відтворення витрат газу. Тут зауважимо, що обов'язковою умовою реалізації запропонованого способу є дотримання необхідного співвідношення між значеннями абсолютних тисків перед критичним витратоміром і у ємності з метою забезпечення критичного режиму течії через КС, яке розраховується згідно фізичних властивостей і температури використовуваного робочого газу і конструкції КС.

При дослідженні об'ємних витратомірів і лічильників газу значення масової витрати q_{mB} у випробувальній ділянці можна записати через об'ємну витрату газу q за робочих умов ДП за допомогою виразу:

$$q_{mB} = q \cdot \rho_c \cdot \frac{T_c}{p_c} \cdot \frac{p_B}{T_B \cdot Z_B}, \quad (2.11)$$

де p_B, T_B, Z_B – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу у випробувальній ділянці перед ДП.

Спільний розв'язок рівнянь (2.9)-(2.11) дає можливість отримати таку модель для розрахунку об'ємної витрати газу на ДП:

$$q = \left[\frac{V_0}{\Delta t} \left(\frac{p_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{p_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right) + \frac{\mu \cdot C_{СК} \cdot F}{\rho_c \cdot T_c} \cdot \frac{p_c \cdot p_{КС}}{\sqrt{R \cdot T_K}} \right] \cdot \frac{T_B \cdot Z_B}{p_B}. \quad (2.12)$$

При дослідженні лічильників газу значення відтворюваного контрольного об'єму газу розраховують шляхом множення правої частини виразу (2.12) на час протікання газу через лічильник.

Водночас вираз (2.12) дає можливість розраховувати невідомі режимні параметри реалізації нового способу градування при заданих значеннях інших

параметрів. Це стосується перш за все визначення необхідного значення вхідного тиску p_{KC} за значеннями робочих умов p_B, T_B, Z_B перед ДП та витратою газу на ньому. При цьому також можна коригувати діапазон зміни робочого тиску в ємності від p_{11} до p_{12} і одночасно виконувати умову вибору необхідної тривалості вимірювального циклу Δt .

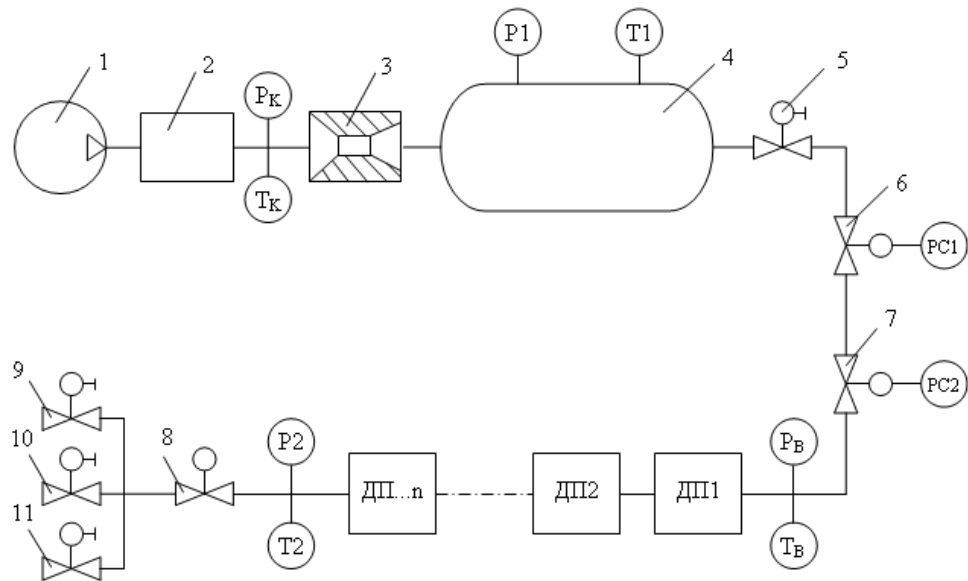
Цей спосіб також забезпечує підвищення продуктивності градуювально-повірочних операцій за рахунок вилучення допоміжної технологічної операції періодичного донаповнення ємності, так як запропонований спосіб реалізується як при спаданні тиску в ємності так і при його зростанні, що може здійснюватися при почерговості дослідження приладів за різних витрат, наприклад, q_{max} (максимальна витрата), $0,5 q_{max}$, $0,2 q_{max}$, q_{min} (мінімальна витрата). Крім того, внаслідок запропонованої можливості визначення об'ємної витрати газу через ДП за допомогою однієї багатопараметричної формули можна розраховувати оптимальні параметри практичної реалізації способу градуювання та перевірки приладів, наприклад, визначення тривалості вимірювального циклу від значень робочих параметрів ДП.

2.4 Дослідження напрямків вдосконалення установок РVTt-типу

Структурна схема удосконаленої конструкції установки, яка реалізує патентозахищений [20] спосіб калібрування (градування) та перевірки витратомірів і лічильників газу, зображена на рис. 2.3.

При функціонуванні РЕ спочатку наповнюють калібровану ємність 4 повітрям або робочим газом до необхідного тиску. Потім вимірюють абсолютний тиск p_{11} і температуру T_{11} та розраховують ФС газу Z_{11} стосовно параметрів, що характеризують умови роботи ємності перед витіканням газу із неї. Далі задають робочий режим функціонування установки, наприклад, відтворення контрольного об'єму газу шляхом пониження тиску в ємності. Після цього згідно алгоритму (2.12) для робочих умов ДП за значенням абсолютного тиску p_B і витрати q розраховують мінімальне значення $p_{K min}$ абсолютного тиску p_K стабілізатора 2 вхідного тиску, при якому тривалість

дослідження буде рівною мінімальному допустимому значенню тривалості вимірювального циклу Δt_{min} , а тиск в ємності зменшиться до допустимого мінімального значення $p_{12 min}$. Потім задають режим роботи стабілізатора 2



1 – компресор; 2 – стабілізатор роботи; 3 – критичне сопло; 4 – ємність високого тиску; 5 – ручний вентиль; 6, 7 – виконавчі механізми регуляторів високого і низького тиску; 8 – запірний клапан; 9,10,11 – задавачі витрати; PC1, PC2 – регулятори високого і низького тиску; P1, P2, PK, PV – давачі тиску; T1, T2, TK, TV – давачі температури; ДП1, ДП2 ... ДПn – досліджувані прилади (1,2 ... n-ий).

Рисунок 2.3. – Структурна схема РЕ на базі установки з ємністю під тиском з необмеженою тривалістю вимірювального циклу

згідно умови $p_K > p_{K min}$ і відкривають подачу повітря або робочого газу до випробувальної ділянки з одним або декількома ДП. Через певний проміжок часу $\Delta t = \Delta t_{min}$, який відповідає заданій мінімальній тривалості витікання газу через регулятори тиску 6, 7 та досліджувані прилади ДП1...ДПn знову вимірюють абсолютний тиск P_{12} і температуру T_{12} газу в ємності та коригують значення ФС стосовно цих параметрів. Водночас протягом цього часу протікання газу через випробувальну ділянку вимірюють значення абсолютних тисків p_K, p_V і температур T_K, T_V перед критичним витратоміром і на ДП

відповідно та розраховують ФС Z_B для умов ДП. Далі, використовуючи алгоритм (2.33), розраховують значення відтворюваної витрати q через ДП.

При калібруванні (градуванні) витратоміра за цим значенням витрати визначають коефіцієнт перетворення витратоміра, а при його повірці розраховане значення відтворюваної витрати газу порівнюється з сигналами досліджуваного витратоміра, що є підставою для визначення його МХ за формулою (1.3). При градуванні і повірці лічильників газу додатково здійснюється перемноження розрахованого значення витрати q на час вимірювання Δt і отримане при цьому значення контрольного об'єму газу V_y є підставою для розрахунку коефіцієнта перетворення лічильника при його градуванні або для визначення за виразом (1.1) МХ лічильника під час повірки.

Після цього цикл дослідження повторюють аналогічно до досягнення в ємності мінімально допустимого значення тиску або змінюють робочий режим функціонування РЕ, в результаті якого при випробувальному циклі буде наростати тиск в ємності. В останньому випадку цього досягають заданням меншого значення відтворюваної витрати через ДП при незмінному значенні тиску p_K або збільшенням тиску p_K при незмінній відтворюваній витраті на ДП. При цьому для обчислення витрати також використовується алгоритм (2.33). Після наповнення ємності до максимального робочого тиску p_{1max} режим роботи РЕ можна аналогічним чином поміняти на режим спадання тиску в ємності. У випадку незмінності параметрів газу в ємності вимірювання відтворюваної витрати можна здійснювати за допомогою критичного витратоміра, що можна розглядати як частковий випадок функціонування запропонованого способу [21]. В цьому випадку режим дослідження буде відповідати відомому методу дослідження засобів вимірювання за допомогою ЕУ на базі критичних витратомірів.

