

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій

Кисіль В'ячеслав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 006.91:681.121.089

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Метрологічні дослідження дзвонових еталонних установок для
підвищення точності повірки лічильників газу**

(назва роботи)

Метрологія та вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

(шифр і назва спеціальності)

В. Ю. Кисіль

(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**

Кисіль В'ячеслав Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метрологічні дослідження дзвонових еталонних установок для підвищення точності повірки лічильників газу

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

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

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

2. Строк подання студентом роботи 20.02.2024

3. Вихідні дані до роботи тип досліджуваних лічильників газу – побутові, мембранного типу; вид еталонних установок – дзвонового типу; діапазон вимірюваних витрат – до 250м³год.

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

1. Аналіз принципу дії, метрологічних і експлуатаційних характеристик дзвонових еталонних установок

2. Моделювання фізичних процесів в дзвонових еталонних установках для підвищення їх точності

3. Розроблення технічних і метрологічних рішень для підвищення точності дзвонових еталонних установок

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

1. Моделювання гідродинамічних процесів у дзвонових еталонних установках

2. Дослідження впливу нестабільності вертикального положення дзвона на метрологічні характеристики еталонних установок

3. Схема установки із зменшенням впливу випаровування замкової рідини

4. Схема установки із стабілізованим рівнем рідини витіснювача

5. Визначення довірчих границь похибки вимірювання одиниць об'єму газу

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 принципу дії, метрологічних і експлуатаційних характеристик дзвонових еталонних установок</i>	<i>05.01.2024</i>	
2.	<i>Моделювання фізичних процесів в дзвонових еталонних установках для підвищення їх точності</i>	<i>25.01.2024</i>	
3.	<i>Розроблення технічних і метрологічних рішень для підвищення точності дзвонових еталонних установок</i>	<i>10.02.2024</i>	
4.	<i>Оформлення магістерської роботи</i>	<i>20.02.2024</i>	

Студент _____ **Кисіль В.Ю.**

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

Середюк О.Є.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 72 с., 12 рис., 5 табл., 20 джерело., 5 аркушів ілюстрацій.

Метою дослідження магістерської роботи є розв'язання науково-практичного завдання, яке стосується розроблення і метрологічних досліджень дзвонової еталонної 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 дзвонових установок для підвищення їх точності, чим буде досягнуто підвищення точності повірки лічильників газу.

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

Предметом дослідження є еталонні установки дзвонового типу.

Методи досліджень базуються на використанні математичного моделювання фізичних процесів у дзвоновій еталонній установці і застосування теорії похибок для оцінювання метрологічних характеристик еталонної установки.

Новизна магістерської роботи полягає у теоретично-прикладному дослідженні фізичних і метрологічних моделей еталонної установки дзвонового типу.

ЕТАЛОННА УСТАНОВКА, ДЗВІН, ЕТАЛОННИЙ МІРНИК, ЛІЧИЛЬНИК ГАЗУ, ГІДРОДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ, ПОХИБКА, СТАБІЛІЗАЦІЯ ДЗВОНА, РІВЕНЬ РІДИНИ ВИТІСНЮВАЧА.

ABSTRACT

Master's thesis: 72 p., 12 fig., 5 tab., 20 source., 5 sheets of illustrations.

The goal of the research of the master's thesis is to solve a scientific and practical task, which concerns the development and metrological studies of a bell reference unit for evaluating the metrological characteristics of natural gas meters and flowmeters.

The task of the research is to analyze the known methods and principles of creating reference units and to carry out on this basis a study of directions for improving bell units to increase their accuracy, which will achieve an increase in the accuracy of checking gas meters.

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

The subject of the study is bell-type reference installations.

Research methods are based on the use of mathematical modeling of physical processes in the bell reference installation and the application of error theory to evaluate the metrological characteristics of the reference installation.

The novelty of the master's work consists in the theoretical and applied research of physical and metrological models of the bell-type reference installation.

REFERENCE SETUP, BELL, REFERENCE GAUGE, GAS METER, HYDRODYNAMIC PROCESSES, ERROR, BELL STABILIZATION, DISPLACEMENT FLUID LEVEL.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1. Аналіз принципу дії, метрологічних і експлуатаційних характеристик дзвонових еталонних установок.....	9
1.1 Принцип дії та будова дзвонових еталонних установок.....	9
1.2 Технічні та метрологічні характеристики дзвонової еталонної установки моделі ІФГАЗ-2.....	13
1.3 Алгоритм функціонування і програмне забезпечення дзвонових еталонних установок.....	15
2. Моделювання фізичних процесів в дзвонових еталонних установках для підвищення їх точності.....	29
2.1 Моделювання гідродинамічних процесів у дзвонових еталонних установках.....	29
2.2 Дослідження впливу нестабільності вертикального положення дзвона на метрологічні характеристики еталонних установок.....	37
3 Розроблення технічних і метрологічних рішень для підвищення точності дзвонових еталонних установок.....	43
3.1 Дзвонова установка із зменшенням впливу випаровування замкової рідини	43
3.2 Дзвонова установка із стабілізованим рівнем рідини витіснювача....	49
3.3 Метод підвищення точності оцінювання об'єму дзвона.....	53
3.4 Дзвонова установка неперервної дії.....	56
3.5 Дзвонова установка з вдосконаленою контрольною лінійкою.....	61
3.6 Дзвонова установка зі стабілізацією вертикального положення дзвона.....	64
3.7 Визначення довірчих границь похибки вимірювання розміру одиниці об'єму газу.....	68
Висновки.....	70
Перелік посилань на джерела.....	71

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 еталонних установок.

Метою дослідження магістерської роботи є розв'язання науково-практичного завдання, яке стосується розроблення і метрологічних досліджень еталонної 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 дзвонових установок для підвищення їх точності, чим буде досягнуто підвищення точності повірки лічильників газу. Також задачею магістерської роботи є проведення метрологічних досліджень еталонних установок при визначенні довірчих границь похибки вимірювання розміру одиниці об'єму газу.

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

Предметом дослідження є еталонні установки дзвонового типу.

Практична цінність полягає у розробленні і дослідженні нових методологічних і конструктивних рішень для створення еталонних установок дзвонового типу.

Методи досліджень базуються на використанні математичного моделювання фізичних процесів у дзвоновій еталонній установці і застосування теорії похибок для оцінювання метрологічних характеристик еталонної установки.

Новизна магістерської роботи полягає у теоретично-прикладному дослідженні фізичних і метрологічних моделей еталонної установки дзвонового типу.

1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ ДІЇ, МЕТРОЛОГІЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЗВОНОВИХ ЕТАЛОННИХ УСТАНОВОК

1.1 Принцип дії та будова дзвонових еталонних установок

Принцип роботи еталона полягає у відтворенні фіксованих контрольних об'ємів повітря і звірянні показів еталона з показами лічильників, що повіряються, шляхом пропускання через них повітря з-під дзвону. Останні розміщені на стенді та під'єднанні послідовно. Об'ємна витрата задається набором сопел або за допомогою регулятора витрати [1].

Еталон складається із таких основних елементів та засобів вимірювальної техніки: дзвонового мірника еталону; генератора витрати повітря; компенсатора виштовхувальної (Архімедової) сили; розподільвача повітря; модуля вимірювача електричних сигналів з контрольної лінійки; модуля фотодетектора переміщення контрольної лінійки; блоку збору і передачі інформації; блоку живлення; перетворювачів тиску; перетворювачів температури; водяних мікроманометрів; стенду під'єднання лічильників; комплекту з'єднувальних кабелів; столу оператора; персонального комп'ютера з принтером; ротаметра для перевірки порогу чутливості; програмного забезпечення.

В еталонній установці є такі засоби вимірювальної техніки, які вимірюють відповідні параметри:

P1 - тиску під дзвоном; P2, P3 та P4 – тиску на вході першого лічильника, на виході п'ятого (вході шостого) лічильника та на виході останнього лічильника відповідно;

T1.1; T1.2 та T1.3 – температури в установці – вверху дзвону, внизу дзвону та мастила відповідно;

T2; T3 та T4 – температури на вході першого лічильника, на виході п'ятого (вході шостого) лічильника та на виході останнього лічильника відповідно;

P5 - атмосферного тиску; T5 - температури довкілля;

MNB1 – мікроманометри для вимірювання перепаду тиску на лічильниках (на кожному лічильнику).

Еталон може працювати в двох режимах - “старту з ходу” або комбінованого - “фіксованого старту” та “старт з ходу”.

Контроль похибки ведеться за всіх трьох витрат при одному ході дзвону – зверху - вниз.

Об'єм дзвону, наприклад, в установці ІФГАЗ-2 розбитий на шість об'ємів. Три з них (перший – об'ємом біля 30 дм³, третій -об'ємом біля 14 дм³ та п'ятий-об'ємом біля 7 дм³) призначені для розгону дзвону відповідно на об'ємні витрати Q_{\max} , $0,2 Q_{\max}$ та Q_{\min} , три інші об'єми – мірні об'єми (другий – об'ємом 200 дм³, четвертий – об'ємом 100 дм³ та шостий – об'ємом 20 дм³) для відтворення об'єму газу для контролю похибок за витрат Q_{\max} , $0,2 Q_{\max}$ та Q_{\min} відповідно.

Суть комбінованого методу функціонування установки заключається в тому, що за кожної витрати перед контрольним об'ємом є частина об'єму дзвону для його розгону. При цьому при розгоні дзвону повітря випускається у навколишнє повітря поза лічильники в місці під'єднання установки до першого лічильника відповідної секції. Тим самим оператор знімає покази лічильників в момент часу перед розгоном, а не перед пропусканням контрольного об'єму через лічильники.

Алгоритм роботи установки графічно можна подати, як показано на рис. 1.1, який реалізує динамічний режим роботи установки.

При роботі еталону в режимі “старту з ходу” в процесі контролю відносних похибок мембранних лічильників газу знімання інформації здійснюється за допомогою датчиків імпульсів, які встановлюються на відліковому механізмі лічильників (Према, Візар, МКМ).

При перевірці мембранних лічильників в комбінованому режимі процес знімання інформації з відлікових механізмів проводиться вручну та ввід її за допомогою клавіатури комп'ютера.

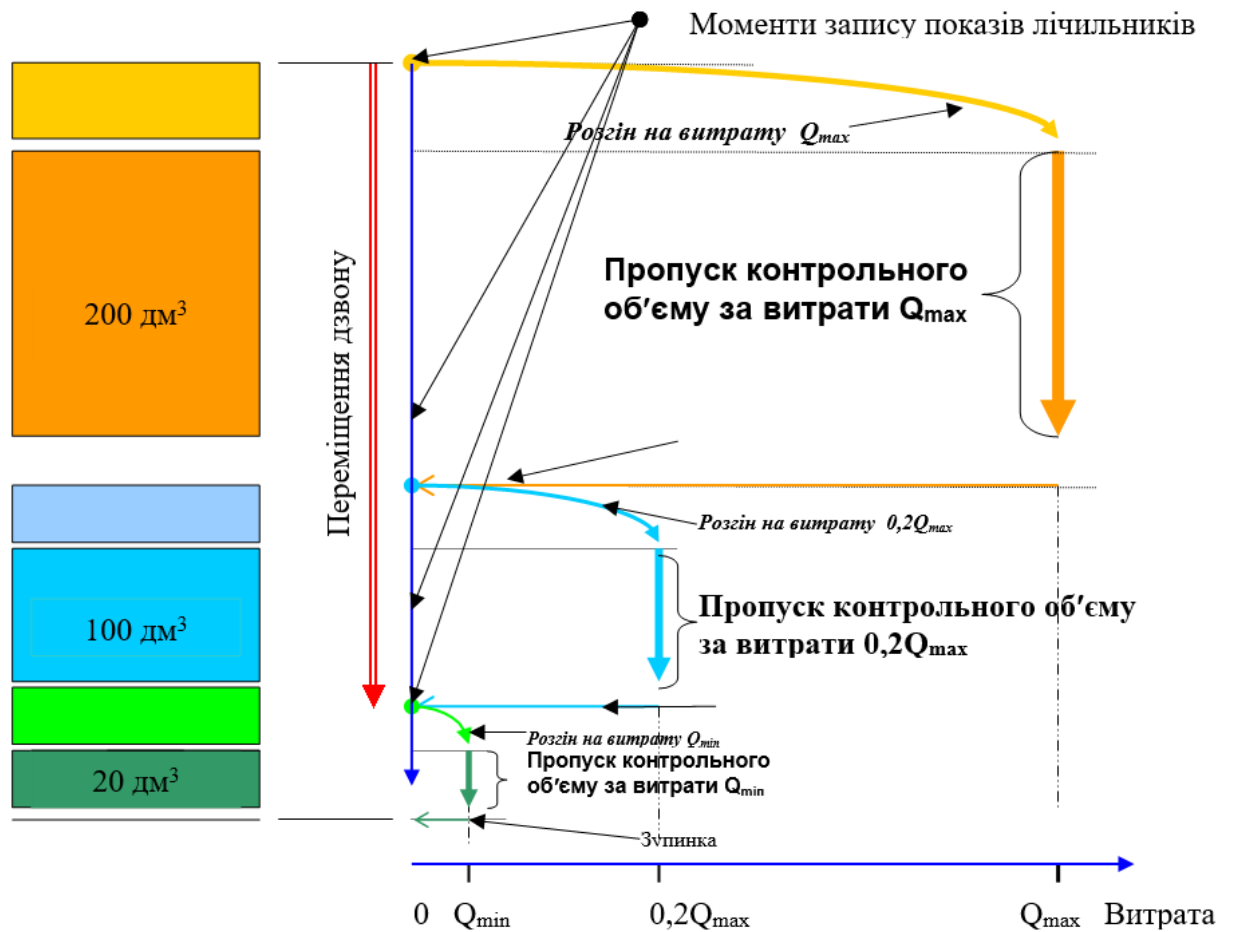


Рисунок 1.1 – Графічна інтерпретація алгоритму роботи дзвонової еталонної установки

Установка призначена для відтворення значень контрольних об'ємів повітря, що пропускаються через лічильники. Складається з рухомого дзвону, який через систему тросів, шківів та противаг підвішений в ємності з трансформаторним мастилом, верхньої і нижньої рам, а також трубопроводу, через який проходить повітря. На дзвоні змонтована мірна лінійка з мітками, відстань між якими відповідає контрольним об'ємам повітря. Модуль фотодатчика ФД встановлений на дзвоні і фіксує моменти проходження міток і

передає електричний сигнал через блок БЗПІ на комп'ютер. Вертикальне переміщення дзвону одночасно передається гнучким тросом на шків перетворювача ВЕ, останній формує електричні сигнали при обертанні шківа і передає їх через блок БЗПІ на комп'ютер. Крайні верхнє і нижнє положення дзвону обмежуються кінцевими вимикачами.

Стабілізація тиску під дзвоном здійснюється компенсацією виштовхувальної сили, яка діє на дзвін при його зануренні в мастилі. Компенсатор виготовлений у вигляді архімедової спіралі, яка закріплена на задньому колесі установки. Підібрана вага вантажу, закріпленого тросом на початку спіралі, компенсує виштовхувальну силу, яка діє на дзвін у всьому робочому діапазоні переміщення.

Розподілювач повітря призначений для направлення потоку повітря в такій послідовності:

- з генератора витрати повітря в дзвін (підйом дзвону);
- пауза для стабілізації температури повітря під дзвоном (крани закриті);
- з дзвону у навколишнє середовище для розгону дзвону (режим розгону);
- з дзвону до стенду з лічильниками (режим повірки).

Розподілювач, це трубопровід з кранами, клапанами та набором сопел, які послідовно направляють потік повітря згідно відповідної схеми з'єднання.

Стіл для розміщення лічильників, що повіряються.

Стіл призначений для розміщення лічильників та при застосуванні методу “старт з ходу” зняття електричних сигналів з них. Складається з власне столу, на якому розміщені затискачі лічильників та індуктивні перетворювачі, а також вузла витрат. Стіл має 10 робочих місць і може працювати як 1 та 2 секції окремо по 5 лічильників, так і дві секції разом з 10 лічильниками.

Схема секції повірочного стола при метрологічному дослідженні п'яти лічильників подана на рис. 1.2.

Нумерація лічильника ведеться від того, на вхід якого подається повітря з найбільшим абсолютним тиском. Схема з'єднання – послідовна, на виході з останнього лічильника потік повітря проходить через регулятор витрат, що

складається з клапану, кранів та набору сопел. Для підключення лічильника до стенду слід встановити його на стіл в робочому положенні, зорієнтувавши відповідно стрілки потоку на лічильнику згідно потоку повітря та під'єднати за допомогою гайок до шлангів.

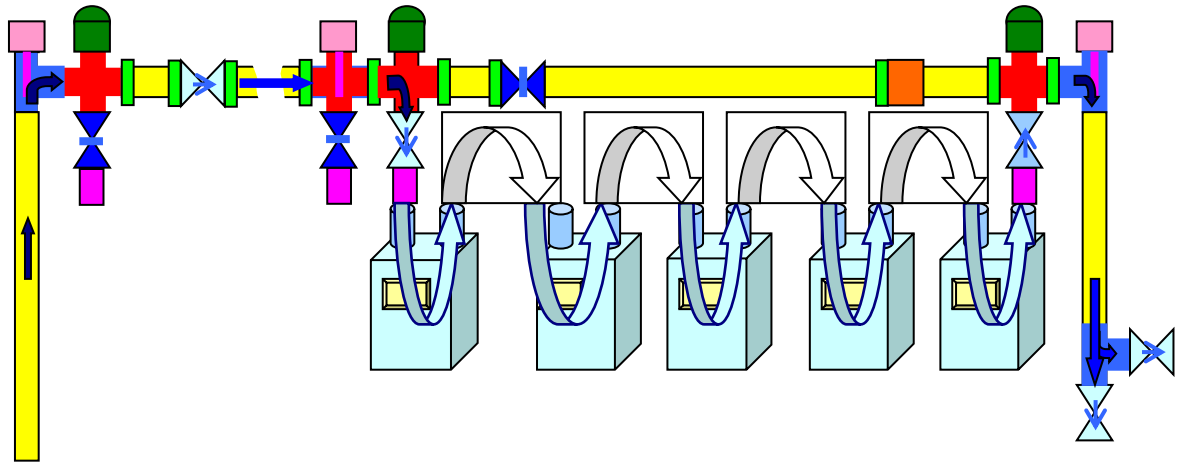


Рисунок 1.2 – Схема секції повірного стола дзвонової установки (при контролі 1-5 лічильників)

Генератор витрати повітря призначений для піднімання дзвону у верхнє положення. Складається з компресора та накопичувача повітря.

1.2 Технічні та метрологічні характеристики дзвонової еталонної установки моделі ІФГАЗ-2

Ця установка створена і експлуатується у АТ «Івано-Франківськгаз» з 1985 року, яка розроблена фахівцями відділу метрології АТ «Івано-Франківськгаз» та науковцями Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за участю професора Середюка О.Є. [1]

Довірчі границі відносної похибки відтворювання мірних об'ємів еталоном не перевищують $\pm 0,18\%$.

Діапазон номінальних об'ємних витрат, $\text{м}^3/\text{год}$ від 0,016 до 10.

Відхилення об'ємної витрати від заданого значення, %, не більше ± 5 .

Нормовані значення контрольних об'ємів повітря, дм^3 20, 100, 200.

Відхилення від нормованих значень контрольних об'ємів, $\text{дм}^3 \pm 2,5$.

Час безперервної роботи на добу, год, не більше 16.

Кількість лічильників, що можуть одночасно повірятися, штук 5 або 10.

Параметри живлення.

Вид струму однофазний, змінний.

Напруга, В 220 ± 33 .

Частота, Гц 50 ± 1 .

Потужність споживання, Вт, не більше 1000.

Типорозміри лічильників газу, що можуть повірятися на еталоні, від G1,6 до G6.

Умовні діаметри лічильників, що можуть повірятися на еталоні, від 20 до 32 мм.

Робоче положення лічильників газу, що повіряються, вертикальне.

Еталон забезпечує контроль порогу чутливості лічильників газу з $0,005 \text{ м}^3/\text{год}$.

Еталон забезпечує контроль всіх типорозмірів лічильників газу за всіх значень витрат в діапазоні від Q_{\min} до Q_{\max} .

Габаритні розміри, мм, не більше:

- довжина 1500;

- ширина 2000;

- висота 2500.

Маса, кг, не більше 890.

Середній термін служби еталону не менше 5 років.

Еталон при введенні в експлуатацію повинен пройти державну метрологічну атестацію, а в експлуатації піддаватися повірці.

Еталон по стійкості до дії кліматичних факторів відноситься до пристроїв виконання УХЛ категорії розміщення 4.1 за ГОСТ 15150, але для роботи в діапазоні температур навколишнього та вимірюваного середовища від $18 \text{ }^\circ\text{C}$ до $22 \text{ }^\circ\text{C}$ та за відносної вологості до 80 %.

1.3 Алгоритм функціонування і програмне забезпечення дзвонових еталонних установок

Повірку на еталоні проводять у відповідності до Р50-071-98 [3].

При зовнішньому огляді лічильників необхідно перевірити: зовнішній вигляд, маркування та комплектність лічильників.

При оцінці зовнішнього вигляду лічильників перевіряють:

- наявність на корпусі або входному патрубку лічильника стрілки, що вказує напрям протікання газу;
- якість покриття лічильника;
- відповідність відлікових пристроїв вимогам експлуатаційної документації (ЕД) на установку;
- наявність та якість пристроїв для встановлення пломб;
- наявність та якість пломби, наявність відбитка повірювального тавра;
- відсутність на поверхні лічильників пошкоджень і дефектів, які можуть перешкоджати роботі лічильників або впливати на їх функціонування.

Перевірку зовнішнього вигляду лічильників проводять візуально шляхом звіряння лічильників з вимогами ЕД.

Перевірку маркування проводять візуально шляхом звіряння з вимогами ЕД. Маркування повинно бути чітким, написи повинні легко читатись та відповідати вимогам ЕД на лічильник.

Перевірку комплектності лічильників проводять візуально шляхом перевірки наявності в комплекті лічильників передбачених ЕД запасних частин, приладдя, спеціального інструменту та документації.

Відносну похибку лічильників визначають шляхом пропускання через них об'єму повітря за об'ємних витрат, номінальне значення яких становить Q_{\max} , $0,2 Q_{\max}$ та Q_{\min} .

Відхилення об'ємної витрати від заданого значення у відносному вираженні не повинно перевищувати [3]:

- мінус 5 % для значення об'ємної витрати Q_{\max} ;

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

Значення об'єму повітря, що пропускається через лічильники за вказаних вище об'ємних витрат, наступні:

- 200 дм³ за об'ємної витрати Q_{\max} , тобто за витрат 10, 6, 4 та 2,5 м³/год;
- 100 дм³ за об'ємної витрати $0,2 Q_{\max}$, тобто за витрат 2; 1,2; 0,8 та 0,5 м³/год;
- 20 дм³ за об'ємної витрати Q_{\min} , тобто за витрат 0,06; 0,04; 0,025 та 0,016 м³/год.

Фактичні значення контрольних об'ємів наводяться у свідоцтві про державну метрологічну атестацію (півірку) еталону.

Визначення відносних похибок лічильників проводиться в наступній послідовності - Q_{\max} , $0,2 Q_{\max}$ та Q_{\min} . На кожній об'ємній витраті проводять одне або два вимірювання (згідно нормативних документів на повірку).

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

Вимірювання температури проводиться:

- під дзвоном вверху та внизу - ($T_{1.1}$ та $T_{1.2}$);
- на вході першого лічильника - (T_2);
- на виході першої секції із 5 лічильників або на вході другої секції лічильників – перед шостим лічильником (T_3);
- на виході останнього (десятого) лічильника - (T_4);
- температури мастила ($T_{1.3}$).

Вимірювання тиску проводиться:

- під дзвоном - (P_1);
- на вході першого лічильника - (P_2);
- на виході першої секції із 5 лічильників або на вході другої секції лічильників – перед шостим лічильником (P_3);
- на виході останнього (десятого) лічильника - (P_4);

- атмосферного тиску (P_6);
- перепаду (втрат) тиску на кожному лічильнику ($\Delta P_1; \Delta P_2; \Delta P_3; \Delta P_4; \Delta P_5; \Delta P_6; \Delta P_7; \Delta P_8; \Delta P_9; \Delta P_{10}$).

Відносна похибка i -го лічильника з урахуванням втрат тиску та різниці температури на вході лічильника і на виході робочого еталону обчислюється за формулою:

$$\delta_i = \left[\frac{V_i}{V_0} \times \frac{P_i}{P_0} \times \frac{T_0}{T_i} - 1 \right] \times 100, \quad (1.1)$$

де δ_i - відносна похибка i -го лічильника, у відсотках; V_i та V_0 - об'єм, виміряний i -м лічильником, та контрольний об'єм, відтворений робочим еталоном, дм^3 ; P_i та P_0 - абсолютний тиск на вході i -го лічильника та в робочому еталоні, Па; T_0 та T_i - абсолютна температура на виході еталону та на вході i -го лічильника, К.

Об'єми, виміряні лічильниками, обчислюються за формулами:

$$V_i = V_{ki} - V_{ni}; \quad (1.2)$$

де V_{ki} та V_{ni} - кінцеві та початкові покази об'єму i -го лічильника, м^3 .

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

$$\delta_v = \frac{V_i - V_0}{V_0} \cdot 100, \quad (1.3)$$

де δ_v - відносна похибка лічильників, обчислена за показами відлікових пристроїв, у відсотках.

Поправка до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею значень тиску між входом i -го лічильника та виходом робочого еталону, обчислюється за формулою:

$$k_p = (P_i - P_0) / P_0 \times 100 = \Delta P / P_0 \times 100, \quad (1.4)$$

де k_p - поправка до відносної похибки лічильника, спричинена різницею тисків між виходом робочого еталону та входом лічильника, у відсотках; ΔP - різниця тисків між входом лічильника та робочим еталоном, Па.

Поправка до відносної похибки лічильника, що спричинена різницею температур на виході робочого еталону та на вході лічильника, обчислюється за формулою:

$$k_t = (T_0 - T_i) / T_i \times 100 = \Delta T / T_i \times 100, \quad (1.5)$$

де k_t - поправка до відносної похибки лічильника, спричинена різницею температур між входом лічильника та виходом робочого еталону, у відсотках; ΔT - різниця температур між входом лічильника та виходом робочого еталону, Па.

Так як повірка на робочому еталоні ведеться тільки однотипних лічильників, під'єднаних послідовно, то вимірювання тиску та температури ведеться на вході першого лічильника та на виході останнього лічильника. Тому приймається, що втрати тиску та зміна температури по тракту вимірювання розподіляється рівномірно.

Якщо на робочому еталоні ведеться контроль відносної похибки методом “старт з ходу”, то лічильники обладнуються перетворювачами об'єму повітря, що протік через них, та що мають вихідні імпульсні електричні сигнали. При цьому значення об'ємів V_i обчислюються за формулами:

$$V_i = N_i / S_i, \quad (16)$$

де N_i - кількість імпульсів з перетворювачів імпульсів i -го лічильника; S_i - ціна вихідного імпульсу перетворювача імпульсів i -го лічильника, м³.

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

$$\delta_n = ((N_i \times S_i) - V_0) / V_0 \times 100, \quad (1.7)$$

δ_n - відносна похибка лічильників, обчислена за кількістю імпульсів, що створюють перетворювачі, у відсотках.

Якщо різниця температур повітря у робочому еталоні та на вході лічильників протягом одного вимірювання не перевищує 0,5 °С, то поправкою до відносної похибки, спричиненою різницею температур k_t , можна знехтувати. Якщо різниця тиску на вході лічильників та на виході робочого еталону не

перевищує 100 Па, то поправкою до відносної похибки, спричиненою втратами тиску k_p , можна знехтувати.

Результати вимірювань заносяться в протокол повірки.

Допустимі значення відносних похибок побутових лічильників газу не повинні перевищувати, у відсотках [3]:

± 2 - за об'ємної витрати Q_{\max} ;

± 2 - за об'ємної витрати $0,2 Q_{\max}$;

+ 3 - мінус 6 - за об'ємної витрати Q_{\min} .

Алгоритм обчислення відносної похибки лічильників газу, реалізований в програмі "Повірка", виконаний згідно формул і вимог, наведених у Р50-071-98.

Під час пропускання повітря слід спостерігати за роботою відлікового пристрою.

Відлікові пристрої лічильників повинні працювати або перетворювачі імпульсів формувати вихідні електричні сигнали під дією витрати, значення якої не більше порогу чутливості.

Перевірку лічильників на наявність пристроїв, що запобігають зворотньому ходу відлікових пристроїв лічильників при протіканні газу в напрямі, протилежному до зазначеного, проводять подачею у вихідні патрубки лічильників та пропусканням через нього повітря за об'ємної витрати Q_{\max} . Для цього лічильник після визначення порогу чутливості переставляють так, щоб повітря подавалось у вихідний патрубок і пропускають через нього не менше одного циклічного об'єму повітря або повного оберту ролика відлікового пристрою з найбільшою швидкістю обертання.

При пропусканні повітря у вихідні патрубки лічильників покази відлікових пристроїв не повинні зменшуватися на величину більшу, ніж на величину одного циклічного об'єму.

Підготовка установки "ІФЗ-2" до роботи.

Перевести всі крани в положення "Закрито".

Включити живлення комп'ютера та стола, перемкнувши відповідний перемикач на задній панелі стенду в положення “1”. Дати прогрітись елементам установки не менше 20хв.

Переконатись, що тиск повітря у компресорі не менше 0,6 МПа. Якщо тиск менше цього значення, провести нагнітання повітря в накоплювач.

Для цього необхідно:

- закрити (якщо він відкритий) кран з'єднання накоплювача повітря з розподілювачем потоку;
- ввімкнути вилку подачі напруги в розетку 220 В, якщо вона вимкнута;
- поставити вимикач напруги на компресорі в положення “ввімкнуто”;
- слідкувати за показами манометра на накоплювачі і при досягненні величини тиску в накоплювачі рівним $(0,6 \pm 0,01)$ МПа вимкнути живлення компресора.

Запустити програмне забезпечення для роботи з установкою “ІФГАЗ-2” – програму “Повірка” (надалі-програма) – виділити “мишею” значок програми на робочому столі операційної системи Windows і натиснути клавішу “Enter”. На моніторі комп'ютера повинно з'явитись головне вікно програми з інформацією про поточне значення температури та тиску в елементах установки рис. 1.3.

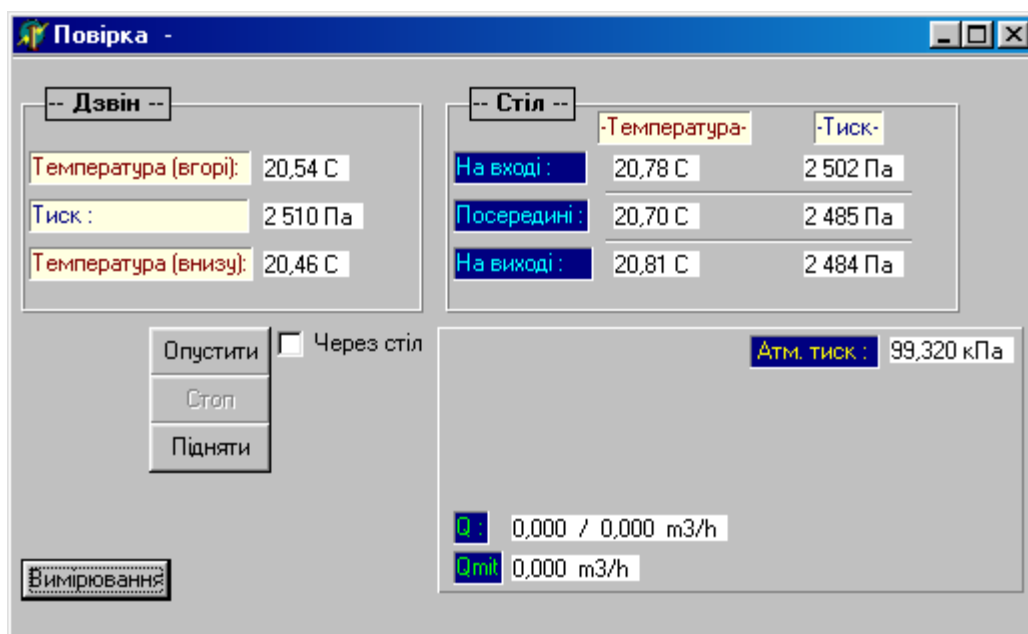


Рисунок 1.3 – Зображення головного вікна програми “Повірка”.