Окремим із напрямків вдосконалення РЕ на базі установок з ємністю під тиском є обладнання лінії подачі газу до ємності осушувачем газу і застосування необхідного взаємозв'язку погодженої дії з відповідним обладнанням РЕ, що дозволяє забезпечити керування та миттєво-порівняльне

зняття параметричних характеристик РЕ в процесі випробування ДП у відповідності до [22]. Це може бути вирішене за рахунок виконання контрольньо-вимірювального обладнання у вигляді єдиного цілісного пристрою – персональної ЕОМ з нормуючими перетворювачами – і запропонованого взаємозв'язку погодженої дії між ними [22]. При цьому реалізується під'єднання додаткового устаткування, зокрема нормуючих перетворювачів, через давачі контрольованих параметрів до ємності і ДП, а через виконавчі механізми – до регулятора витрат і запірних клапанів. В результаті стає можливим впорядковане керування процесом пуску і витікання газу із ємності до ДП при заданому тиску перед ним, що зумовлює підвищення продуктивності процесу градування або повірки. Водночас, є можливим проводити миттєво-порівняльне збирання параметричних характеристик – збір та обробку необхідного числа контрольних точок ряду значень параметрів тиску, температури і вологості газу за певний проміжок часу, що зумовлює зменшення похибки відтворення об'єму і витрати газу та підвищення точності РЕ.

Тому необхідно розв'язати задачу створення нового більш вдосконаленого устаткування для градування та перевірки випробовуваних приладів, шляхом конструктивного нововведення - застосовуючи необхідний взаємозв'язок погодженої дії з відповідним новим обладнанням, що дозволить забезпечити керування та миттєво-порівняльне зняття параметричних характеристик в процесі випробування.

Поставлена задача вирішується тим, що контрольньо-вимірювальне обладнання виконане у вигляді єдиного пристрою обладнаного персональною ЕОМ з нормуючим перетворювачем, який через датчики контрольованих параметрів під'єднаний до ємності та випробовуваного приладу, а, через виконавчі механізми - до регулятора витрат і запірних клапанів. Крім того, лінія подачі газу додатково обладнана осушувачем газу.

Задача винаходу [22] вирішена за рахунок виконання контрольньо-вимірювального обладнання у вигляді єдиного цілісного пристрою персональної ЕОМ з нормуючим перетворювачем - і запропонованого взаємозв'язку погодженої дії між ними. При цьому, реалізується під'єднання

спорядженого устаткування, зокрема нормуючого перетворювача, через датчики тиску контрольних параметрів до ємності випробовуваного приладу, а через виконавчі механізми - до регулятора витрат і запірних клапанів. В результаті, без затримок є можливість впорядковано керувати процесом пуску витікання газу із ємності до випробовуваного приладу при заданому тиску перед ним, що зумовлює підвищення продуктивності процесу градуювання або перевірки. Водночас, є можливість проводити життєво-порівняльне збирання параметричних характеристик - збір та обробку необхідного числа контрольних точок ряду значень параметрів тиску, температури і вологості газу за певний проміжок часу, що зумовлює зменшення похибки вимірювання.

Крім того, обладнання лінії подачі осушувачем газу дає можливість підвищити точність вимірювання за рахунок більш точного визначення коефіцієнта стиснення газу.

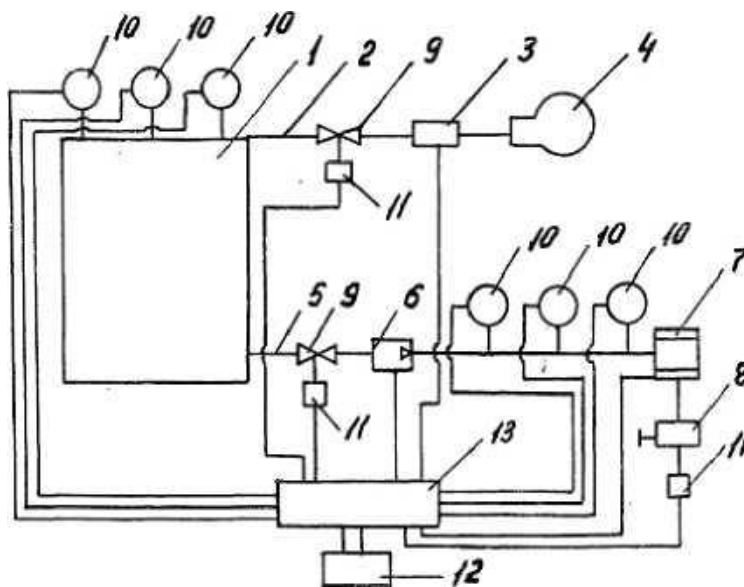


Рисунок 2.4 – Установа PVTt –типу з осушувачем газу

На рис. 2.4 схематично зображено устаткування для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу. Запропоноване устаткування включає ємність 1 із стиснутим газом, яка по трубопроводу 2 (по лінії подачі газу) через осушувач газу 3 під'єднана до джерела робочого середовища 4, а по трубопроводу (по випробувальній ділянці) через стабілізатор тиску 6 до випробовуваного приладу 7 з регулятором витрат 8, причому трубопроводи 2 і 5, відповідно, споряджені запірними клапанами 9. Крім того, устаткування

споряджене контрольно-вимірювальним обладнанням у вигляді єдиного пристрою, що складається з датчиків контрольних параметрів 10, виконавчих механізмів 11 і персональної ЕОМ 12 з нормуючим перетворювачем 13. При цьому нормуючий перетворювач 13 через датчики контрольованих параметрів 10 під'єднаний до ємності 1 і випробовуваного приладу 7, а через виконавчі механізми 11 - до регулятора витрат 8 і запірних клапанів 9.

Устаткування для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу працює таким чином. Попередньо устаткування заповнюють газом або повітрям. Для цього від джерела робочого середовища 4, наприклад компресором, газ або повітря осушують за допомогою осушувача газу 3 і через запірний клапан 9 подають до ємності 1.

Після заповнення ємності 1 газом або повітрям до необхідного тиску фіксують задані величини тиску, температури і вологи у ємності 1. Устаткування готове до роботи.

Згодом персональною ЕОМ 12 за допомогою нормуючого перетворювача 13 через виконавчі механізми 11 задають необхідний тиск перед випробовуваним приладом 7. Цим стабілізатор тиску 6 приводять в роботу і забезпечується потік газу або повітря до випробовуваного приладу 7. Таким чином починається цикл градуювання або перевірки випробовуваного приладу 7. Водночас, нормуючим перетворювачем 13 фіксуються задані величини параметрів тиску, температури і вологи датчиками контрольних параметрів 10 у ємності 1 і на вході випробовуваного приладу 7 за певний проміжок часу, котрі опрацьовує персональна ЕОМ 12. Обробка значень контрольно-вимірювальних параметрів у ємності 1 і перед випробовуваним приладом 7 згідно відповідних відомих алгоритмів дає можливість керувати одиницею вимірювання (витрати або об'єму) випробовуваного приладу 7. При цьому, як відомий алгоритм застосовуємо, розрахунок витрати газу згідно формули:

$$G = \frac{V}{R\tau} \left(\frac{P_1}{K_1 T_1} - \frac{P_2}{K_2 T_2} \right), \quad (2.13)$$

де G - масова витрата газу; V - об'єм ємності; P - універсальна газова постійна; P_1, P_2 - початкове і кінцеве значення абсолютного тиску газу в ємності

відповідно; T_1 , T_2 - початкове і кінцеве значення абсолютної температури газу в ємності відповідно, К; K_1 , K_2 - коефіцієнти стиснення робочого середовища при початковому і кінцевому значеннях тиску в ємності, відповідно; τ - тривалість часу, за який досягається реалізація випробовуваного циклу.

Таким чином, досягається градування або перевірка випробовуваного приладу шляхом порівняння витрати розрахованої згідно зазначеної формули та витрати, що вимірюється.

Подальший цикл градування або перевірки продовжують аналогічно до одержання необхідного числа контрольних точок - згідно циклу роботи описаному вище. Запропоноване устаткування також забезпечує проведення випробовування без зупинки циклу, що досягається необхідним регулюванням заданих параметрів за допомогою нормуючого перетворювача 13.