Вибрати кількість лічильників, які підлягають повірці (5 шт. або 10 шт.) Лічильники повинні бути однакового типорозміру і відповідати вимогам, викладеним в п.5.1.

Встановити лічильники на робочі місця. Кожний лічильник під'єднується до робочого місця за допомогою двох гумових патрубків з накидними гайками на кінцях. Можливі 3 варіанти встановлення лічильників:

а) при повірці 10 лічильників одночасно – лічильники встановлюються по 5 шт. на кожну з двох секцій повірочного стенду;

б) при повірці 5 лічильників – лічильники встановлюються на будь-яку з двох секцій повірочного стенду;

в) комбінований варіант – 10 лічильників встановлюються на кожну з двох секцій і повіряються окремо по 5 шт. на кожній секції.

Перевірити герметичність з'єднань.

Для цього потрібно:

а) при повірці 5 лічильників на першій секції:

1) відкрити крани K_2 і K_3 ;

2) закрити кран K_2 ;

3) зафіксувати початковий показник тиску на вході лічильників (він висвітлюється у головному вікні програми) і витримати лічильники під тиском протягом 3 хв.

4) зафіксувати кінцевий показник тиску на вході лічильників. У випадку, якщо різниця між початковим і кінцевим значенням тиску на вході лічильників становить не більше 50Па, ліквідувати негерметичність з'єднань і повторити операції 3-4 п.5.2.7.а.

б) при повірці 5 лічильників на другій секції:

1) відкрити крани K_2 , K_4 , K_6 і K_8 ;

2) закрити кран K_2 ;

3) зафіксувати початковий показник тиску на вході лічильників (він висвітлюється у головному вікні програми) і витримати лічильники під тиском протягом 3 хв.

4) зафіксувати кінцевий показник тиску на вході лічильників. У випадку, якщо різниця між початковим і кінцевим значенням тиску на вході лічильників становить більше 50Па, закрити кран K_2 , ліквідувати негерметичність з'єднань і повторити операції 1-4 пункту 5.2.7 б.

в) при повірці 10 лічильників:

1) відкрити крани K_2 , K_6 , K_8 , K_3 , K_5 ;

2) закрити кран K_2 ;

3) зафіксувати початковий показник тиску на вході лічильників (він висвітлюється у головному вікні програми) і витримати лічильники під тиском протягом 3 хв.

4) зафіксувати кінцевий показник тиску на вході лічильників. У випадку, якщо різниця між початковим і кінцевим значенням тиску на вході лічильників становить більше 50Па, закрити кран K_2 , ліквідувати негерметичність з'єднань і повторити операції перевірки на герметичність.

В залежності від типорозміру лічильника вибрати сопла, які забезпечують потрібні витрати і приєднати їх до вихідних клапанів таким чином:

- до клапана K_1 сопло, яке забезпечує максимальну витрату;

- до клапана K_2 сопло, яке забезпечує витрату $0,2 Q_{\max}$;

- до клапана K_3 сопло, яке забезпечує мінімальну витрату або ротаметр;

Відкрити кран K_1 . Підняти дзвоновий мірник у верхнє положення, натиснувши кнопку "Підняти" на головному вікні програми. При досягненні верхнього положення дзвоновий мірник автоматично зупиняється.

Закрити кран K_1 .

Проведення вимірювань.

Контроль похибок лічильників на витраті Q_{\max} .

а) при повірці 5 лічильників на першій секції встановити крани подачі повітря на відповідні сопла;

б) при повірці 5 лічильників на другій секції встановити крани подачі повітря на відповідні сопла;

в) при повірці 10 лічильників одночасно, встановити крани подачі повітря на відповідні сопла.

Далі у головному вікні програми (рис.1.3) натиснути кнопку “Вимірювання” і у вікні, яке з’явиться («Почати вимірювання») (рис.1.5) вибрати витрату та секцію, на якій встановлені лічильники (при повірці 5 лічильників), типорозмір і кількість лічильників, що повіряються (див. рис. 1.4). При повірці 10 лічильників вибір секцій буде неможливим, оскільки програмою автоматично задіюються обидві секції стенду.

Натиснути кнопку “Почати вимірювання”. Наступні дії виконати згідно підказок діалогового вікна яке висвітиться (Записати реквізити лічильників і їх початкові показники, відкрити кран K_9 – див. рис.1.5).

При правильному виконанні підказок програми вихідний клапан відкриється, через лічильники почне проходити повітря відповідно до встановленої витрати, яку можна контролювати згідно показів програми. Перепад тиску на кожному з лічильників буде відповідати показам відповідних манометрів МВН, які потрібно буде зафіксувати.

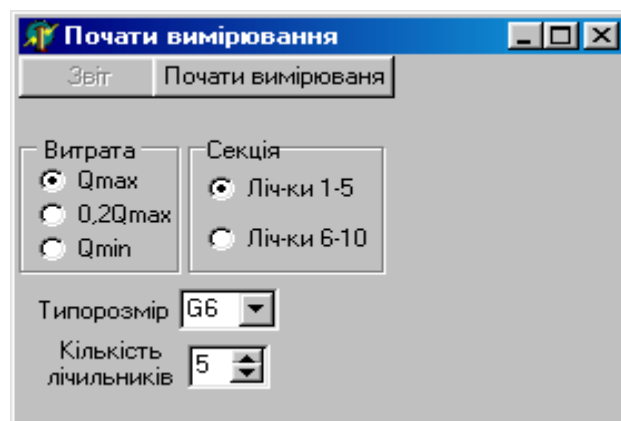


Рисунок 1.4 – Зображення вікна програми перед початком вимірювання.

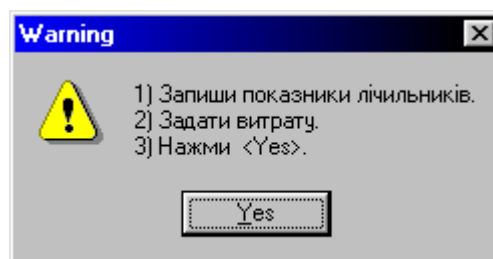
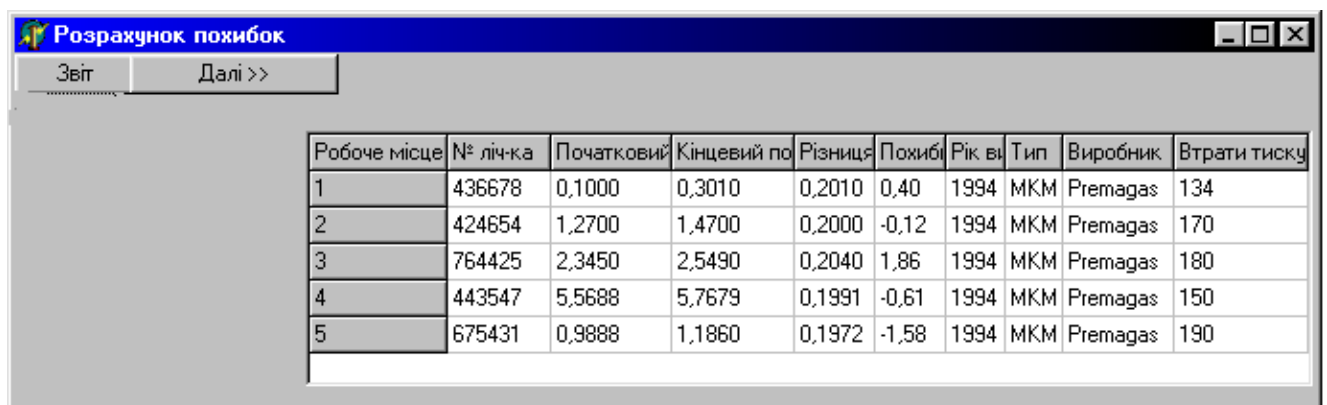


Рисунок 1.5 – Діалогове вікно зі списком дій перед початком вимірювання.

Після пропускання через лічильники контрольного об'єму повітря зняти кінцеві показники лічильників. На моніторі з'явиться вікно “Розрахунок похибок” з таблицею, кожен графу (за виключенням граф “Різниця” та “Похибка”, результати яких обчислюється автоматично) необхідно заповнити відповідно до рис. 1.6. Номер лічильника в таблиці заноситься у відповідності до порядкового номеру робочого місця лічильника в секції, причому у випадку повірки 10 лічильників одночасно відлік робочих місць лічильників проводити від першого лічильника першої секції до останнього лічильника другої секції.



Робоче місце	№ лічка	Початковий	Кінцевий по	Різниця	Похибі	Рік в	Тип	Виробник	Втрати тиску
1	436678	0,1000	0,3010	0,2010	0,40	1994	МКМ	Premagas	134
2	424654	1,2700	1,4700	0,2000	-0,12	1994	МКМ	Premagas	170
3	764425	2,3450	2,5490	0,2040	1,86	1994	МКМ	Premagas	180
4	443547	5,5688	5,7679	0,1991	-0,61	1994	МКМ	Premagas	150
5	675431	0,9888	1,1860	0,1972	-1,58	1994	МКМ	Premagas	190

Рисунок 1.6 – Зображення вікна “Розрахунок похибок”.

Для контролю відносних похибок лічильників на витраті $0,2 Q_{\max}$ натиснути кнопку “Далі”. На екрані монітора з'явиться вікно “Почати вимірювання” (рис. 1.5).

Виконати операції повірки.

Контроль відносних похибок лічильників на витраті Q_{\min} виконати аналогічно витраті $0,2 Q_{\max}$.

Результати вимірювань заносяться у протокол повірки, який можна переглянути і роздрукувати, натиснувши кнопку “Звіт” (рис. 1.7).

Звіт

Друк

Івано-Франківський ДЦСМС
ВАТ "Івано-Франківськгаз"
ПРОТОКОЛ ПОВІРКИ

побутового лічильника газу типу , типорозміру

Зав № , виробництва року випуску

на повірочній установці ІФГА.3-2. ВАТ "Івано-Франківськгаз", робоче місце №

Задане значення витрат	10,0	2,0	0,060
Фактичне значення витрат	9,98	2,01	0,060
Втрати тиску, Па	125	45	20
Відносна похибка, %	-1,01	2,00	-2,54

Дата повірки:

За результатами повірки лічильник відповідає вимогам Р-50-071-98 і допускається до застосування.

Повірку провів

Рисунок 1.7 – Звіт за результатами вимірювання.

Якщо після того, як проведені вимірювання на трьох витратах, натиснути кнопку “Далі” у вікні “Почати вимірювання”, на екрані з’явиться діалогове вікно (рис. 1.8). Якщо потрібно виконати ще одне вимірювання, натиснути кнопку “Yes” у цьому вікні, якщо ні – натиснути “No”.

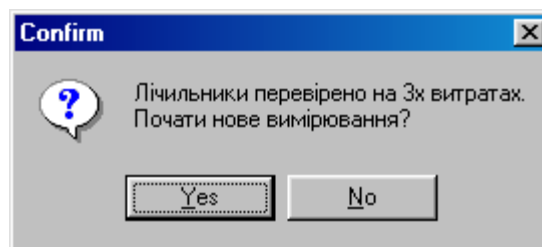


Рисунок 1.8 – Запит програми на проведення наступного вимірювання.

При проведенні ще одного вимірювання з метою контролю похибок лічильників виконати повторно операції повірки.

Загальні вимоги безпеки до конструкції установки - за ГОСТ 8.2.003.

Електрична ізоляція електроживлення установки промислової електромережі витримує дію змінної напруги 1500 В, частотою 50 Гц.

Електричний опір ізоляції електроживлення відносно корпусу не менше 20 МОм.

Установка герметична при дії максимального можливого тиску, що створюється установкою, що на 10 відсотків перевищує максимальний робочий тиск.

Установка не створює шуму більше 50 дБ.3.8.6 До робіт на установці повинні допускатися особи, які пройшли навчання по правилах техніки безпеки, мають необхідну кваліфікацію та пройшли інструктаж на робочому місці.

При проведенні робіт на еталоні необхідно дотримуватись “Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей”, “Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей”, а також вимог, встановлених ГОСТ 8.2.007.0-78.

Забороняється використання еталона при тисках робочого повітря, що перевищують максимальний робочий тиск елементів еталона.

Ремонтні і налагоджувальні роботи проводити тільки при відключеному еталоні від електричної мережі.

При експлуатації еталона необхідно дотримуватись наступних вимог безпеки:

- не включати без заземлення;
- не проводити при роботі еталона монтажно-демонтажних робіт;
- не включати еталон при знятій захисній огорожі рухомих частин еталона;
- перевірити наявність тиску в трубопроводі стиснутого повітря.

До роботи на еталоні допускаються особи, що мають необхідну кваліфікацію і пройшли інструктаж щодо правил безпечного ведення робіт, а також пройшли інструктаж на робочому місці.

Еталон повинен бути заземленим до загального контура заземлення.

Розміщення та монтаж.

Еталон розміщується в приміщенні, в якому забезпечені такі умови:

- температура навколишнього середовища (20 ± 2) °С;
- відносна вологість навколишнього повітря до 80%;
- атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа;
- відсутність вібрацій, трясіння, ударів.

Монтаж еталону проводять згідно схеми структурної та загального виду еталона. Електрична частина еталона повинна бути змонтована згідно схеми електричної принципової.

Після проведення монтажу необхідно провести перевірку еталона на герметичність.

Перевірку проводять шляхом піднімання дзвона еталона у верхнє положення та закриттям виходу еталона в місці під'єднання лічильників до еталона. Після витримки еталона протягом не менше 20 хвилин наносять мітку на лінійку і витримують ще протягом не менше 10 хвилин, слідкуючи за зміною температури в приміщенні та під дзвоном, а також за переміщенням дзвону. При постійності температур переміщення дзвону не допускається. Еталон вважається герметичним, якщо протягом не менше 10 хвилин не спостерігається переміщення дзвону.

Контроль герметичності зварних швів в місцях з'єднань з фланцями, штуцерами, а також в місцях переходів трубопроводів проводити за допомогою мильного розчину. Виникнення мильних бульбашок в цих місцях не допускається. Контроль тиску під час перевірки на герметичність здійснюється по цифровому табло датчика тиску.

Установка повинна бути розміщена в приміщенні не вище другого поверху та де протягом року підтримуються наступні умови:

- температура робочого середовища і навколишнього повітря (20 ± 5) °С;
- відносна вологість навколишнього повітря до 80 %;
- зміна температури повітря в приміщенні не більше 2 °С протягом 8 годин та не більше 0,5 °С протягом однієї години;

- є в наявності всі умови для витримки лічильників в приміщенні протягом часу, вказаного в ЕД, але не менше чотирьох годин;

- відсутні вібрації, трясіння та магнітні поля, які впливають на роботу лічильників та установка.

Не дозволяється розміщувати установку там, де на неї можуть попадати прямі сонячні промені.

Освітленість приміщення згідно санітарних норм.

Електричний монтаж установки необхідно вести згідно вимог ПУЕ.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В ДЗВОНОВИХ ЕТАЛОННИХ УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ТОЧНОСТІ

2.1 Моделювання гідродинамічних процесів у дзвонових еталонних установках

Аналіз тенденцій вдосконалення дзвонових еталонних установок (ДЕУ) показує, що вони значною мірою стосуються насамперед забезпечення стабільності відтворюваних витрат газу. Адже в сучасних ДЕУ зміна постійності витрати не може перевищувати $\pm 0,5\%$ в установках для перевірки побутових лічильників газу, $\pm 0,3\%$ в установках для перевірки промислових лічильників газу та $\pm 0,16\%$ в робочих еталонах дзвонового типу для перевірки, калібрування та державної метрологічної атестації еталонних лічильників газу [4].

Одним із найбільш суттєвих загальновідомих чинників досягнення стабільності відтворюваних витрат газу в ДЕУ є точність виготовлення дзвона, насамперед постійність поперечного перерізу вздовж висоти, а також досягнення плавності руху дзвона при його зануренні у замкову рідину. Поряд з цим відомими є ряд нових технічних напрацювань для досягнення вказаної мети, наприклад, підвищення стабільності відтворюваних витрат ДЕУ завдяки застосуванню вдосконалених систем центрування і спрямування вертикального переміщення дзвона з використанням постійних магнітів, які попарно закріплені із зазором на корпусі рухомого дзвона і нерухомих напрямних стійок. У зв'язку з тим, що стабільність відтворюваних витрат залежить від тиску під дзвоном в патенті [5] пропонується сифонний компенсуючий пристрій зміни ваги дзвона доповнювати реверсивним вентилятором для додаткової подачі або відбирання повітря із піддзвонового простору.

Дослідження фізичних процесів в ДЕУ показало також, що одним із факторів, які суттєво впливають на точність дзвонових установок є непостійність сил лобового опору переміщенню дзвона у замковій рідині

витіснювача. Для зменшення цих сил опору запропоновані конструкції дзвонових витратовимірювальних установок, в яких дзвін обертається навколо своєї вертикальної осі [6]. Обертання дозволяє не тільки зменшити сили лобового опору, але і сприяє підвищенню точності і розширенню границь вимірювання шляхом підвищення стійкості дзвона до поперечних коливань внаслідок виникаючого гіроскопічного моменту.

Відомими також є конструкції ДЕУ, в яких до нижньої частини дзвона під'єднане стабілізуюче кільце з отворами для стабілізації гідродинамічних сил опору його переміщенню у замковій рідині витіснювача [10], завдяки чому досягається рівномірне переміщення дзвона і стабілізується витрата повітря на виході ДЕУ.

Однак головною проблемою для досягнення стабільності відтворюваних витрат є необхідність реалізації коригування тиску відповідно до вибраного режиму роботи ДЕУ. Крім того, в еталоні необхідно стабілізувати з високою точністю тиск під дзвоном внаслідок нелінійного зростання сил гідродинамічного опору переміщенню дзвона при збільшенні глибини його занурення у замкову рідину кільцевого витіснювача і при наближенні дзвона до дна кільцевого витіснювача.

Одним із шляхів покращення функціонування ДЕУ запропоновано в [7] кільцевий витіснювач із замковою рідиною додатково оснастити стабілізуючим кільцем, яке кінематично зв'язане з електроприводом його обертання відносно вертикальної осі дзвона, а також одночасно обладнати електропривід задавачем його функціонування у відповідності до режиму роботи ДЕУ. Тому здійснимо моделювання фізичних процесів у кільцевому витіснювачі ДЕУ з обертовим стабілізуючим кільцем.

Розглянемо фізичні процеси, зокрема гідродинамічні, у кільцевому витіснювачі ДЕУ впродовж вимірювального циклу при опусканні обертового дзвона за наявності обертового стабілізуючого кільця в нижній частині витіснювача [2].

На рис. 2.1 наведена схема досліджуваної ДЕУ, яка складається з дзвона 1, що обертається навколо осі z і розміщений у кільцевому витіснювачі 2 із

замковою рідиною. У витіснювачі знаходиться стабілізуюче кільце 3, яке також обертається навколо осі z . В склад установки входять повітрорудка 4, клапани 5 та 8 для управління роботою ДЕУ, вхідний 6 і вихідний 7 трубопроводи з досліджуваним приладом 9.

При дослідженні будемо вивчати рух рідини на ділянці між обертовим дзвоном і обертовим стабілізуючим кільцем для випадку їх наближення. При розв'язанні цієї задачі будемо вважати, що з-під стінок дзвона витісняється кільце рідини, яке показане на рис. 2.1 пунктирними лініями. За цих умов радіальна течія рідини буде перевищувати осьову течію, оскільки швидкість переміщення рідини вздовж осі r буде набагато більшою по відношенню до швидкості рідини вздовж осі z , а градієнт радіальної складової швидкості V_r вздовж осі z буде переважати над градієнтом цієї ж складової вздовж осі r . При цьому буде мати місце незначна різниця колових швидкостей рідини на внутрішньому і зовнішньому радіусах торцьової поверхні дзвона внаслідок його тонкостінності, а також суттєво більша різниця колових швидкостей на торці дзвона і обертовому стабілізуючому кільці за умови суттєвої різниці кутових швидкостей дзвона та стабілізуючого кільця.

Наведені вище обґрунтування відносно градієнтів складових швидкостей V_r та V_φ дають можливість прийняти наступні припущення для роз'язку математичної моделі:

$$\frac{\partial V_r}{\partial r} \ll \frac{\partial V_r}{\partial z}, \quad \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} \ll \frac{\partial V_\varphi}{\partial z} \text{ при } \omega_d \ll \omega_k, \quad (2.1)$$

де V_r і V_φ - радіальна і колова складові швидкості рідини, ω_d і ω_k - кутові швидкості обертання дзвона і кільця відповідно.

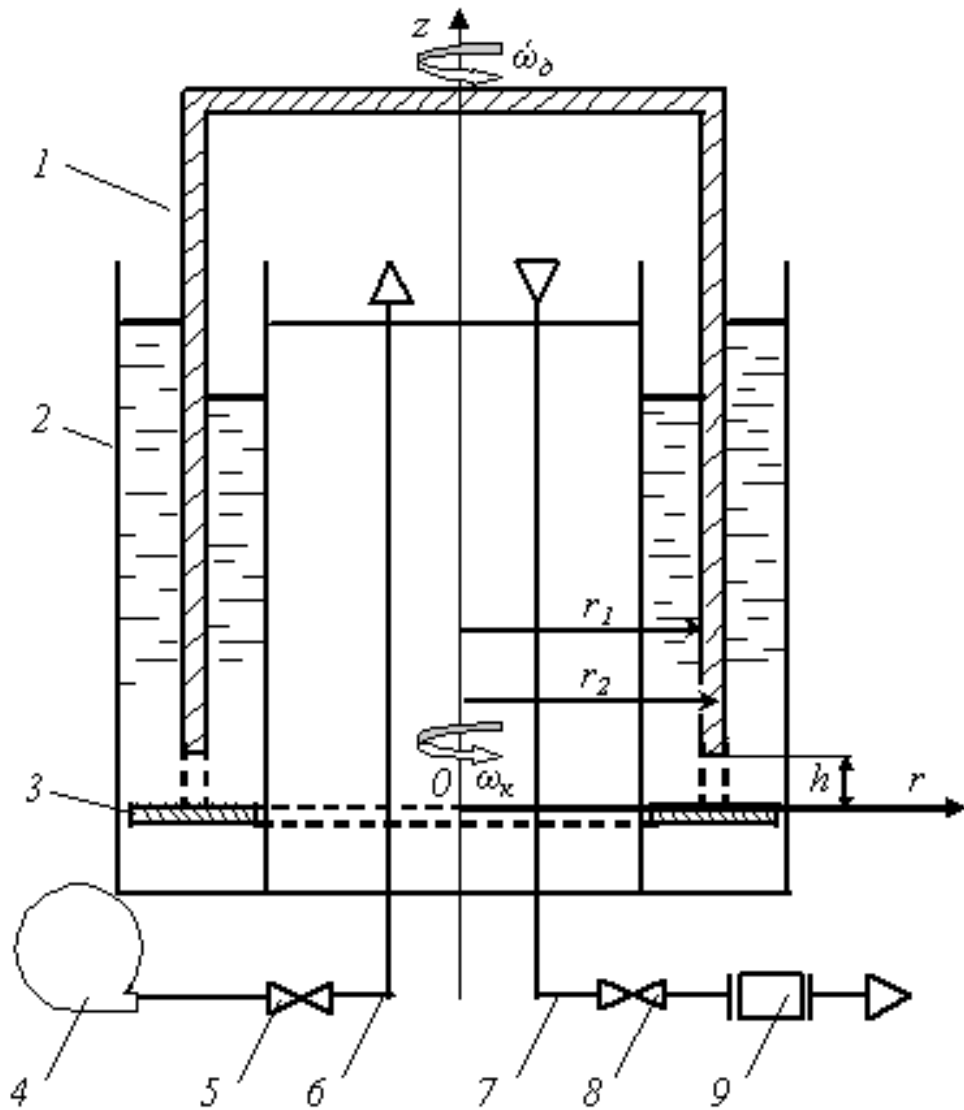


Рисунок 2.1 Схема ДЕУ з обертовими дзвоном і стабілізуючим кільцем

Поряд з цим будемо вважати, що швидкість осьового переміщення дзвона є значно меншою від колової швидкості його стінки, а течія рідини установлена, асиметрична і ламінарна. За цих умов рівняння Нав'є-Стокса і нерозривності струменя між торцевою поверхнею дзвона 1 і стабілізуючим кільцем 3 (рис. 2.1) набудуть вигляду:

$$v \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - \frac{V_\phi^2}{r}, \quad (2.2)$$

$$v \left(-\frac{V_\phi}{r^2} + \frac{\partial^2 V_\phi}{\partial z^2} \right) = V_z \frac{\partial V_\phi}{\partial z}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rV_r)}{\partial r} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0, \quad (2.5)$$

де V_z – складова швидкості рідини вздовж осі z ; $\frac{\partial p}{\partial r}$ і $\frac{\partial p}{\partial z}$ градієнти тиску вздовж осей r та z ; ν , ρ – коефіцієнт кінематичної в'язкості і густина рідини відповідно.

Граничні умови для поставленої задачі досліджень будуть мати наступний вигляд:

$$\text{для } z = 0 \text{ маємо } V_r = 0 \quad V_z = 0 \quad V_\varphi = \omega_k \cdot r_0, \quad (2.6)$$

$$\text{для } z = h \text{ маємо } V_r = 0 \quad V_z = -u \quad V_\varphi = \omega_\delta \cdot r, \quad (2.7)$$

$$\text{при } r = r_1 \text{ і } r = r_2 \text{ маємо } p = 0, \quad (2.8)$$

де u – швидкість осевого переміщення дзвона; h – відстань між торцем дзвона і стабілізуючим кільцем; r_1, r_2, r_0 – внутрішній, зовнішній та середній радіуси дзвона відповідно.

Зауважимо, що в умові (2.8) виштовхувальною силою Архімеда нехтуємо, оскільки для підвищення точності в ДЕУ вона компенсується спеціальними пристроями [12].

З врахуванням того, що товщина стінки дзвона порівняно з його діаметром є величинами неспіврозмірними, то з достатньою для практики точністю можна замість змінної r у рівнянні (2.3) прийняти її фіксоване значення, яке дорівнює середньому радіусу дзвона r_0 .

Для розв'язку рівняння (2.3) скористаємося методом лінеаризації. Відповідно до умови можливості його застосування складову швидкості V_z необхідно зафіксувати і прийняти рівною її середньому значенню V_{z0} при зміні Z від 0 до h . Фіксація змінних r та V_z дозволяє розв'язати рівняння (2.3) як звичайне диференціальне відносно V_φ з постійними коефіцієнтами r_0 і V_{z0} . Таким чином його розв'язок набуває вигляду:

$$V_\varphi = (\omega_{\delta} r - \omega_{\delta} r_0) \frac{e^{kz}}{e^{kh}} + \omega_k r_0, \quad (2.9)$$

де $k = \frac{V_{z0}}{\nu}$ – корінь характеристичного рівняння для розв'язку (2.3).

Підставляючи (2.9) у рівняння (2.2) і інтегруючи останнє по z методом розділення змінних за граничних умов (2.6) та (2.7) отримуємо вираз для визначення радіальної складової швидкості рідини:

$$V_r = \frac{1}{2\rho\nu} \cdot \frac{\partial p}{\partial r} (z^2 - hz) - \frac{B}{4k^2} \left(-e^{2kz} + \frac{z}{h} e^{2kh} - \frac{z}{h} + 1 \right) - \frac{D}{k^2} \left(e^{kz} - \frac{z}{h} e^{kh} + \frac{z}{h} - 1 \right) - \frac{G}{2} (z^2 - hz), \quad (2.10)$$

де

$$B = \frac{(\omega_\delta r - \omega_\kappa r_0)^2}{\nu r e^{2kh}}, \quad D = \frac{2\omega_\kappa r_0 (\omega_\delta r - \omega_\kappa r_0)}{\nu r e^{kh}}, \quad G = \frac{\omega_\kappa^2 r_0^2}{\nu r}.$$

Після виведення з (2.10) алгебраїчного виразу для градієнту $\frac{\partial p}{\partial r}$ і наступного його інтегрування за умови нехтування складовими вищого порядку меншості отримуємо таку залежність розподілу тиску на торцеві поверхні обертового дзвона:

$$p = \frac{3\rho\nu}{h^2} \cdot \left(\frac{u}{h} - \frac{\nu\omega_\delta^2}{4V_{z0}^2} \right) \cdot \left[-r^2 + r_1^2 + \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln(r_2/r_1)} \ln(r/r_1) \right] - \frac{3\rho\nu}{h^2} \cdot \frac{3\nu r_0 \omega_\delta \omega_\kappa}{V_{z0}^2} \times \left[-r + r_1 + \frac{r_2 - r_1}{\ln(r_2/r_1)} \ln(r/r_1) \right]. \quad (2.11)$$

У відповідності до умови застосованого методу лінеаризації для розв'язку системи рівнянь (2.2)-(2.5) встановимо зв'язок між дійсним значенням V_Z і прийнятим середнім значенням V_{z0} . З цією метою проінтегруємо по z вираз $\frac{\partial V_Z}{\partial z}$ із рівняння (2.5) з врахуванням умов (2.6) та (2.7). При цьому

скористаємося також формулами (2.10) та (2.11) для подання виразів для $\frac{\partial V_r}{\partial r}$ і

$\frac{V_r}{r}$. Після наступного інтегрування відносно z отриманого виразу для V_Z в

межах від 0 до h і ділення кінцевого виразу на h , а також розв'язку кубічного рівняння отримуємо:

$$V_{z0} = -\frac{u}{3} \cdot \left\{ \cos \left[\frac{\arccos \left(1 - N - 3N \frac{\omega_k r_0}{\omega_\delta r} \right)}{3} \right] + \frac{1}{2} \right\}, \quad (2.12)$$

де $N = \frac{27\mu h \omega_\delta}{2u^3}$ – безрозмірний коефіцієнт.