На базі багатьох відомих експериментальних перевірок із використанням установки PVTt-типу встановлено, що процес перевірки того чи іншого випробувального приладу є надто тривалим для досягнень очікуваного технічного результату, через небажані затримки (зупинки) в процесі перевірки, наприклад, побутового лічильника газу, котрі пов'язані із заповнення ємності повітрям при зміні значення витрати. Поряд з цим кожне заповнення ємності повітрям потребує подальшої стабілізації тиску і температури у ємності, що в цілому зменшує ефективність процесу перевірки. При цьому слід зазначити, що перехід із одного значення витрати на інший є обов'язковою рекомендаційною вимогою перевірки лічильників газу. Зокрема, згідно P50-071-98 перевірка побутових лічильників газу ведеться: за максимальної витрати; за витрати, що відповідає 20 відсоткам від максимальної витрати, та за мінімальної витрати. Крім того, укомплектування пристрою датчиками контрольних параметрів, що розміщені на ємності та тільки перед лічильником газу, не дозволяє здійснити перевірку лічильника на герметичність через те, що процес перевірки проводять шляхом звіряння параметричних характеристик між ємністю, яка є еталоном, та лічильником газу. Крім того устаткування обмежено використанням як джерела робочого середовища тільки повітря і не передбачає використання газу, тобто випробовування в умовах реального середовища.

Тому необхідно створити більш досконале устаткування для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу на базі установки PVТt-типу за рахунок конструктивних змін, які передбачають застосування нових додаткових пристроїв, забезпечити підвищення точності перевірки випробувальних приладів, перевірки їх на герметичність і одночасно прискорити сам процес перевірки з розширеною можливістю використання джерел робочого середовища (повітря, газу, в т.ч. і природного).

Це можна вирішити тим, що ємність додатково оснащена зовнішньою водяною сорочкою з насосом, вентилятором та термоперетворювачем, які розміщені у внутрішній порожнині ємності, і лінія подачі газу додатково обладнана радіатором з вентилятором та термоперетворювачем, встановленими після осушувача газу зі сторони джерела робочого середовища, а випробувальна ділянка - радіатором з вентилятором та термоперетворювачем, встановленими перед стабілізатором тиску, при цьому контрольно-вимірювальне обладнання, що під'єднане до ємності, укомплектоване набором перетворювачів тиску, кожен із яких має різні верхні межі вимірювання тиску [23].

Крім того, що випробувальний прилад забезпечений додатковим контрольно-вимірювальним обладнанням, яке встановлене після випробувального приладу.

Крім того, що у лінії подачі газу передбачено використання як джерела робочого середовища повітря або газу.

Сукупність всіх наявних ознак дозволяє створити більш досконале устаткування, придатне для градування та перевірки випробувальних приладів, котре забезпечує підвищення точності перевірки випробувальних приладів. Поряд з цим за рахунок додаткової запропонованої ознаки - забезпечення випробувального приладу додатковим контрольно-вимірювальним обладнанням маємо можливість одночасно за один цикл здійснювати перевірку випробувального приладу на герметичність, що є однією з необхідних вимог перевірки, а за рахунок того, що лінія подачі газу передбачає використання як джерела робочого середовища повітря або газу

маємо можливість перевірки та перевірки випробувальних приладів в умовах реального середовища.

Так, за рахунок нових ознак, а саме оснащення ємності зовнішньою водяною сорочкою з насосом і вентилятором з термоперетворювачем, обладнання лінії подачі газу та випробувальної ділянки, кожної з них, радіатором з вентилятором та термоперетворювачем забезпечує зменшення градієнту температури між докільцям та повітрям у ємності або газом, в тому числі і природним, та перед випробувальним приладом. В результаті чого досягнуто підвищення точності результатів вимірювання - підвищення точності перевірки. При цьому зовнішня водяна сорочка з насосом і вентилятор, який розміщений у внутрішній порожнині ємності, забезпечують рівномірну температуру по всьому об'єму ємності та прискорюють швидкість доведення температури повітря чи газу у ємності до температури докільця при її заповненні.

Застосування контрольно-вимірювального обладнання у вигляді набору перетворювачів тиску забезпечує підвищення точності перевірки за рахунок налаштування кожного із перетворювачів тиску однакової точності на верхні межі вимірювання тиску у перехідних точках.

Водночас зазначені ознаки дозволяють здійснити перевірку випробувального приладу за одне заповнення ємності повітрям або газом, в тому числі і природним, за рахунок можливості у всьому діапазоні зміни тиску одержати точні результати вимірювання тиску, а значить і мірного об'єму, що прискорює процес перевірки і одночасно дозволяє за один цикл накачування повітря чи газу в балон забезпечити процес перевірки випробувальних приладів на герметичність, а можливість використання як джерела робочого середовища повітря або газу здійснювати їх перевірку та перевірку в умовах реального середовища.

Установка (рис. 2.5) укомплектоване з ємності 1 у вигляді балона із стиснутим повітрям або газом, яка оснащена зовнішньою водяною сорочкою 2 з насосом 2. У внутрішній порожнині ємності розміщені вентилятор 3 та термоперетворювач 4, і до якого, по трубопроводу 5 (лінії подачі газу) через

відсічний клапан 6 і радіатор 7 з вентилятором 8 і термоперетворювачем 7 та через осушувач газу (вологловлювач) 9, під'єднаний компресор 10 для використання як джерела робочого середовища повітря і по трубопроводу 5 через відсічний клапан 6 під'єднано джерело газу 10, а по трубопроводу 11 (випробувальній ділянці) через набір перетворювачів тиску 12, у кількості чотирьох - кожен із яких має різні верхні межі вимірювання тиску у балоні, відсічний клапан 13, радіатор 14 з вентилятором 15 та з термоперетворювачем 16 і стабілізатор тиску 17 - (балон) під'єднано випробувальний(і) прилад(и) 18, що має(ють) перетворювач(і) 19, у якому(их) об'ємна величина газу, перетворюється в електричні сигнали. При чому, як випробувальний прилад (18) застосовується один лічильник газу (витратомір) або декілька лічильників газу (витратомірів), що під'єднані послідовно.

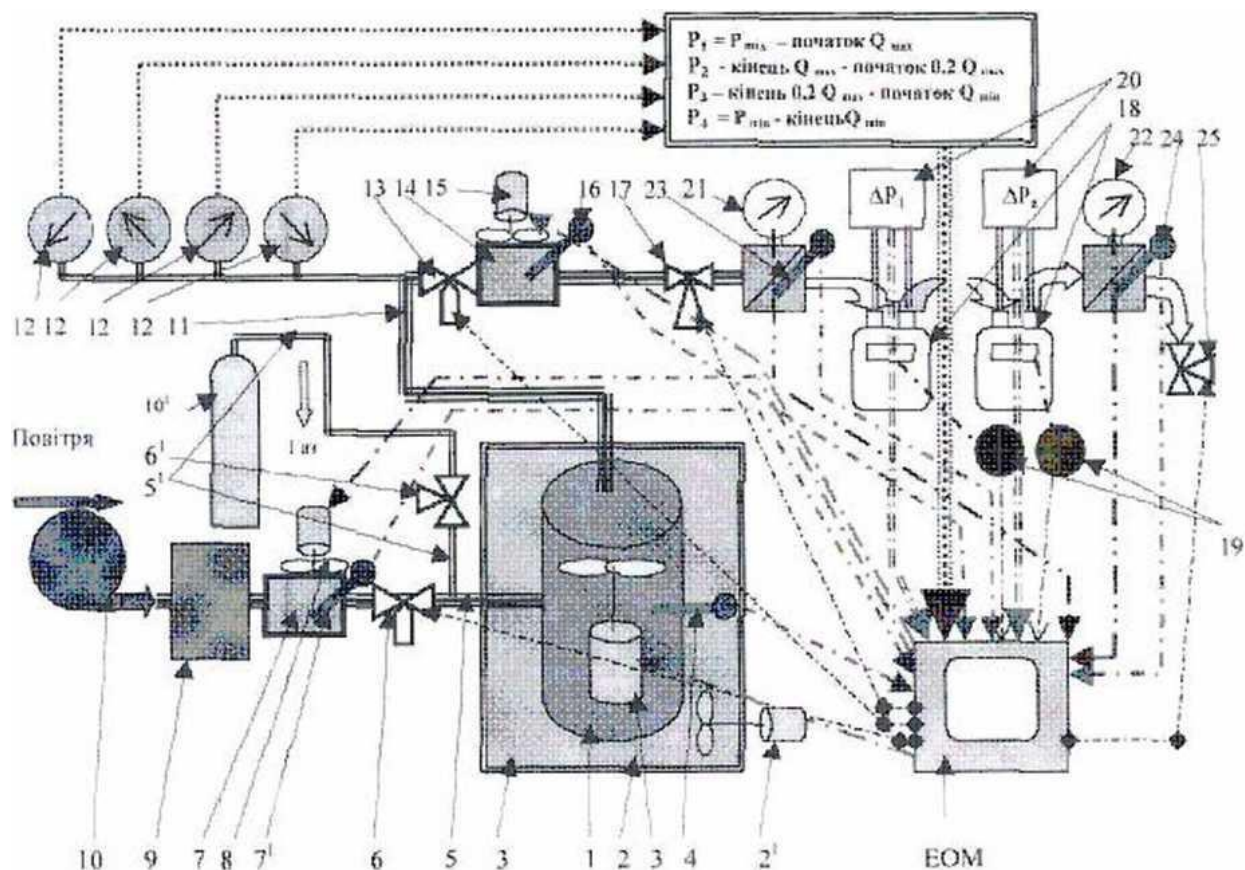


Рисунок 2.5 – Установка PVt-типу з примусовим переміщенням робочого газу з в ємності

Крім того, до випробувального приладу (18) під'єднано перепадомір 20, а на вході і на виході встановлено перетворювачі тиску 21 і 22, відповідно, поряд із якими, встановлено термперетворювачі 23 і 24, відповідно. Величина витрати в процесі перевірки для випробувального приладу (18) задається - регулятором витрати 25.