Наведений розв'язок (2.12) є можливий до застосування за такої умови, яка витікає із вигляду його математичного подання:

$$0 \leq N + 3N \frac{\omega_k r_0}{\omega_\delta r} \leq 2. \quad (2.13)$$

Для визначення сили лобового опору F переміщенню обертового дзвона, інтегруємо за двома змінними r та φ вираз (2.11) спільно з (2.12). Після виконання відповідних алгебраїчних перетворень отримуємо:

$$F = \frac{3\pi\mu u}{h^3} \cdot \left[\left(1 - \frac{N}{G[f(N, \omega)]^2} \right) f_1(r) - 2Nr_0 \cdot \frac{\omega_k}{\omega_\delta} \cdot \frac{f_2(r)}{[f(N, \omega)]^2} \right], \quad (2.14)$$

$$\text{де } f(N, \omega) = \left\{ \cos \left[\frac{\arccos \left(1 - N - 3N \cdot \frac{\omega_k}{\omega_\delta} \right)}{3} \right] + \frac{1}{2} \right\}, \quad (2.15)$$

$$f_1(r) = \left(\frac{r_2^2 - r_1^2}{2} \right) \cdot \left[r_2^2 + r_1^2 - \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln(r_2/r_1)} \right], \quad (2.16)$$

$$f_2(r) = (r_2 - r_1) \cdot \left[\frac{r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2}{3} - \frac{r_2^2 - r_1^2}{2 \ln(r_2/r_1)} \right]. \quad (2.17)$$

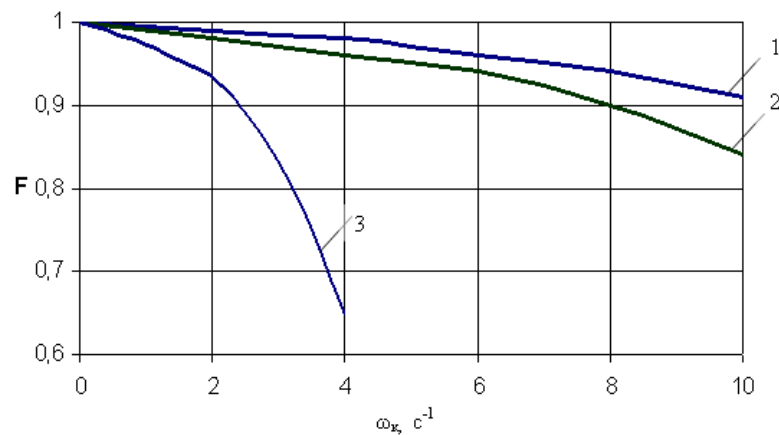
У виразах (2.14)-(2.17) використані наступні додаткові позначення: μ – коефіцієнт динамічної в'язкості замкової рідини; $f(N, \omega)$ – функція коефіцієнта N і кутових швидкостей ω_δ, ω_k ; $f_1(r), f_2(r)$ – функції геометричних розмірів дзвона.

Із аналізу отриманих формул (2.14)-(2.17) витікає, що надання обертового руху дзвону і стабілізуючому кільцю у витіснювачі приводить до зменшення сили лобового опору переміщення дзвона. Звідси також слідує, що при

одночасному обертанні дзвона і стабілізуючого кільця для зменшення лобового опору напрями їх обертання повинні співпадати, так як в граничних умовах (2.6) та (2.7) складові швидкостей V_φ мають однакові знаки.

На рис. 2.2 наведені результати чисельного моделювання отриманих виразів (2.14)-(2.17), які подані у вигляді кривих зміни безрозмірного лобового опору F' як функції від кутової швидкості обертання дзвона ω_d для різних кутових швидкостей ω_k обертання стабілізуючого кільця. За базову величину для переведення лобового опору F у безрозмірну величину прийнятий опір F_0 переміщенню аналогічного не обертового дзвона при фіксованих значеннях змінних ν, h, u, r_1, r_2 . Із отриманих результатів (рис. 2.2) витікає, що при наданні обертання стабілізуючому кільцю ефект зменшення лобового опору може досягати 33,3% і є значно більшим ніж при його відсутності.

Застосування отриманої залежності для визначення сил лобового опору при наближенні обертового дзвона до стабілізуючого кільця дозволяє проектувати і аналітично досліджувати ДЕУ, на базі якої можна створювати робочі еталони дзвонового типу. За рахунок наявності у кільцевому резервуарі обертового стабілізуючого кільця досягається краща стабілізація тиску під дзвоном та на досліджуваному приладі внаслідок зменшення зростання гідродинамічних сил і лобового опору переміщенню дзвона.



$$1 - \omega_k = 0; \quad 2 - \omega_k = 0,2\omega_0; \quad 3 - \omega_k = 5\omega_0$$

Рисунок 2.2 – Залежності зміни лобового опору F' від кутових швидкостей дзвона

Завдяки цьому покращується стабільність відтворюваних еталоном витрат газу і, як наслідок, досягається підвищення точності відтворення і вимірювання ДЕУ витрат і контрольних об'ємів газу.

2.2 Дослідження впливу нестабільності вертикального положення дзвона на метрологічні характеристики еталоних установок

Одним із факторів впливу точності монтажу вузлів дзвонових ЕУ на збільшення їх похибки є відхилення дзвона від вертикального положення. Незважаючи на те, що дзвонові ЕУ конструктивно містять вузли стабілізації його вертикального положення, які сприяють досягненню високої точності ЕУ. При недостатньо якісному регулюванні чи спрацюванні можуть спричинити погіршення роботи установки, оскільки викликають появу участків локального підвищеного тертя, і як наслідок зміну тиску під дзвоном. Крім того, з метою підвищення стабільності відтворюваних витрат газу в ряді випадків доцільною є відмова від примусової механічної вертикалізації дзвона, що може викликати його функціонування в нахиленому положенні. Ці обставини обґрунтовують необхідність кількісної оцінки впливу нестабільності вертикального положення дзвона (рис.2.3) на складові похибки ЕУ .

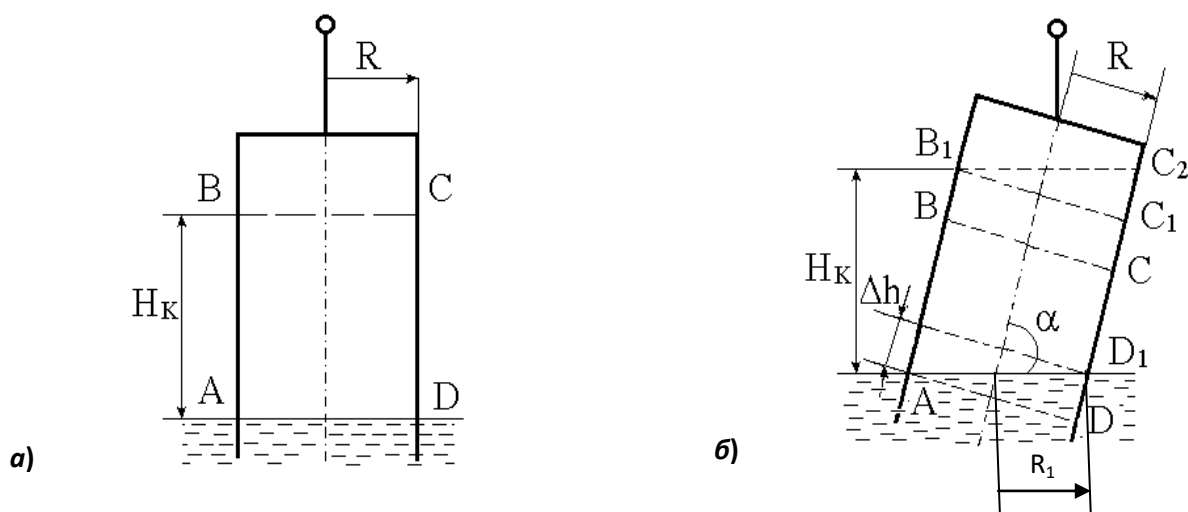


Рисунок 2.3 – Схема витіснення контрольнього об'єму газу при вертикальному (а) і нахиленому (б) положеннях дзвона.

У роботі [8] проведена оцінка значень витіснюваних контрольних об'ємів дзвона при роботі його в однаково нахиленому (перший режим) і змінному нахиленому (другий режим) положеннях.

При першому режимі замість розрахованого об'єму дзвона з фронтальним перерізом ABCD (рис. 2.3а) буде витіснятися контрольний об'єм, що формується перерізом AB₁C₂D₁ (рис. 2.3б). Тому розрахуємо величину різниці цих об'ємів. Внаслідок нахилення дзвона його геометричний радіус R буде змінений на радіус R₁ так званого «змоченого» перерізу дзвона, який визначається за формулою:

$$R_1 = \frac{R}{\sin \alpha}, \quad (2.18)$$

де α - кут нахилу осі дзвона до поверхні замкової рідини.

При цьому зросте на Δh довжина твірної дзвона при його опусканні на величину H_K , яка може бути розрахована з трикутного перерізу B₁C₂C₁. Враховуючи, що $C_2C_1 = \Delta h$ запишемо геометричне співвідношення:

$$\Delta h = 2 \cdot R_1 \cos \alpha. \quad (2.19)$$

З рис. 2.3б є очевидним, що при нахиленому дзвоні зростання витісненого контрольного об'єму ΔV_1 буде становити половину циліндричної частини дзвона, яка визначається висотою Δh його твірної, тобто:

$$\Delta V_1 = \frac{\pi \cdot R^2}{2} \cdot \Delta h. \quad (2.20)$$

Розв'язуючи разом (2.18)-(2.20) отримуємо:

$$\Delta V_1 = \pi \cdot R^3 \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (2.21)$$

Похибку від зміни відтворюваного об'єму за таких умов визначаємо за формулою:

$$\delta_{v_1} = \frac{\Delta V_1}{V_K}, \quad (2.22)$$

де V_K – відтворюваний контрольний об'єм за умови вертикальності дзвона і опусканні його на висоту H_K .

Враховуючи, що $V_K = \pi \cdot R^2 \cdot H_K$, з (2.21) і (2.22) отримуємо:

$$\delta_{v_1} = \frac{R}{H_K} \cdot \operatorname{ctg} \alpha \cdot 100, \% \quad (2.23)$$

При дослідженні впливу зміни нахилу положення дзвона під час витіснення контрольного об'єму будемо виходити із умови, що фактична довжина твірної дзвона $H_{K\phi}$ буде таким чином залежати від кута α , що є очевидним із рис.2.3б:

$$H_{K\phi} = \frac{H_K}{\sin \alpha} \quad (2.24)$$

Тому фактичне зростання твірної дзвона буде дорівнювати віддалі ΔH_K між точками $ВВ_1$, яка визначається за формулою:

$$\Delta H_K = \frac{H_K}{\sin \alpha} - H_K = H_K \cdot (\operatorname{csc} \alpha - 1), \quad (2.25)$$

що приведе до зростання об'єму, що визначається фронтальним перерізом дзвона $ВВ_1С_1С$:

$$\Delta V_2' = H_K (\operatorname{csc} \alpha - 1) \cdot \pi \cdot R^2 \quad (2.26)$$

Враховуючи, що при опусканні на H_K відбулося і нахилення дзвона, то результуюча зміна за цих умов буде визначатися з врахуванням приросту об'єму ΔV_1 від нахилу дзвона, тобто:

$$\Delta V_2 = \Delta V_2' + \Delta V_1 \quad (2.27)$$

Аналогічно до формули (2.22) вираз для оцінки похибки для змінного положення дзвона на базі (2.23), (2.26) та (2.27) можна записати:

$$\delta_{v_2} = ((\operatorname{csc} \alpha - 1) + \frac{R}{H_K} \cdot \operatorname{ctg} \alpha) \cdot 100, \% \quad (2.28)$$

Для оцінки складових похибок δ_{v_1} і δ_{v_2} формули (2.23) і (2.28) запишемо через кут $\beta = 90 - \alpha$, який буде характеризувати відхилення осі дзвона від вертикальності, що є більш доцільним з точки зору практичних вимірювань і контролю даного параметра. Тому отримуємо:

$$\delta_{v_1} = (\operatorname{csc}(90 - \beta) - 1) \cdot 100, \% \quad (2.29)$$

$$\delta_{v_2} = ((\csc(90 - \beta) - 1) + \frac{R}{H_K} \cdot \operatorname{ctg}(90 - \beta)) \cdot 100, \% \quad (2.30)$$

Моделювання проведено для умов зміни кута β в діапазоні (0...5) градусів, що вибрано як максимально можливе значення при неякісному монтажі направляючих переміщення дзвона.

Графічна ілюстрація похибки δ_{v_1} , яка як впливає з (2.29) не залежить від відтворюваного контрольного об'єму, наведена на рис. 2.4. З нього слідує, що характер зміни похибки є нелінійним із збільшенням впливу при зростанні кута нахилу. При цьому встановлено, що значення похибки δ_{v_1} є суттєвим (до 0,4%) і може бути співрозмірним до основної допустимої похибки (для дзвонів установок знаходиться в межах 0,1...0,5% в залежності від призначення робочого еталона).

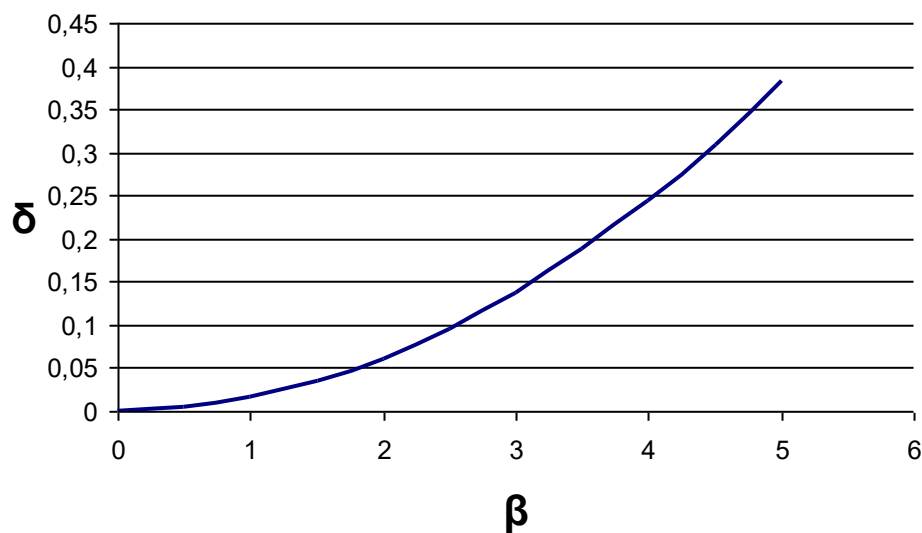


Рисунок 2.4 – Графічна ілюстрація похибки від кута нахилу дзвона δ_{v_1}

При моделюванні похибки δ_{v_2} крім кута β враховувалося також умова функціонування установки, оскільки в формулі (2.30) є співвідношення $\frac{R}{H_K}$. Однак, зважаючи на те, що при зростанні контрольного об'єму значення H_K змінюється від мінімального (прямує до нуля) до максимального, яке може декількаразово перевищувати радіус дзвона, тому для побудови графічних

залежностей використаємо співвідношення $\frac{H_K}{R}$. Це співвідношення при мінімальних контрольних об'ємах буде близьким до нуля, а при максимальних контрольних об'ємах для відомих створених конструкцій воно не перевищує 3 [9], що визначає умови моделювання. Результати даного моделювання наведені на рис. 2.5, які характеризують про можливість виникнення суттєвої похибки (обмежена 10%) при некоректному виборі малих значень висоти контрольного об'єму за умови неякісного виконання направляючих вертикального переміщення дзвона. З графіка також видно, що аж при співвідношенні $\frac{H_K}{R}$ близько до 3 додаткова похибка не буде перевищувати 0,1% при відхиленні осі дзвона від вертикального напрямку на 0,3 градуси.

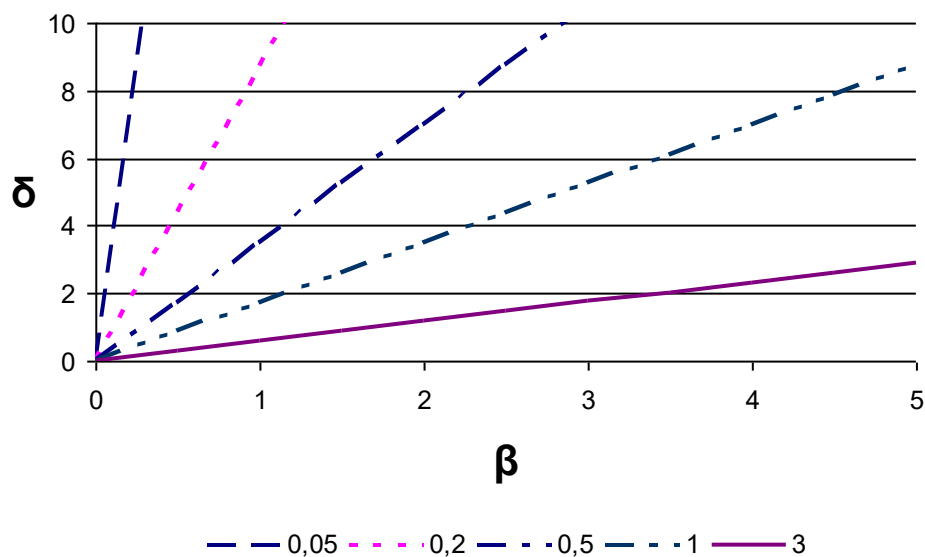


Рисунок 2.5. Графічна ілюстрація похибки від кута нахилу дзвона δ_{VI} та

величини $\frac{H_K}{R}$.

Проведене моделювання забезпечує вирішення однієї із прикладних задач проектування дзвонових установок, зокрема визначення допуску на вертикальність переміщення дзвона як функції від можливого виникнення додаткової похибки, яка на сьогодні не враховується при метрологічних дослідження еталонних установок. Практична реалізація отриманих алгоритмів дозволяє підвищити точність метрологічних досліджень і атестації ЕУ

дзвонового типу, що буде сприяти підвищенню точності відтворення ними об'єму та об'ємної витрати газу.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ДЗВОНОВИХ ЕТАЛОННИХ УСТАНОВОК

3.1 Дзвонова установка із зменшенням впливу випаровування замкової рідини

Відомий робочий еталон об'єму газу дзвонового типу. [10].

В цьому еталоні для стабілізації тиску під дзвоном на його зовнішній поверхні розміщене стабілізуюче кільце з отворами, а шків, який проходить через гнучкий трос, що під'єднаний до зрівноважуючої протизваги, має поверхню Архімедової спіралі.

Однак у відомому еталоні не досягається необхідна стабілізація тиску під дзвоном при його опусканні, оскільки розміри і форма стабілізуючого кільця в нижній частині дзвона і шківа з поверхнею Архімедової спіралі, які призначені для стабілізації тиску під дзвоном є сталими і конструктивно розраховані до параметрів робочого еталона. Таке виконання еталона не забезпечує можливість коригування тиску відповідно до вибраного режиму роботи. Крім того, в еталоні неможливо стабілізувати з високою точністю тиск під дзвоном внаслідок нелінійного зростання сил гідродинамічного опору переміщенню дзвона при збільшенні глибини його занурення у замкову рідину кільцевого витіснювача і при наближенні до дна кільцевого резервуару, що приводить до зменшення точності відтворення і вимірювання еталоном витрат і контрольних об'ємів газу.

Відомим також є робочий еталон об'єму і витрати газу дзвонового типу, який призначений для точної передачі мірного об'єму від дзвона до лічильника газу або витратоміра на заданих різних витратах. [11].

Проте і в даному еталоні не досягається необхідна стабілізація тиску під дзвоном при його опусканні, оскільки оснащення кільцевого резервуара стабілізуючим кільцем, яке кінематично зв'язано з електроприводом його обертання відносно вертикальної осі дзвона, забезпечує покращення стабілізації тиску під дзвоном тільки внаслідок зменшення зростання

гідродинамічних сил тертя і лобового опору переміщенню дзвона головним чином при наближенні дзвона до обертового кільця.

Кількісно наявність впливу сил тертя і гідродинамічного опору стосуються насамперед тільки конструктивних розмірів дзвона і кільцевого резервуара, а також режимів функціонування робочого еталона. Однак, вони передбачають необхідність попереднього дослідження і визначення режимів функціонування робочого еталона, які стосуються, наприклад, дискретно-динамічного режиму роботи (без наявності витримки часу у верхньому положенні дзвона перед його опусканням) або режиму роботи з часовою фіксацією (витримкою) знаходження дзвона у верхньому положенні для зменшення впливу термогазодинамічних і гідродинамічних процесів. Наявність перших впливає на процес випаровування рідини кільцевого резервуара із змоченої поверхні стінок дзвона, внаслідок чого змінюється температура і парціальний тиск парів рідини кільцевого резервуара у піддзвоновому просторі. Наявність другого фактору впливає на режим стікання рідини із змочених поверхонь стінок дзвона, чим визначається його вага і, як наслідок, тиск під дзвоном, тобто робочий тиск установки.

Наявність обертового кільця забезпечує стабілізацію тиску тільки при зростанні глибини занурення дзвона і передбачає реалізацію алгоритму зменшення сил гідродинамічного опору для попередньо сформованих умов функціонування установки, наприклад, після повного чи конкретно визначеного часткового стікання рідини із стінок дзвона. Наявність рідини на стінках дзвона не тільки впливає на зміну його маси (опосередковано на стабільність тиску) але і на температуру повітря під дзвоном, оскільки є наявний вплив випаровування рідини, наприклад, води із стінок дзвона.

У випадку використання оливи у кільцевому резервуарі зменшується вплив випаровування, але зростає вплив зміни маси дзвона внаслідок більш тривалого часу стікання оливи, чим зменшується продуктивність градууювально-повірочних робіт на еталоні через довготривалість часу перебування дзвона у його верхньому положенні, що не враховує наявна система компенсації зміни ваги дзвона і характеризує цей еталон як технічно

недосконалий внаслідок забезпечення недостатньої стабільності тиску під дзвоном при роботі еталона на різних режимах відтворення витрат газу.

Тому необхідно створити новий більш досконалий пристрій стабілізації тиску під дзвоном робочого еталона об'єму і витрати газу дзвонового типу шляхом введення конструктивних змін, котрі зумовлюють їх застосування при відповідній взаємодії його з робочим еталомом, що дозволить забезпечити підвищення точності відтворення і вимірювання еталомом витрат і контрольних об'ємів газу при одночасному збільшенні продуктивності проведення метрологічних досліджень витратомірів і лічильників газу.

Поставлена задача вирішується тим, що внутрішня і зовнішня поверхня дзвона покриті полімерним покриттям, незмочуваним відносно рідини кільцевого резервуара робочого еталона.

За рахунок наявності полімерного покриття, незмочуваного відносно рідини кільцевого резервуара, вилучається при роботі еталона вплив зміни маси дзвона при наявності на його стінках плівки стікаючої рідини при підйманні дзвона, тобто при його наповненні робочим середовищем (газом). Це дозволяє вилучати із робочого циклу еталона період витримки у верхньому положенні дзвона для забезпечення стікання рідини із змоченої поверхні дзвона. Цим досягається покращення стабілізації тиску під дзвоном і, як наслідок, досягається підвищення точності відтворення і вимірювання еталомом витрат і контрольних об'ємів газу. Завдяки цьому також досягається зменшення тривалості метрологічних досліджень витратомірів лічильників газу.

Підвищенню точності функціонування еталона також сприяє відсутність при підйманні дзвона термогазодинамічних процесів, які зумовлені випаровуванням рідини із внутрішніх і зовнішніх стінок дзвона, оскільки випаровування приводить до зниження робочої температури повітря під дзвоном і зростання парціального тиску парів рідини кільцевого резервуара.

На рис. 3.1 зображена дзвонова установка із зменшенням впливу випаровування замкової рідини.

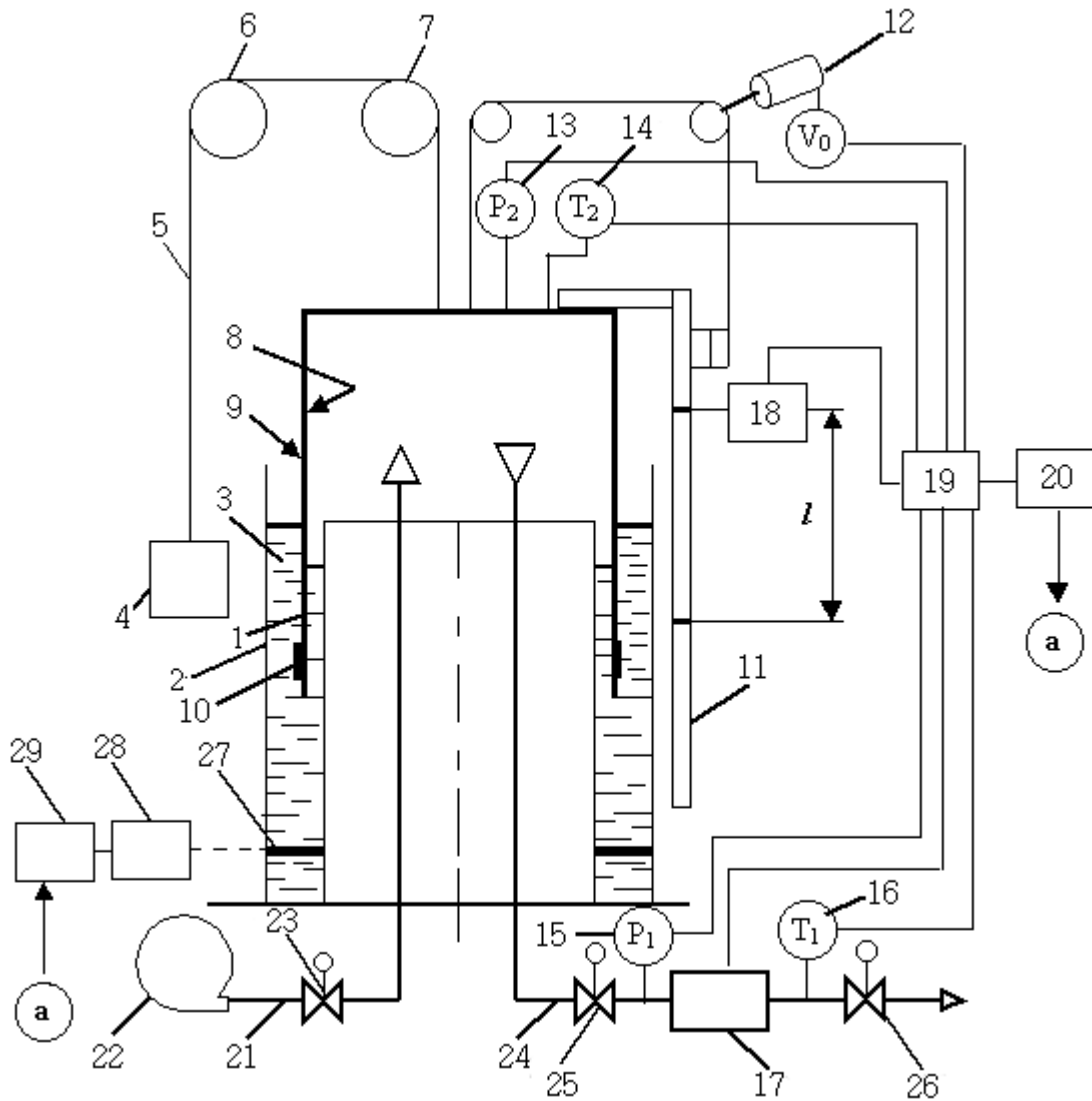


Рисунок 3.1 – Дзвонова установка із зменшенням впливу випаровування замкової рідини

Робочий еталон складається із дзвона 1, зануреного в кільцевий резервуар 2 з рідиною 3 і зрівноваженого противагою 4 за допомогою вагового гнучкого тросу 5 через шківів 6 і 7, який входить у склад пристрою компенсації маси дзвона 1. Внутрішня 8 і зовнішня 9 поверхні дзвона покриті полімерним покриттям, наприклад, тефлоновим, яке є незмочуваним рідиною кільцевого резервуара. В нижній частині дзвона 1 розміщене стабілізуюче концентричне кільце 10 з отворами. Контактна лінійка 11 прикріплена до дзвона 1 і має прорізи на мірній відстані l , яка відповідає відтворюваному мірному об'єму газу. До складу еталона входять давач 12 переміщення дзвона, давачі тиску 13 і

температури 14 параметрів середовища під дзвоном, давачі тиску 15 і температури 16 середовища на випробувальній ділянці з досліджуваним приладом 17, оптоелектронна пара 18, контролер 19, ПЕОМ 20. Система подачі газу до робочого еталону складається з вхідного трубопроводу 21, джерела робочого газу, наприклад, у вигляді повітродувки 22 і запірної клапана 23. Випробувальна ділянка з приладом 17 змонтована у вихідному трубопроводі 24 з запірним клапаном 25 і містить регулятор витрати 26. Внизу кільцевого резервуара 2 змонтоване стабілізуюче кільце 27 з електроприводом 28 його обертання та задавач 29 режиму роботи електроприводу.

Робочий еталон об'єму і витрати газу працює таким чином.

Перед початком випробувань за допомогою задавача 29 встановлюють необхідний режим роботи електроприводу 28, який визначається відповідно з умовами дослідження витратомірів чи лічильників газу і в тому числі необхідним значенням відтвореної витрати газу. Далі, стосовно цього значення, витрати газу задають необхідне положення пристрою 26. Після цього заповнюють робочим газом піддзвоний простір дзвона 1. З цією метою за допомогою повітродувки 22 по вхідному трубопроводі 21 при відкритому клапані 23 та закритому клапані 25 заповнюють піддзвоний простір дзвона 1 до заданого його верхнього положення. При підйманні дзвона внутрішня 8 і зовнішня 9 поверхні стінок дзвона 1 залишаються не змоченими рідиною кільцевого резервуара. При досягненні дзвоном 1 необхідного положення запірний клапан 23 закривають і припиняють подачу газу від джерела 22. Дзвін 1 опиняється у нерухомому зваженому стані.

Після цього без витримки часу перебування дзвона у нерухомому зваженому стані відкривають запірний клапан 25 і починають випробування. Дзвін 1 під власною вагою починає витискати робочий газ через випробувальну ділянку 24 з досліджуваним приладом 17. Створювана витрата у вихідному трубопроводі 24 визначається попередньо встановленим положенням регулятора 26, а відтворений об'єм газу відлічується контролером 19 по величині переміщення контрольної лінійки 11 вздовж оптоелектронної пари 18.

Під час опускання дзвона відбувається зменшення його ваги за рахунок зростання виштовхувальної сили внаслідок збільшення глибини занурення дзвона. При цьому довантаження дзвона здійснюється ваговим гнучким тросом 5, який навантажений противагою 4 і проходить через шківни 6 і 7. Одночасно згідно алгоритму роботи задавача 29 функціонуванням електроприводу 28 і обертанням стабілізуючого кільця 27 відбувається зменшення сил опору переміщенню дзвона, чим забезпечується його довантаження у відповідності з алгоритмом, який відповідає функціональній залежності від зміни ваги дзвона 1. Одночасно при виникненні випадкових флуктуацій тиску під дзвоном здійснюється додатковий вплив від давача тиску 13 через контролер 19 і ПЕОМ 20 на вузол 29 (на фіг. позначено вплив лінією «а»), який керує роботою електроприводу 28. Зокрема, при зменшенні тиску відбувається зростання частоти обертання кільця 27, а при зростанні тиску – навпаки. Таким чином досягається стабілізація тиску під дзвоном 1 на протязі всього періоду його опускання, тобто часу відтворення і вимірювання робочим еталоном об'єму чи витрати газу.

При калібруванні та повірці лічильників газу відлічений контролером 19 контрольний об'єм газу V_0 порівнюється з об'ємом, водночас виміряним досліджуваним приладом 17 (лічильником) з врахуванням зміни параметрів робочого середовища за даними інформації від давачів 13-16. На підставі обробки інформації ПЕОМ 20 роблять висновок про метрологічні характеристики лічильника.

Після опускання дзвона 1 до крайнього нижнього положення запірний клапан 25 закривають, що свідчить про завершення випробувального циклу.

Калібрування та повірка витратомірів газу проводиться аналогічно. При цьому здійснюється відлік контрольного об'єму газу і водночас проводять розрахунок відтворюваної витрати робочого газу, наприклад, усередненням контрольного об'єму протягом часу його відтворення. Потім розраховане значення відтворюваної витрати газу порівнюється з сигналом досліджуваного витратоміра, що є підставою для визначення його метрологічних характеристик.