Керування устаткуванням та збирання параметричних характеристик здійснюється за допомогою персональної ЕОМ з нормуючими перетворювачами та з виконавчими механізмами.

При роботі установки заповнюється повітрям або газом, в тому числі і природним, ємність 1 у вигляді балона (надалі балон), оснащена зовнішньою водяною сорочкою 2 з насосом 2, до заданого значення тиску. Для цього за командою персональної ЕОМ відкривається відсічний клапан 6 та включається в роботу компресор 10 - при закритому відсічному клапані 13. Повітря, що подається компресором 10, поступає до осушувача газу 9, де осушується, потім до радіатора 7, у якому за допомогою вентилятора 8 з термперетворювачем 7 охолоджується, а далі через відсічний клапан 6 поступає в балон 1. У випадку використання як робочого середовища газу за командою ЕОМ відкривається відсічний клапан 6 при закритому відсічному клапані 6 і по трубопроводу 5' в балон 1 поступає газ із джерела газу 10. При цьому, в процесі заповнення балона повітрям чи газом за допомогою вентилятора 3 здійснюють постійне перемішування повітря або газу і одночасно за допомогою насоса 2 перемішують охолоджуючу рідину в зовнішній водяній сорочці 2 для прискорення часу підготовки мірного об'єму до вимірювання. Необхідність охолодження повітря в радіаторі 8 та повітря або газу в балоні 1 зумовлена тим, що при заповненні (накачуванні) балона повітрям або газом проходить його стискування і, як наслідок, підняття температури. Далі, після заповнення балона повітрям до заданого тиску за командою персональної ЕОМ виключається компресор 10 та вентилятор 8, закривається відсічний клапан 6 або при використанні газу закривається відсічний клапан 6 і фіксуються задані величини тиску і температури. Устаткування є готове до роботи.

Згодом за допомогою персональної ЕОМ подається команда на відкриття відсічного клапана 13, в наслідок чого до випробувального приладу 18 (надалі лічильника) подається повітря чи газ з робочим тиском. При досягненні на випробувальній ділянці 11 значення тиску P_{max} , закривається відсічний клапан 13, і здійснюється витримування випробувальної ділянки 11 протягом щонайменше трьох хвилин, тобто, перевірка герметичності випробувальної ділянки при P_{max} , що є вимогою Р50-71-98. Контроль зміни тиску ведеться як на вході, так і на виході лічильника, через перетворювачі тиску 21 і 22. Якщо протягом останньої хвилини тиск на випробувальній ділянці 11 не змінюється, тоді персональна ЕОМ подає команду на проведення перевірки - "перевірка лічильника".

Далі приводиться в дію (роботу) стабілізатор тиску 17, чим забезпечується перевірка лічильника - до якого подається потік повітря або газу із заданим тиском. При цьому радіатором 14 з вентилятором 15 забезпечується подання повітря чи газу із необхідною температурою. Так починається цикл перевірки.

Перевірка лічильника здійснюється шляхом миттєвого збирання параметричних показників, що фіксуються, на вході лічильника перетворювачем тиску 21 та термоперетворювачем 23, а на виході - перетворювачем тиску 22 та термоперетворювачем 24, і також на лічильнику перепадоміром 20. Поряд з цим, ведеться вимірювання тиску в балоні перетворювачами тиску 12, за допомогою яких, або через один із них, шляхом регулювання (переналадки) діапазонів вимірювання задається той чи інший визначений режим в процесі перевірки для конкретного типорозміру лічильника за допомогою персональної ЕОМ. Зокрема, перетворювачем тиску Р1 на витраті Q_{max} , перетворювачем тиску Р2 на витраті від $0,2 Q_{max}$ до Q_{min} , перетворювачем тиску Р3 на витраті $0,2 Q_{max}$ до Q_{min} і перетворювачем тиску Р4 на витраті Q_{min} . При цьому через радіатор 14 з вентилятором 15 безпосередньо стабілізатором тиску 17 забезпечується проведення перевірки в заданому режимі. Таким чином досягається процес перевірки випробувального приладу і перевірка його на герметичність за одне заповнення (накачування) балона, при чому з заданим вибором джерела робочого середовища повітря або

газу, в тому числі і природного, тобто в умовах, наближених до реального середовища експлуатації випробувальних приладів.

Однак наявність в ємності зі стиснутим газом вентилятора зумовлює зменшення об'єму газу, яким можна заповнити ємність, що приводить до звуження діапазону відтворюваних об'ємів і витрат установки. Крім того, при роботі електродвигуна вентилятора відбувається додаткове виділення тепла, яке погіршує процес стабілізації температури в ємності, що приводить до зростання тривалості процесу стабілізації температури, чим зменшується продуктивність градуювально-перевірочних робіт на установці.

Тому необхідно на базі відомого устаткування створити більш досконалу установку для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу за рахунок конструктивних змін, які передбачають застосування нових пристроїв, що дозволяє розширити діапазон відтворюваних об'ємів та витрат установки і водночас збільшити продуктивність градуювально-перевірочних робіт на ній.

Це можна реалізувати тим, що пристрій перемішування газу у внутрішній порожнині ємності виконаний у вигляді вузла для аксіального закручування потоку газу, який розміщений у лінії подачі газу на ділянці її під'єднання до ємності із стиснутим газом [26].

За рахунок обладнання лінії подачі газу вузлом аксіального закручування потоку досягається надання спіралеподібного руху частинкам робочого середовища, чим досягається додаткова турбулізація потоку у лінії подачі газу, що сприяє покращенню його перемішування. Водночас розміщення вузла закручування потоку на ділянці під'єднання лінії подачі газу до ємності із стиснутим газом дозволяє здійснювати перемішування газу безпосередньо у ємності. Завдяки цим факторам зменшується тривалість процесу стабілізації температури у ємності і підвищується продуктивність градуювально-перевірочних робіт. Крім того, розміщення вузла закручування потоку у лінії подачі газу, а не у ємності із стиснутим газом, приводить до збільшення її корисного об'єму, чим досягається розширення діапазону відтворюваних установкою об'ємів і витрат газу. Поряд з цим, відсутність у ємності вентилятора усуває додаткове тепловиділення у ній від роботи електродвигуна,

що також сприяє зменшенню тривалості процесу стабілізації температури в ємності і підвищенню продуктивності градуювально-перевірочних робіт на установці.

На рис. 2.6 зображена схема установки для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу. Установка включає ємність 1 із стиснутим газом (повітря або робочий газ) з лінією подачі газу 2, у якій на ділянці її під'єднання до ємності 1 розміщений вузол 3 для аксіального закручування потоку газу. Ємність 1 оснащена зовнішньою водяною сорочкою 4 з насосом 5, а також двома вхідними трубопроводами 6 і 7 для подачі повітря або робочого газу, які під'єднані до лінії 2 подачі газу у ємність 1. Трубопровід 6 (лінія подачі повітря) через відсічний клапан 8, стабілізатор температури 9 та осушувач повітря (вологовловлювач) 10, під'єднаний до компресора 11 для використання останнього як джерела робочого середовища повітря, а трубопровід 7 (лінія подачі робочого газу) через відсічний клапан 12 під'єднаний до джерела робочого газу 13. За допомогою вихідного трубопроводу 14 (випробувальна ділянка) через відсічний клапан 15, стабілізатор температури 16 і стабілізатор тиску 17 ємність під'єднана до одного або декількох послідовно під'єднаних випробувальних приладів (ВП1 ВП2...ВПп) 18 (лічильників або витратомірів газу), що мають перетворювачі 19, у яких значення відміряного об'єму або витрати газу перетворюється в електричні сигнали.