3.2 Дзвонова установка із стабілізованим рівнем рідини витіснювача

Відома установка дзвонового типу [12] що складається з дзвону, зануреного в кільцевий резервуар з витіснювачем, заповнений затворною рідиною; системи компенсації ваги дзвонового мірника внаслідок його занурення в рідину витіснювача відлікового пристрою, що фіксує вертикальне переміщення дзвону, та системи подавальних трубопроводів, оснащених клапанами та задавачем витрати.

Недоліком такої установки є те, що при опусканні дзвону останній занурюється в затворну рідину витіснювача, викликаючи при цьому підняття її рівня, що зумовлює витіснення додаткового об'єму газу з піддзвонового простору і зумовлює виникнення додаткової похибки при вимірюванні об'єму газу.

Відомою також є дзвонова установка задання об'єму газу ВДДУ-0,028 [13], в конструкції витіснювача якої відсутній внутрішній циліндр, за рахунок чого було збільшено об'єм затворної рідини, і як наслідок, зменшено похибку, викликану підняттям її рівня внаслідок занурення дзвона.

Недоліком такого конструктивного рішення є те, що воно може бути використане лише для мінімізації похибки, викликані підняттям рівня затворної рідини, але не вирішує проблеми повної або часткової її компенсації.

Також відома дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу [14], в якій застосований пристрій стабілізації тиску, що виконаний у вигляді профільної компенсаційної посудини, яка через гнучку стрічку під'єднана до дзвона та гідравлічно з'єднана з резервуаром. За рахунок зміни висоти посудини при переміщенні дзвона рівень рідини в ній змінюватиметься пропорційно дії виштовхувальної (Архімедової) сили на одиницю переміщення дзвона за рахунок її перетікання в основний резервуар, чим забезпечується компенсація ваги дзвона.

Основним недоліком запропонованої конструкції є зростання рівня затворної рідини в резервуарі внаслідок її перетікання з компенсаційної

посудини, що в свою чергу неминуче призведе до виникнення додаткової похибки при відтворенні об'єму газу.

Тому необхідно створення пристрою для забезпечення постійного рівня затворної рідини в баку витискувача незалежно від глибини занурення дзвона та динамічного режиму роботи установки, що дозволить досягти підвищення точності відтворення і вимірювання контрольних об'ємів газу з високим ступенем повторюваності.

Це можна вирішити тим, що витискувач конструктивно складається з двох резервуарів - основного і компенсаційного, які гідравлічно з'єднані між собою і утворюють сполучені посудини. В свою чергу противага виконана у вигляді каліброваного циліндра, об'єм якого в кожному умовному перерізі рівний об'єму перерізу кільця дзвона. Циліндр противаги нижнім кінцем занурений в компенсаційний резервуар та через шків за допомогою гнучкого механічного зв'язку з'єднаний з дзвоновим мірником, що забезпечує опускання противаги при підйманні дзвона та її підймання при русі дзвона донизу. Довжина механічного зв'язку вибрана таким чином, щоби в момент, коли дзвін знаходиться в крайньому нижньому положенні, противага була занурена нижнім кінцем в затворну рідину. Таким чином забезпечується постійність величини об'єму (сума об'ємів дзвонового мірника та каліброваної противаги), що в будь-який момент занурені в затворну рідину.

Конкретна площа будь-якого умовного перерізу противаги відповідає площі перерізу дзвонового мірника. Практично це досягається за рахунок наперед заданого профілю каліброваного циліндра, що визначається експериментально, виходячи з результатів вимірювання товщини стінки дзвона та його діаметра в конкретному умовному перерізі. Додатково для мінімізації гідродинамічного опору при зануренні нижній кінець циліндра виконаний в формі конуса.

Суть установки пояснюється рис. 3.2, на якому схематично зображено принципову схему дзвонової дискретно-динамічної установки для калібрування та дослідження лічильників і витратомірів газу.

Така еталонна дискретно-динамічна установка складається з дзвонового мірника 1, нижньою частиною зануреного в резервуар з витіснювачем 2, наповненого затворною рідиною, компенсаційного резервуара 3, що з'єднаний з основним резервуаром та утворює з ним сполучену посудину. За допомогою гнучкого механічного зв'язку 4 дзвін 1 з'єднаний з каліброваною протигагою 5, що розташована вертикально, співвісно з компенсаційним резервуаром.

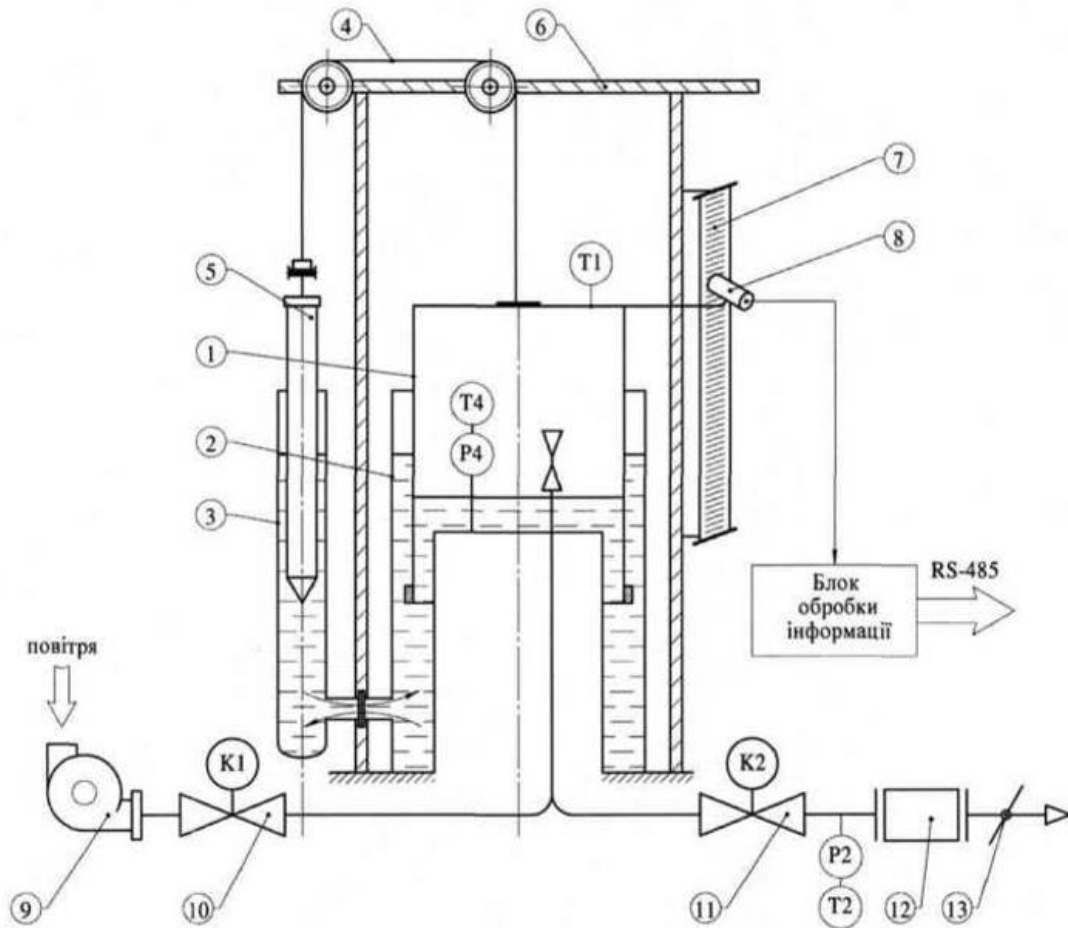


Рисунок 3.2 – Дзвонова установка із стабілізованим рівнем рідини витіснювача

Установка обладнана системою вимірювання вертикального переміщення дзвона, що складається з жорстко закріпленої на рамі 6 оптичної лінійки 7 та оптичного зчитувача 8, механічно зв'язаного з дзвоновим мірником. Система подачі вимірюваного середовища складається з вихрового вентилятора 9 та

запірних клапанів 10 і 11. На вихідному трубопроводі змонтована вимірювальна ділянка, що містить досліджуваний засіб вимірювальної техніки (ЗВТ) 12, який відсікається з однієї сторони клапаном 12, а з іншої встановленим задавачем витрати 13. Для врахування змін параметрів робочого середовища при його русі з піддзвонового простору до місця встановлення ЗВТ в установці передбачені давачі тиску (P2, P4) та температури (T1, T2, T4).

Еталонна дзвонова дискретно-динамічна установка працює наступним чином.

Перед початком проведення вимірювання за допомогою вентилятора 9 при відкритому клапані 10 та закритому клапані 11 по вхідному трубопроводу заповнюють внутрішню порожнину дзвона 1, піднімаючи його до заданого верхнього положення, при досягненні якого, запірний клапан 10 закривають та припиняють подачу робочого середовища. Дзвін 1 опиняється у нерухомому зваженому стані протягом часу, необхідного для стабілізації термодинамічних процесів в піддзвоновому просторі.

Після цього встановлюють необхідну величину витрати за допомогою задавача 13, відкривають запірний клапан 11 і починають випробування. Дзвін 1 під власною вагою починає витискати робочий газ крізь випробувальну ділянку з досліджуваним приладом 12, при цьому витіснений об'єм газу відлічується блоком обробки інформації за величиною переміщення оптичного зчитувача 8 відносно оптичної лінійки 7.

Компенсація сил виштовхування при опусканні дзвонового мірника відбувається за допомогою одного з загальновідомих способів, наприклад, описаного в [15] (на схемі не показано).

При опусканні дзвона 1 відбувається синхронне піднімання противаги 5, при цьому додаткова кількість затворної рідини, що витісняється дзвоновим мірником, перетікає в компенсаційний резервуар. Таким чином частина об'єму (сумарно дзвона і противаги), зануреного в гідрозамок, залишається незмінною, внаслідок чого досягається сталість рівня затворної рідини. При досягненні дзвоном 1 крайнього нижнього положення запірний клапан 11 закривають, що є кінцевою операцією поточного випробувального циклу.

При калібруванні або повірці лічильників газу відрахований блоком обробки інформації контрольний об'єм газу порівнюється з об'ємом, що паралельно був виміряний досліджуваним ЗВТ 12, що досліджується, з врахуванням зміни параметрів робочого середовища за показами давачів параметрів вимірюваного середовища. На підставі цього роблять висновок про метрологічні характеристики досліджуваного приладу.

Аналогічно відбувається повірка або калібрування витратомірів газу, але в цьому разі, окрім відліку контрольного об'єму газу, водночас проводять розрахунок величини відтворюваної витрати газу, наприклад, усередненням виміряного контрольного об'єму протягом часу його відтворення. Розраховане значення відтворюваної витрати газу порівнюється з показами досліджуваного витратоміра, з чого роблять висновок про його метрологічні характеристики.

3.3 Метод підвищення точності оцінювання об'єму дзвона

Відомі установки, в яких об'єм дзвона в процесі калібрування їх мірника визначається шляхом точного зваження і визначення густини рідини, що зливається з проміжної посудини з наступним нанесенням значення цього об'єму на шкалу мірника [16]. При такому способі калібрування мірника, наприклад об'ємом 5 м³ і більше, поділки на його шкалі наносяться через кожен кубічний метр. Потім ділянка шкали, що відповідає цьому об'єму, розбивається на рівні по довжині інтервали, після чого кожна десята поділка оцифровується. Однак, в цьому випадку потрібно, щоб дзвін не мав, принаймні в межах одного кубічного метра, жодних відхилень від циліндричності, тобто площа його поперечного перерізу повинна бути незмінною. Досягти цього в процесі виготовлення дзвона внаслідок технологічних складностей практично неможливо. Тому шкала, що наноситься навіть в межах одного кубічного метра, неминуче нелінійна, що ніяк не враховується в описаному способі. Відома дзвонова установка, в якій для калібрування об'єму дзвона безперервно вимірюють і реєструють тиск під дзвоном в процесі його підйому і опускання, після чого по опосередкованому значенню зміни тиску судять про зміну площі

поперечного перетину дзвона [17]. Для вимірювання і реєстрації тиску під дзвоном використовується самопишучий малоінерційний вимірювач тиску.

Використання такого способу дозволяє підвищити точність установки за рахунок зменшення похибки градуювання шкали мірника, що досягається можливістю обчислення і нанесення на шкалу будь-якого значення об'єму шляхом відліку від нульової поділки з врахуванням існуючих відхилень поверхні дзвона від циліндричності.

Однак і цей спосіб не позбавлений недоліків. Так, в конструкції переважної більшості відомих дзвонових установок, в яких реалізовано цей спосіб, для стабілізації тиску під дзвоном необхідно використовувати компенсаційну стрічку з розміщеними на ній тягарцями і противагою. В процесі калібрування мірника за цим способом необхідно проводити його демонтаж з обов'язковим зняттям компенсаційної стрічки, що неминуче призводить до втрати точності цього зразкового засобу вимірювання. Крім того, для досягнення високої точності калібрування дзвонового мірника за цим способом потрібна прецизійна і дорога апаратура.

Відомий також спосіб, за яким об'єм дзвона визначається по частинах за так званим стрепінгметодом шляхом вимірювання його геометричних розмірів [18]. Для калібрування дзвона цим способом проводять серію вимірювань внутрішніх діаметрів по його висоті, після чого визначають середнє значення діаметра для кожної відмітки, а по ньому знаходять площу кола, еквівалентного даному перетину дзвона. Знаючи площу, неважко визначити і об'єм.

Однак, і цей спосіб не позбавлений недоліку, який полягає у необхідності проведення дуже великої кількості трудомістких вимірювань внутрішнього діаметра дзвона, а також його висоти. Крім того при такому способі необхідно вимірювати прирости об'єму рідини, що витісняється стінками дзвона при його опусканні. При зменшенні ж кількості вимірювань діаметра втрачається правомірність заміни фігури реального перетину дзвона на коло еквівалентного діаметра.

Нове вирішення цієї задачі реалізується таким чином [19]. У відомому способі точного оцінювання об'єму дзвона, що включає визначення площ його

поперечних перетинів та висот окремих ділянок з подальшим сумуванням їх об'ємів, згідно з винаходом, з метою підвищення точності оцінювання об'єму дзвона без збільшення кількості прямих вимірювань діаметрів за допомогою математичних прийомів здійснюється поділення площ його поперечних перетинів на мікросектори з подальшим інтегруванням цих мікроплощ і визначенням повної площі кожного з перетинів дзвона по висоті як фігури довільного профілю, що наближається до кругового з наступним визначенням повного об'єму дзвона як суми об'ємів його ділянок при одночасному підвищенні точності обробки результатів калібрування за рахунок використання ПЕОМ. З цією метою в k перетинах дзвона по його висоті шляхом прямих вимірювань за допомогою мікрометричного нутроміра визначають n значень його внутрішнього діаметра в кожному перетині через певний кут α . Значення k та α вибираються, виходячи з геометричних розмірів дзвона та умов досягнення необхідної точності - з одного боку, і можливості одержання достатнього обсягу експериментальних даних - з другого. Таким чином дістаємо інформацію у вигляді k масивів по n значень діаметра в кожному для подальшої обробки на ПЕОМ.

Перетин дзвона розглядається як довільна фігура, яка своїм периметром наближається до кола. З метою підвищення точності розрахунку площі перетину S_j передбачається використання ПЕОМ. Шляхом інтерполяції кривої периметра перетину за методом кубічних сплайнів, який забезпечує найвищу точність проведення такої операції, на основі виміряних експериментально n діаметрів дзвона розраховують їх дещо більшу кількість N для кожного з k перетинів, причому N вибирається з міркувань досягнення потрібної точності визначення площі перетину. Таким чином вхідна інформація розширюється і може бути представлена у вигляді матриці розмірністю $(k \cdot N)$.