Для задавання величини відтворюваної витрати газу в процесі градуювання та перевірки випробувальних приладів 18 на виході випробувальної ділянки 14 встановлений регулятор витрати 20. Крім того, установка споряджена контрольно-вимірювальним обладнанням у вигляді давачів тиску і температури у трубопроводах подачі повітря 21, 22 і робочого газу 23, 24, у ємності високого тиску 25, 26, у випробувальній ділянці перед 27, 28 і після 29, 30 випробувальних приладів. При цьому кожен з давачів обладнаний нормуючим перетворювачем. Керування роботою вузлів установки та збирання параметричних характеристик здійснюється за допомогою ПЕОМ, під'єднаної до нормуючих перетворювачів та виконавчих механізмів.

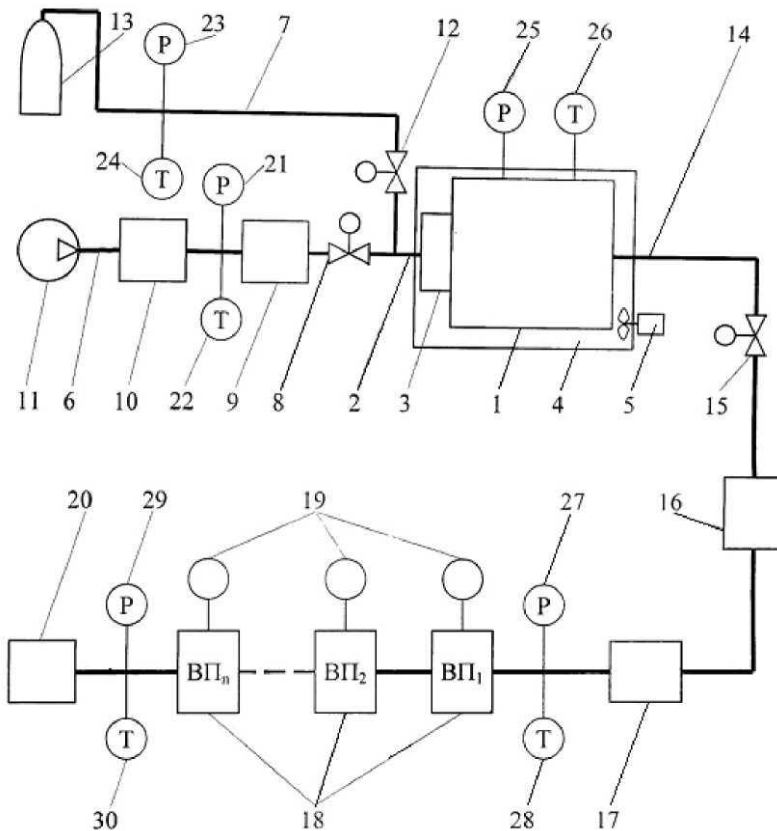


Рисунок 2.6 – Схема установки на базі ємності високого тиску із завихрювачем вхідного потоку

Установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу працює таким чином. Попередньо ємність 1 заповнюється повітрям або робочим газом до заданого значення тиску. Для цього при заповненні повітрям відкривається відсічний клапан 8 та включається компресор 11, повітря від якого осушується за допомогою осушувача 10, охолоджується в стабілізаторі температури 9, а далі через вузол для аксіального закручування потоку газу 3 поступає в ємність 1. В результаті закручення потоку газу досягається необхідне перемішування робочого середовища, внаслідок чого усувається градієнт температури в мірному об'ємі ємності. При використанні як робочого середовища робочого газу відкривається відсічний клапан 12 і від джерела робочого газу 13 по трубопроводу 7 через вузол 3 газ поступає в ємність 1.

В процесі заповнення ємності повітрям чи робочим газом, за допомогою насоса 5 здійснюється перемішування охолоджуючої рідини у водяній сорочці 4 для прискорення часу підготовки мірного об'єму до вимірювання.

Після заповнення ємності повітрям до заданого тиску компресор 11 виключається, закривається відсічний клапан 8 (або при використанні робочого газу - відсічний клапан 12) і фіксують значення тиску та температури у ємності. Установка готова до роботи.

Згодом ПЕОМ за допомогою нормуючих перетворювачів і виконавчих механізмів задають необхідний тиск перед випробувальними приладами 18 і режим роботи регулятора витрати 20, які відповідають вибраним умовам градування або перевірки приладів 18. Після цього відкривається відсічний клапан 15, завдяки чому стабілізатор тиску 17 приводиться в роботу і забезпечується потік робочого газу або повітря до випробувальних приладів 18. Таким чином починається цикл градування або перевірки приладів 18. Водночас, перетворювачами 25, 26 фіксуються значення тиску і температури у ємності 1, а перетворювачами 19, 27-30 - вимірювальна інформація з випробувальних приладів 18 за певний проміжок часу, котрі опрацьовує ПЕОМ. Після завершення вибраної тривалості пропускання газу через випробувальні прилади 18 клапан 15 закривається, що свідчить про закінчення випробувального циклу. Обробка значень контрольно-вимірювальних параметрів у ємності 1 і з випробувальних приладів 18 згідно відповідних відомих алгоритмів дає можливість визначити метрологічні характеристики досліджуваних витратомірів або лічильників газу.

Таким чином, досягається градування або перевірка випробувальних приладів шляхом порівняння розрахованих значень витрати або об'єму газу та витрати або об'єму газу, що вимірюються досліджуваними приладами.

Подальший цикл градування або перевірки продовжують аналогічним чином до одержання необхідного числа контрольних точок згідно необхідних значень контрольованих витрат газу.

Запропонована установка характеризується простим конструктивним рішенням, завдяки якому досягається ефективно перемішування робочого середовища в ємності високого тиску і, відповідно, усунення градієнта температури в ній. В свою чергу, це позитивно впливає на зменшення похибки установки в процесі градування і перевірки випробувальних приладів. Це

відкриває можливості для підвищення точності її метрологічної атестації і сприяє покращенню метрологічного забезпечення витратомірів і лічильників газу.

3. МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ЄМНОСТІ ВИСОКОГО ТИСКУ

3.1. Метрологічна модель повірочної установки РVTt-типу

Враховуючи велику кількість алгоритмів функціонування повірочних установок з ємністю під тиском для розроблення ММ вибраний алгоритм (2.8), який проаналізовано в [20].

З метою вивчення впливу різних факторів на точність функціонування установок РVTt-типу проведена декомпозиція їх допустимої похибки, яка подана у вигляді метрологічної моделі, структурно-графічне зображення якої подано на рис. 3.1.

Основними складовими сумарної допустимої похибки установки δ будуть:

δ_{r0} – похибка калібрування ємності, яка складається з НСП Θ_{r0} і СКВ випадкової похибки S_{r0} ;

Θ_{P1} , Θ_{T1} , Θ_{Z1} – НСП визначення абсолютного тиску, абсолютної температури, ФС на початку відтворення контрольного об'єму газу відповідно;

Θ_{P2} , Θ_{T2} , Θ_{Z2} – НСП визначення абсолютного тиску, абсолютної температури, ФС в кінці відтворення контрольного об'єму газу відповідно;

Θ_{P3} , Θ_{T3} , Θ_{Z3} – НСП визначення абсолютного тиску, абсолютної температури, ФС на ДП під час протікання через нього контрольного об'єму газу відповідно;

$\Theta_{ВП}$ – НСП від наявності водяної пари у робочому газі установки;

$\Theta_{\bar{P}}$, $\Theta_{\bar{T}}$ – НСП від нестабільності тиску і температури перед ДП при відтворенні установкою контрольного об'єму газу;

Θ_I – НСП системи збору і обробки вимірювальної інформації, яка складається із похибки $\Theta_{д}$ дискретності відліку інформації з ДП і похибки $\Theta_{ОІ}$ ПЕОМ при реалізації алгоритму (2.8).

В залежності від алгоритму функціонування повірочної установки вказані складові формують похибки δ_q , δ_q^- , δ_r , які визначають її МХ при вимірюванні миттєвої витрати, усередненої витрати і об'єму газу відповідно, композиції

складових яких є очевидними з наведеної ММ на рис. 3.1. При цьому похибка δ_q буде визначатися систематичною Θ_q і випадковою S_q складовими, які оцінюють нестабільність відтворювання миттєвих витрат. Похибка δ_q^- буде визначатися складовою δ_r і НСП Θ_τ відліку тривалості осереднення миттєвої витрати.

За результатами метрологічних досліджень і алгоритмів визначення складових похибки, наприклад, похибки визначення ФС, похибки системи збору вимірювальної інформації та ін. здійснюється кількісна оцінка складових похибки повірочної установки для кожного режиму її роботи (відтворення миттєвої витрати, усередненої витрати, об'єму газу). Потім реалізується сумування складових похибки.

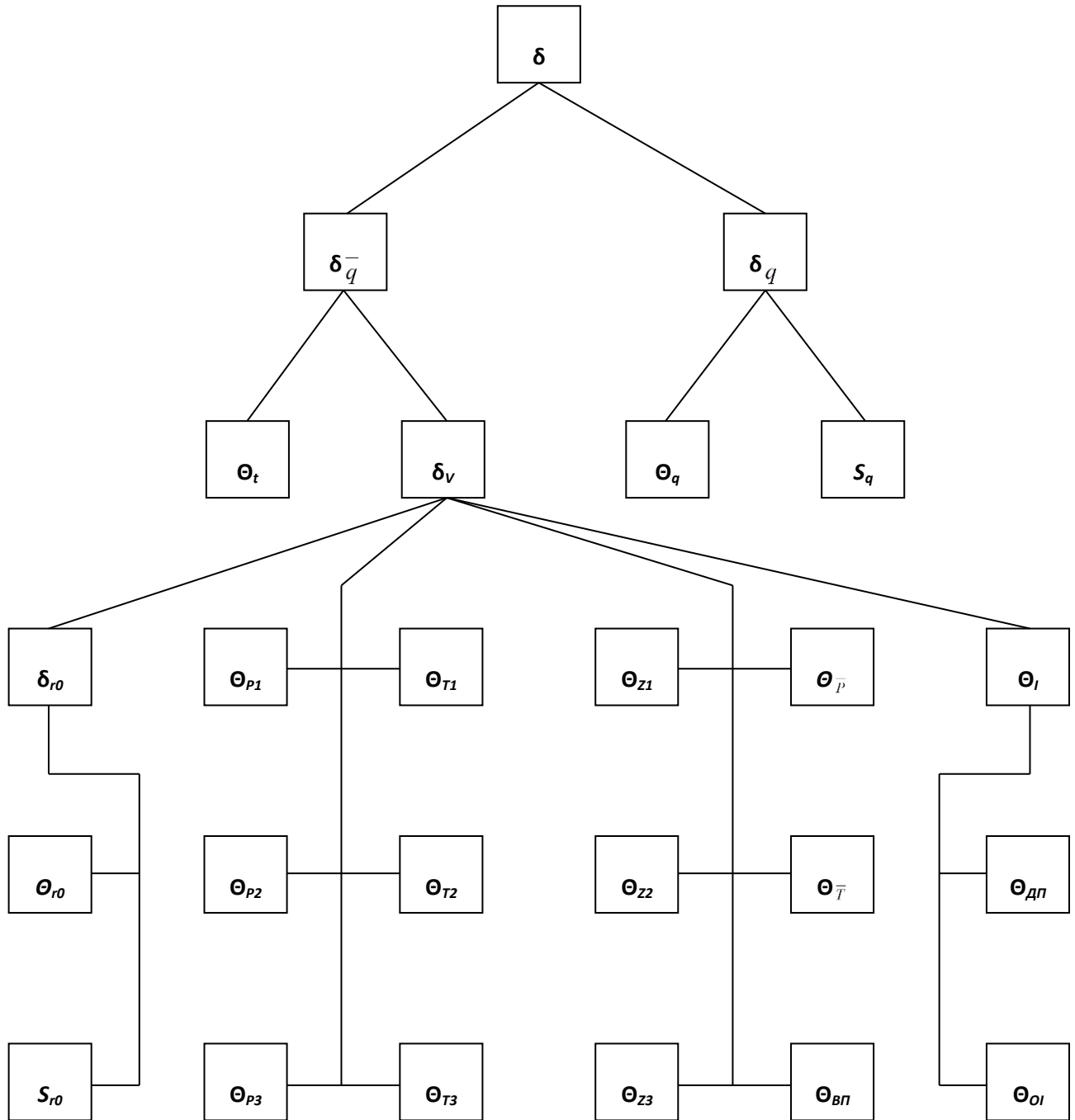


Рисунок 3.1 – Метрологічна модель повірочної установки PVTt-типу

3.2 Дослідження похибки від вологості повітря в повірочних установках PVTt-типу

Аналіз впливу вологості повітря на зміну його коефіцієнта стисливості здійснено виходячи з міркувань розгляду робочого середовища як двохкомпонентного, одним із яких є відома пара. Для цього застосовувався алгоритм:

$$K = (p_{\text{СП}} \cdot K_{\text{СП}} + p_{\text{ВП}} \cdot K_{\text{ВП}}) / p, \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнта стисливості вологого повітря; $p_{\text{СП}}$, $p_{\text{ВП}}$, $K_{\text{СП}}$, $K_{\text{ВП}}$ – парціальний тиск і КС сухого повітря і водяної пари відповідно; p – абсолютний тиск в каліброваній ємності.

Значення тиску $P_{\text{ВП}} = \varphi \cdot P_{\text{ВПmax}}$ (де $P_{\text{ВПmax}}$ – парціальний тиск насиченої водяної пари) визначалося з врахуванням діапазону робочих тисків у ємності, а також можливої відносної вологості φ повітря, яке подається в ємність.

Тиск $p_{\text{СП}}$ розраховувався як різниця тисків p і $p_{\text{ВП}}$, а значення коефіцієнтів $K_{\text{СП}}$, $K_{\text{ВП}}$ визначалися для різних значень тиску і температури робочого середовища в ємності і перед ДП.

За результатами чисельного аналізу встановлено, що волога сприяє зростанню коефіцієнта стисливості і наближенню його до одиниці. При цьому її вплив зростає як із збільшенням температури, так і із збільшенням тиску.

При максимальних робочих тисках 1,0 МПа і температурах 303 К для відносної вологості повітря до 80% різниця значень коефіцієнта стисливості вологого і сухого повітря не перевищує 0,005%, однак це може зумовити появу додаткової складової похибки установки в межах (0,003...0,015)%. Крім того, проведені дослідження показали, що в установках PVTt-типу необхідно враховувати похибку від конденсації і випаровування водяної пари в каліброваній ємності.

3.3 Метрологічна модель повірочної установки PVTt-типу з використанням теорії невизначеності у вимірюваннях

Метрологічна модель установки PVTt-типу на базі теорії невизначеності наведена на рис. 3.2.

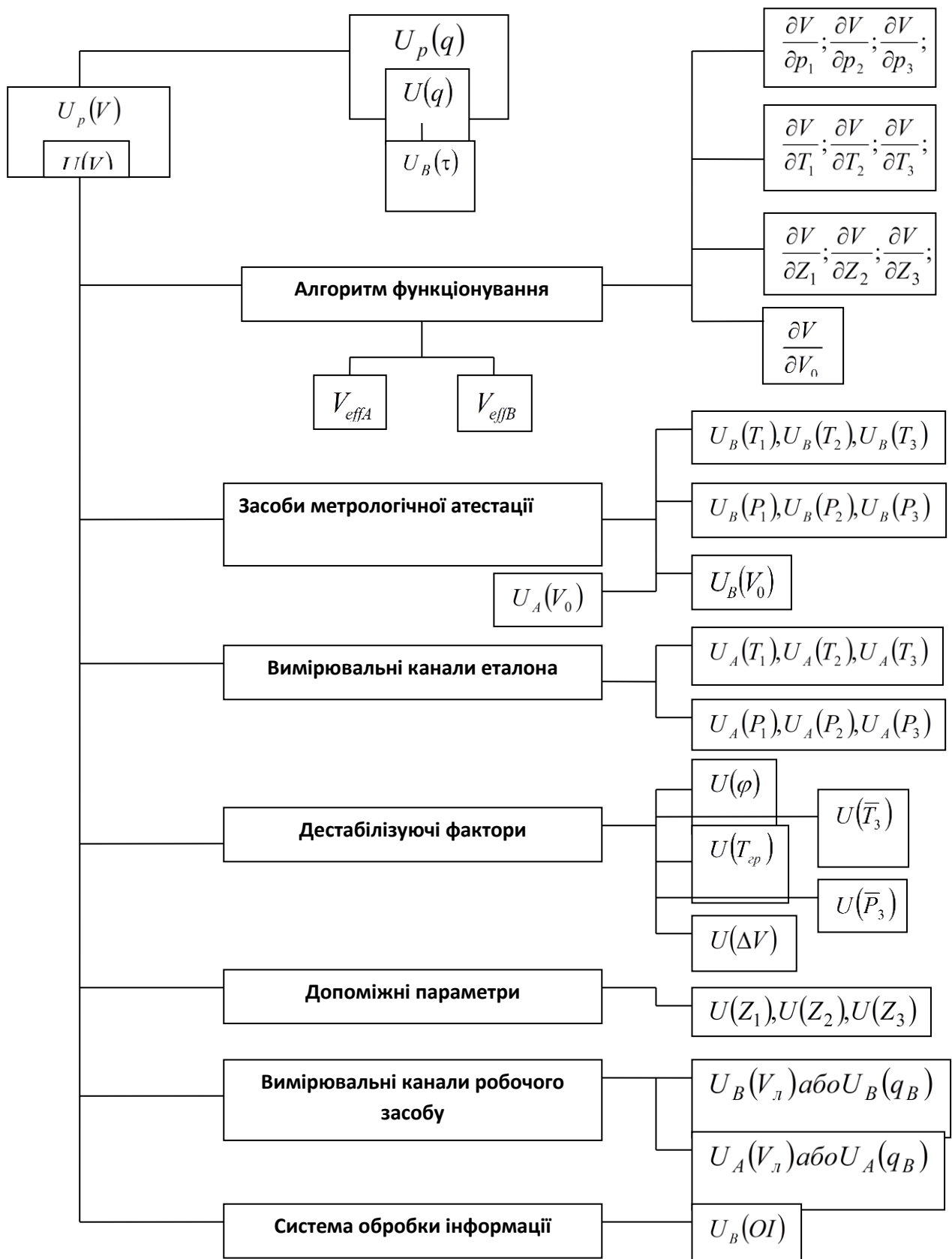


Рисунок 3.2 – Метрологічна модель повірочної установки PVTt – типу з використанням теорії невизначеності

В теоретичному плані є відомими алгоритми функціонування установок з ємністю під тиском (PVTt-типу), які передбачають витікання газу із ємності через випробувальну ділянку з досліджуваним лічильником газу (ЛГ) і вимірювання тиску і температури в ємності та перед ЛГ. При цьому витікання газу із ємності проводять впродовж певного проміжку часу Δt , при якому відбувається зниження тиску в ємності від значення p_1 до p_2 .

Використання основного рівняння стану реального газу, передбачає реалізацію такого алгоритму розрахунку витрати газу через ЛГ:

$$q = \frac{V_0}{\Delta t} \left(\frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1} - \frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2} \right) \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3}, \quad (3.2)$$

де q – об’ємна витрата через ЛГ; V_0 – об’єм каліброваної ємності; Δt – час протікання газу через ЛГ; $P_1, T_1, Z_1; P_2, T_2, Z_2; P_3, T_3, Z_3$ - абсолютний тиск, абсолютна температура і фактор стисливості газу в ємності на початку і в кінці витікання газу та у випробувальній ділянці перед ЛГ відповідно.

За умови припущення стабільного значення відтворюваної об’ємної витрати q , формула для визначення еталонного об’єму газу V_{GM} який пройшов через лічильник буде наступною:

$$V_{GM} = q \cdot \Delta t. \quad (3.3)$$

Підставивши (3.2) у формулу (3.3) отримаємо :

$$V_{GM} = V_0 \left(\frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1} - \frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2} \right) \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3}. \quad (3.4)$$

Метрологічна модель на базі теорії невизначеності містить стандартні невизначеності типу А і В, які в своїй комбінації будуть формувати сумарну і розширену невизначеності установки.

Невизначеності типу А визначаються параметрами, які підлягають експериментальному вивченню під час метрологічних досліджень, зокрема: об’єм каліброваної ємності високого тиску; тиск газу, температура газу; нестабільність тиску і температури перед ЛГ; наявність градієнта температури в ємності.

Невизначеності типу В формуються стандартними невизначеностями використаних засобів вимірювальної техніки, а також невизначеністю

параметрів, що визначаються розрахунково, зокрема, фактора стисливості робочого середовища. Крім того, додаткову методичну похибку можуть вносити наявність водяної пари в робочому середовищі, дискретність пристрою збору вимірювальної інформації з ЛГ.

За участю авторів запропоновано ряд технічних вдосконалень цього типу установок, що дозволяє підвищити їх точність і зменшити складові невизначеності. Так, наприклад, для зменшення градієнта температури в ємності, згідно патенту [26], пропонується при подачі газу в ємність застосовувати вузол для аксіального закручування потоку газу. Для зменшення похибки установки від нестабільності тиску і температури перед ЛГ, згідно патенту [22], разом з конструктивним вдосконалення інформаційно-вимірювальної системи установки, пропонується вдосконалення пристроїв керування режимом стабілізації газодинамічних параметрів перед досліджуваним ЛГ. Також згідно [22] для зменшення похибки від наявності водяної пари в робочому середовищі доцільним є додаткове оснащення лінії подачі газу осушувачем газу.

Тому для розроблення моделі розрахунку невизначеності зупинимося на методичному дослідженні алгоритму передавання одиниці об'єму газу, що поданий формулою (3.4), за умови функціонування установки на повітрі.

Для оцінювання сумарної та розширеної невизначеності еталонного об'єму газу V_{GM} , який пройшов через досліджуваний лічильник, слід попередньо оцінити невизначеності всіх складових величин, що входять у вираз (3.4).

Розглянемо невизначеність вимірювання об'єму каліброваної ємності V_0 .

Невизначеність типу А оцінюється виразом:

$$u_A(V_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_{0i} - \bar{V}_0)^2}{n(n-1)}}, \quad (3.5)$$

де V_{0i} - об'єм каліброваної ємності при i -му вимірюванні; \bar{V}_0 - середнє арифметичне значення об'єму каліброваної ємності при n вимірюваннях.

Невизначеність типу В формується метрологічними характеристиками використаних засобів вимірювальної техніки. При цьому приймається

рівномірний закон розподілу результатів вимірювання. Тому, невизначеність оцінюватиметься виразом:

$$u_B(V_0) = \frac{\delta_{V_0}}{\sqrt{3}}, \quad (3.6)$$

де δ_{V_0} - гранична основна допустима похибка еталонного мірника рідини, який використовується для калібрування ємності V_0 .

Сумарна невизначеність вимірювання об'єму каліброваної ємності визначається наступним чином:

$$u_C(V_0) = \sqrt{u_A(V_0)^2 + u_B(V_0)^2}. \quad (3.7)$$

Оцінювання сумарних невизначеностей результатів вимірювання абсолютного тиску в ємності $u_C(P)$ на початку і в кінці витікання газу перед ЛГ P_1, P_2, P_3 відповідно, а також невизначеності вимірювання температури в ємності $u_C(T)$ на початку і в кінці витікання газу та у перед ЛГ T_1, T_2, T_3 відповідно, здійснюється аналогічно за алгоритмом (3.5)-(3.7).

Для оцінювання невизначеності розрахунку фактора стисливості газу в ємності на початку z_1 і в кінці витікання газу z_2 та перед ЛГ z_3 слід оцінити невизначеність типу В, оскільки даний коефіцієнт визначається розрахунковим методом, а не за результатами вимірювання.

Згідно [10] для визначення фактора стисливості газу може бути використана наступна апроксимаційна залежність:

$$Z = 0,99963 - P(0,045955 - 0,000141 \cdot T), \quad (3.8)$$

де P, T – абсолютний тиск і температура повітря в установці.

Тому складовою сумарної невизначеності буде невизначеність від апроксимації залежності (3.8).

Розглянемо методику оцінювання невизначеності фактора стисливості газу z_1 в ємності на початку витікання газу.

Для оцінювання невизначеності фактора стисливості газу слід встановити вирази для оцінювання вагових коефіцієнтів впливу складових, що входять у (3.8). Зокрема на початку витікання газу при абсолютному тиску P_1 та температурі T_1 в ємності, отримуємо:

$$\frac{\partial Z_1}{\partial P_1} = 0,000141 \cdot T_1 - 0,045955 ; \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial Z_1}{\partial T_1} = 0,000141 \cdot P_1 . \quad (3.10)$$

Сумарна невизначеність визначення фактора стисливості газу Z_1 в ємності на початку витікання газу:

$$u_C(Z_1) = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_1}{\partial P_1} u_C(P_1)\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_1}{\partial T_1} u_C(T_1)\right)^2 + u_{apr}^2} , \quad (3.11)$$

де $u_C(P_1)$, $u_C(T_1)$ - сумарні невизначеності результату вимірювання абсолютного тиску P_1 і температури T_1 на початку витікання газу відповідно; u_{apr} - невизначеність апроксимації виразу (3.8).

Оцінювання невизначеності факторів стисливості газу Z_2 та Z_3 за робочих умов установки здійснюється аналогічно за алгоритмом (3.8)-(3.11).

При оцінюванні сумарної невизначеності об'єму газу V_{GM} , який пройшов через лічильник, запишемо вирази для оцінювання вагових коефіцієнтів впливу складових, що входять у (3.4):

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial V_0} = \left(\frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1} - \frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2}\right) \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_1} = \frac{V_0}{T_1 \cdot Z_1} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_1} = -\frac{V_0 \cdot P_1}{T_1^2 \cdot Z_1} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.14)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_1} = -\frac{V_0 \cdot P_1}{T_1 \cdot Z_1^2} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.15)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_2} = -\frac{V_0}{T_2 \cdot Z_2} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_2} = \frac{V_0 \cdot P_2}{T_2^2 \cdot Z_2} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.17)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_2} = \frac{V_0 \cdot P_2}{T_2 \cdot Z_2^2} \cdot \frac{T_3 \cdot Z_3}{P_3} ; \quad (3.18)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_3} = \frac{V_0 \cdot T_3 \cdot Z_3}{P_3^2} \cdot \left(\frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2} - \frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1}\right) ; \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_3} = \frac{V_0 \cdot Z_3}{P_3} \cdot \left(\frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1} - \frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2}\right) ; \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_3} = \frac{V_0 \cdot T_3}{P_3} \cdot \left(\frac{P_1}{T_1 \cdot Z_1} - \frac{P_2}{T_2 \cdot Z_2} \right). \quad (3.21)$$

Сумарну невизначеність при функціонуванні установки в режимі відтворення об'єму з врахуванням основних положень теорії невизначеності у вимірюваннях обчислюємо за формулою:

$$u_C(V_{GM}) = \sqrt{\left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial V_0} \cdot u_C(V_0) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_1} \cdot u_C(P_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_1} \cdot u_C(T_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_1} \cdot u_C(Z_1) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_2} \cdot u_C(P_2) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_2} \cdot u_C(T_2) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_2} \cdot u_C(Z_2) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial P_3} \cdot u_C(P_3) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial T_3} \cdot u_C(T_3) \right)^2 + \left(\frac{\partial V_{GM}}{\partial Z_3} \cdot u_C(Z_3) \right)^2} \quad (3.22)$$

Розширену невизначеність обчислюють за формулою:

$$U_P(V_{GM}) = k_0 \cdot u_C(V_{GM}). \quad (3.23)$$

де k_0 – коефіцієнт охоплення, який формує числове значення розширеної невизначеності для відповідної вибраної довірчої ймовірності.

Застосування чисельного моделювання характеризує, що розширена невизначеність установок при правильному виборі еталонних засобів та вимірювальних перетворювачів може знаходитися в межах $\pm(0.25 \dots 0.45)\%$, чим обґрунтовується можливість їх застосування як робочих еталонів.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз еталонних установок, які можуть бути реалізовані як повірочні для лічильників і витратомірів газу. Показано, що на практиці знаходять застосування різні типи повірочних установок і первинних еталонів для забезпечення єдності вимірювань об'єму і об'ємної витрати газу.

Розглянуто принцип дії і особливості функціонування еталонних установок на базі ємності високого тиску. Здійснено моделювання фізичних процесів в цих установках для підвищення їх точності функціонування.

Досліджено напрямки вдосконалення і тенденції розвитку цього типу еталонних установок.

Проведені метрологічні дослідження установок на базі ємності високого тиску з використанням теорії похибок і теорії невизначеності.

Застосування чисельного моделювання характеризує, що розширена невизначеність установок при правильному виборі еталонних засобів та вимірювальних перетворювачів може знаходитися в межах $\pm(0.25 \dots 0.45)\%$, чим обґрунтовується можливість їх застосування як робочих еталонів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Облік природного газу : довідник / М.П. Андріїшин, О.Є. Середюк, С.А. Чеховський [та ін.] / за ред. С.А. Чеховського. Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. - 180с.
2. Szegolowa Instrukcja obsługi Stanowiska pomiarowego do gasu SG-5 (60000dm³).-Warschawa: PKNM, 1970, NM 22– 546. – 98s.
3. Бродин І.С., Середюк О.Є. Дзвонова витратомірна установка / Проспект МВССО УРСР: Івано-Франківський інститут нафти і газу. - Київ: Реклама, 1989. – 4с.
4. Державний спеціальний еталон одиниці об'єму та об'ємної витрати газу / І.С.Бродин, І.С.Петришин, А.Г.Бестелесний, П.І.Дикий // Український метрологічний журнал. – 1997. – №3. – С.31–34.
5. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383-96. – [Чинний від 1999-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1996. – II, 5 с. – (Державний стандарт України).
6. Вимірювання витрати та кількості газу: довідник / [М.П.Андріїшин, С.О.Канєвський, О.М.Карпаш, Я.С.Марчук, І.С.Петришин, А.А.Руднік, О.Є.Середюк, С.А.Чеховський]; за ред. О.М.Карпаша – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2004. – 160 с.
7. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки: Р50-071-98. – [Чинний від 1998-03-27]. – К.: Держстандарт України, 1998. – III, 20 с. – (Рекомендації).
8. Говдяк Р.М. Дмитринко І.І. Вілінський О.І. Сучасні засоби вимірювання для комерційного обліку витрати газу на газовимірювальних станціях. // Нафтова і газова промисловість. 1998, № 3. С.44-45.
9. Воцинський В.С., Іроденко В.В., Воцинський В.В. Установка з еталонами об'єму газу типу УПЛГ-2500 // Методи та прилади контролю якості. 1999, №4. С.104-106.
10. Шишко Г.Г., Енин П.М. Учет расхода газа – К.: Урожай, 1983. – 312 с.

11. Jongerins P.F.M. Calibration facilities for industrial gas flow meters in the Netherlands / P.F.M. Jongerins, M.P. van der Beek, J.G.M. van der Grinten. // Flow Meas. Instrum. – 1993. – №2. – P.77– 84.

12. Бродин И.С. Объемные дискретно-динамические системы метрологического обеспечения измерений расхода газа // Приборы и системы управления. – 1978. – №8. – С.26–28.

13. Pursley W.C. The Calibration of flowmeters / W.C. Pursley // Meas. And Contr. – 1986. – Vol.19, №5. – P.37–45

14. Arnberg B. Colorado facility proves high flow rate meter / B. Arnberg // Pipe Line Ind. – 1971. – Vol.35, №3. – P.43–45.

15. John D. Wright. Flow Calibration Services at NIST / John D. Wright, Pedro I. Espina // National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg, USA – 2004. – P.10

16. John D.Wright. What is the “Best” Transfer Standard for Gas Flow? / John D.Wright // www.cstl.nist.gov.

17. Пат. 2121137 С1 Российская Федерация, МПК 6 G01F25/00. Способ градуировки и поверки расходомеров газа / Куршин А.П., Зубарев Н.С.; заявитель Центральный аэрогидродинамический ин-т им. проф. Н.Е. Жуковского; патентообладатель Куршин А.П. – № 96109540/28; заявл. 15.05.96; опубл.27.10.98. -4с.

18. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383: 2007.– [Чинний від 2007-07-01; на заміну ДСТУ 3383-96].– К.: Держспоживстандарт України, 2007. – III, 9 с. – (Національний стандарт України).

19. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу: ДСТУ 3383: 2015.– [Чинний від 2016-01-01; на заміну ДСТУ 3383:2007].– К.: Держспоживстандарт України, 2015. – II, 5 с. – (Національний стандарт України).

20. Середюк О.Є. Вдосконалення витратовимірювальних повірочних установок на базі ємності високого тиску // Методи та прилади контролю якості – 2004. - №12. – С. 51–56.

21. Пат. 62268 С2 Україна, МПК (2006) G 01 F 25/00. Спосіб градування та вивірення витратомірів і лічильників газу / Середюк О.Є.; заявник і патентовласник Середюк О.Є. – №2003021415; заявл. 18.02.03; опубл. 16.10.06, Бюл. №10.

22. Пат. 64734 С2 Україна, МПК 7 G 01 F 25/00. Устаткування для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / Прудніков Б.І., Середюк О.Є.; заявники і патентовласники Прудніков Б.І., Середюк О.Є. – № 99063426; заявл. 18.06.99; опубл. 15.03.04, Бюл. №3.

23. Пат. на кор. модель 4851 U Україна, МПК 7 G01F25/00. Устаткування для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / Довган Л.Р., Прудніков Б.І., Коляджин І.М. [та ін.]; заявник і патентовласник ВАТ по газопостачанню та газифікації «Івано-Франківськгаз». – № 2004042444; заявл. 01.04.04; опубл. 15.02.05, Бюл. №2. – 4с.

24. Пат. 27565 U Україна, МПК (2006) G 01 F 25/00. Установа для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / Середюк О.Є., Костинюк В.В., Прудніков Б.І.; заявник і патентовласник Івано-Франківський націон.техн. ун-т нафти і газу. – № u200705894; заявл. 29.05.07; опубл. 12.11.07, Бюл. №18.