Для калібрування системи вимірювання положення дзвона (СВПД) по висоті (її похибка є однією зі складових похибки збору і обробки вимірювальної інформації еталона витрати газу) через кожен міліметр його положення за допомогою ПЕОМ транспонується вхідна матриця розмірністю $(k \cdot N)$ в матрицю розмірністю $(k \cdot N)$. Ця матриця характеризує конфігурацію

дзвона по вертикалі. Далі за допомогою ПЕОМ інтерполюється матриця розмірністю $(k*N)$ з перетворенням її в масив розмірністю $(k*N)$. Інтерполюючи ще раз одержану матрицю, одержують інформацію у вигляді K масивів по N значень у кожному, де K - величина, що вибирається в залежності від потрібної точності калібрування (число масивів K рекомендується вибирати рівним висоті ділянки робочого об'єму дзвона в мм з метою забезпечення можливості обчислення площ січення дзвона з інтервалом через кожен міліметр його висоти). Таким чином дістанемо площі K перетинів по висоті дзвона на основі N значень діаметрів.

Повний об'єм дзвона V розглядається як сума об'ємів ділянок дзвона між двома сусідніми перетинами, розрахованими за описаною вище методикою.

3.4 Дзвонова установка неперервної дії

Відомі установки для калібрування і повірки лічильників та витратомірів газу, створені на базі дзвонових мірників, в яких при повірці як робоче середовище використовується повітря. Це пояснюється цілим рядом незручностей, які виникають при використанні природного газу як робочого середовища - жорстких умов щодо іскро-, вогне- і вибухозахищеності установки, проблеми утилізації відпрацьованого газу і ін. Однак, як показали дослідження, заміна природного газу повітрям при градуюванні і повірці витратомірів чи лічильників газу, хоч і спрощує технологію процесу, а також правила роботи з установкою та її конструкцію, але в той же час неминуче призводить до зниження точності калібрування і повірки приладів внаслідок заміни справжнього робочого середовища — природного газу - на середовище-замінник - повітря. Таким чином, можна стверджувати, що описані у вищезгаданій літературі установки не забезпечують максимально можливої точності дослідження витратомірів і лічильників газу.

Відома також установка [20] для калібрування і повірки витратомірів і лічильників газу, найбільш близька до винаходу по сукупності ознак, 2 яка складається із зануреного у заповнений рідиною витіснювач дзвона з

противагою і компенсаційною стрічкою, оптико-механічної системи передачі інформації про переміщення дзвона, джерела витрати, системи з'єднувальних трубопроводів з запірними органами, набору контрольно-вимірювальних та управляючих приладів, засобу оптимального розподілу об'єму дзвона а також повірочного стенда з досліджуваним приладом (ДП). В ході вимірювального циклу піддзвоновий простір наповнюється робочим середовищем від джерела витрати, при чому після заповнення $3/4$ об'єму паралельно із дозаповненням піддзвонового простору відбувається ще і розгін досліджуваного прилада. Після повного заповнення об'єму джерело витрати відключається від установки і газ з-під дзвона витікає через ДП під дією тиску під дзвоном. При цьому відлік показів з останнього, а також збір інформації про переміщення дзвона, а отже і про значення відтворюваного установкою об'єму, починається лише після усталення перехідних процесів в установці (тобто після згасання коливань тиску під дзвоном, обумовлених зміною напрямку його руху).

Про завершення перехідних процесів сигналізує спеціально введений в установку засіб оптимального розподілу об'єму, який складається з малоінерційного перетворювача тиску, який працює в комплекті з електронною схемою формування сигналів "плаваючих" початку і кінця відліку контрольного об'єму. Після проходження через ДП заданої порції газу покази приладу порівнюються із значенням витісненого з-під дзвона контрольного об'єму і таким чином визначається похибка приладу. Оскільки установка працює по розімкнутому циклу, при якому потік повітря на її виході викидається в атмосферу, то робочим середовищем в ній може бути тільки повітря. Крім того, система індикації положення дзвона і відліку відтворюваного об'єму в згаданій установці має обмежену ступінь дискретизації і як наслідок - обмежену точність (в ній використовується непрозора лінійка з горизонтальними наскрізними щілинами, нанесеними в процесі калібрування мірника, яка рухається між джерелом та приймачем світла). Таким чином, описана з установка не забезпечує максимально можливої точності повірки витратомірів чи лічильників газу, що вимагає подальшого удосконалення. Задачею, що ставилась при удосконаленні

установки є підвищення точності установки шляхом такої зміни її структури і конструкції, яка дала б змогу при її роботі замість середовища замітника використовувати натуральне робоче середовище - природний газ, а також за рахунок використання для індикації положення дзвона та відліку відтворюваного об'єму високоточної оптичної системи індикації положення дзвона в комплекті з ПЕОМ.

Для реалізації поставленої задачі в структуру установки, яка містить дзвін з противагою і компенсаційною стрічкою, занурений у заповнений рідиною витіснювач, джерело витрати, систему з'єднувальних трубопроводів із запірними органами, набір контрольно-вимірювальних та управляючих приладів, а також повірочний стенд з ДП, згідно винаходу вводиться ще один взірцевий дзвоновий мірник з комплектом контрольно-вимірювальних датчиків та управляючих приладів; обидва дзвонові мірники оснащуються високоточними цифровими оптичними системами з фотоелектричним скануванням для індикації положення їх дзвонів, які складаються з оптичних лінійок зі зчитуючою голівкою та блоків обробки інформації. Крім того в структуру установки вводиться ПЕОМ (наприклад типу IBM VC) для збору, систематизації, обрахунків та представлення оператору вимірювальної інформації. Для цього установка оснащується набором аналогово-цифрових перетворювачів для перетворення отриманої з первинних давачів і управляючих пристроїв інформації у придатну для вводу в ПЕОМ цифрову форму.

Наявність в структурі установки другого дзвонового мірника дозволяє створити універсальну замкнуту систему, в якій як робоче середовище може використовуватись природний газ. Зауважимо, що така установка водночас є придатною і для роботи на середовищі-заміннику - повітрі і може працювати як по замкнутому, так і по розімкнутому циклах. Коли робочим середовищем обирається повітря, то схема установки спрощується, бо відпрацьоване повітря може скидатись безпосередньо в атмосферу (структура установки в 4 цьому випадку така: джерело витрати — дзвоновий мірник — досліджуваний прилад — атмосфера). У випадку, коли робочим середовищем служить природний газ,

установка працює циклічно по замкнутому циклу: джерело витрати — перший дзвоновий мірник — досліджуваний прилад — другий дзвоновий мірник — досліджуваний прилад — перший дзвоновий мірник. Оснащення дзвонових мірників високоточними цифровими оптичними системами з фотоелектричним скануванням для індикації положення їх дзвонів, а також введення до структури установки ПЕОМ для збору, систематизації, обробки та представлення вимірювальної інформації дасть змогу суттєво підвищити точність дозування і оцінювання контрольної дози газу, а також, при дослідженні витратомірів газу підвищити точність відтворення і вимірювання осередненої в часі витрати та миттєвих значень витрати газу. Крім того, введення до структури установки ПЕОМ суттєво покращить її роботу за рахунок візуалізації отриманих результатів, а також дозволить підвищити точність обчислень та продуктивність випробувальних робіт за рахунок їх автоматизації і алгоритмізації, а також за рахунок можливості реалізації двох і більше вимірювальних циклів за час одного ходу дзвона внаслідок можливості пропуску через ДП кількох послідовних порцій (доз) газу.

Таким чином, впровадження запропонованих у винаході нововведень дозволить вирішити поставлену задачу підвищення точності калібрування і повірки установкою витратомірів та лічильників газу.

На рис 3.3 подано схему дзвонової установки неперервної дії.

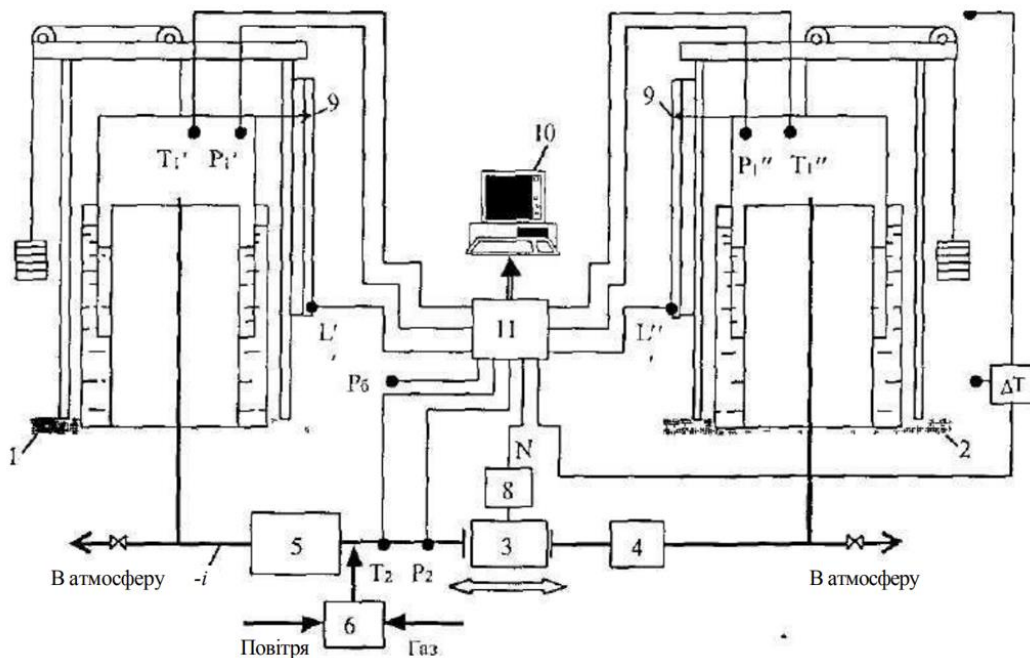


Рисунок 3.3 – Схема дзвонової установки неперервної дії

Установка складається з двох взірцевих мірників 1 і 2 дзвоного типу, повірочного стенда (на фіг. окремо не показаний) для герметичного під'єднання ДП в систему трубопроводів із встановленим на ньому досліджувальним приладом 3, задавача витрати 4, газодувки 5 з редуктором 6, системи з'єднувальних трубопроводів 7 з запірними органами. До інформаційно-вимірювальної системи установки входять такі первинні перетворювачі з уніфікованими вихідними сигналами: температури T_U і T_i " та тиску P_i і P_j " під дзвонами, температури T_g і тиску P_2 перед ДП, градієнта температур ΔT по висоті приміщення, в якому розміщена установка, та атмосферного тиску P_b , а також датчик 8 обертів N вала лічильного механізму ДП, цифрові оптичні системи 9 з фотоелектричним скануванням для індикації положення L' і L'' дзвонів та ПЕОМ 10 з концентратором 11 для збору, обробки і представлення вимірювальної інформації. Схема установки забезпечує її роботу як на природному газі, так і на повітрі. З цією метою передбачено можливість заповнення мірників 1 і 2 як повітрям, так і природним газом.

Схема забезпечує роботу установки як у спареному варіанті, коли робоче середовище за допомогою відцентрової газодувки 5 перекачується з-під дзвона першого мірника у піддзвоновий простір другого, так і в автономному режимі, коли кожен з мірників може працювати одноосібно. Перший варіант зручно використовувати при роботі на природному газі. При цьому економиться газ і ним не забруднюється навколишнє середовище. Другий варіант доцільно використовувати при повірці досліджуваного прилада 3 повітрям. В цьому випадку робоче середовище скидається в атмосферу.

Установка працює так. Коли випробування ДП 3 проводяться натуральним робочим середовищем, природний газ через редуктор 6 надходить до газодувки 5, якою нагнітається у піддзвоновий простір одного з мірників (1 або 2). Після наповнення мірника газ з-під його дзвона через задавач витрати 4 подається на ДП 3, а далі газодувкою 5 по системі трубопроводів 7 перекачується у

піддзвоновий простір другого мірника. Після цього ДП знімають з повірочного стенда і встановлюють наступний прилад, що підлягає випробуванню. У випадку ж, коли дослідження проводяться середовищем-замінником, повітря всмоктується газодувкою 5 через редуктор 6 з атмосфери і подається в установку.

Далі випробування можна проводити як по схемі, описаній вище, так і в автономному режимі, коли повітря, яке через задавач витрати 4 і ДП 3 вийшло з-під дзвона, скидається в атмосферу і не подається у другий мірник. В такому режимі дослідження ДП проводяться щораз новою порцією повітря (в попередньому ж випадку випробування проводились хоч і багаторазово, але однією і тією ж порцією газу). Керування роботою установки може здійснюватись як в ручному, так і в автоматичному режимах. Вся інформація, зібрана за допомогою інформаційно-виміральної системи установки, поступає в ПЕОМ, де обробляється за заданою програмою. Програма забезпечує обчислення миттєвого значення витрати, точного значення контрольного об'єму, пропущеного через ДП, введення корекції на температуру і тиск, а також порівняння контрольного об'єму установки з показами ДП і обчислення значення похибки досліджуваного приладу. Результати розрахунку виводяться на дисплей та на друк у вигляді протоколу.

3.5 Дзвонова установка з вдосконаленою контрольною лінійкою

У відомих газовимірвальних установках, які призначені для градуювання і повірки лічильників та витратомірів газу, основними вузлами якої є дзвоновий мірник з противагою, контрольна лінійка з переривачами світлового потоку, що переміщаються разом із контрольною лінійкою, і вузлом зчитування інформації з переривачів. Проте реалізація в таких установках пристрою контролю і представлення інформації про лінійне переміщення дзвонового мірника (дзвону) не дозволяють отримати поточні значення витрат газу в процесі опускання дзвону між переривачами світлового потоку.

Внаслідок того, що визначення величини контрольного об'єму газу дзвону здійснюється за допомогою переміщення контрольної лінійки з переривачами світлового потоку між освітлювачем і фотодетектором, фіксація величини переміщення здійснюється тільки при проходженні переривачів світлового потоку, які умовно розділюють дзвін на контрольні об'єми. Крім того величини контрольних переміщень (об'ємів) є фіксованими, що при виникненні необхідності їх змінити зумовлює виникнення потреби у проведенні додаткової переатестації контрольної лінійки.

Тому необхідно здійснити вдосконалення пристрою контролю переміщення дзвону в установці шляхом внесення конструктивних змін котрі передбачають однозначне представлення інформації на контрольній лінійці, що дозволить забезпечити підвищення точності визначення контрольних об'ємів газу та визначення величин його поточних витрат.

Це вирішується тим, що пристрій контролю переміщення дзвону виконаний у вигляді перетворювача квазітрійковоманіпульованого коду М-послідовності, і забезпечений комп'ютером, при цьому щілини на контрольній лінійці розміщені у відповідності з квазітрійково-маніпульованою М-послідовністю в базисі Галуа. За рахунок оснащення установки пристроєм контролю у вигляді перетворювача квазітрійковоманіпульованого коду М-послідовності, який забезпечений комп'ютером, є можливим здійснювати зчитування кодових імпульсів з контрольної лінійки безпосередньо в комп'ютер за допомогою якого визначається величина зміщення дзвону від початкового (породжуючого) кодового ключа (початку контрольної лінійки). При цьому довжина фрагменту перетворення коду відповідає довжині породжуючого ключа в будь-якій точці контрольної лінійки на якій щілини розміщені у відповідності квазітрійково маніпульованою М-послідовністю в базисі Галуа. М-послідовність формується для кожної довжини дзвону індивідуально, в залежності від дискретності та величини переміщення (об'єму), який необхідно вимірювати.

Таким чином кожному дискретному об'єму, на які поділено дзвін, відповідає задана кодова послідовність, що дозволяє визначати витіснений

об'єм як функцію різниці між стартовим і столовим кодами M -послідовності. В результаті, за рахунок використання квазітрійкової маніпуляції та рекурентних властивостей M -послідовності кодів поля Галуа, а також можливості фіксації поточного положення дзвону при наявності перехідних процесів, маємо абсолютно контрольоване і точне визначення величини зміщення дзвону, що забезпечує підвищення точності визначення контрольних об'ємів газу та визначення величин його поточних витрат. Крім того наявність комп'ютера дає можливість проводити математичний аналіз величини спотворення M -послідовності, яка визначає величину коливних рухів дзвону та момент досягнення усталеного режиму, що забезпечує оптимізацію процесу повірки.

На рис 3.4 схематично зображено запропоновану установку.

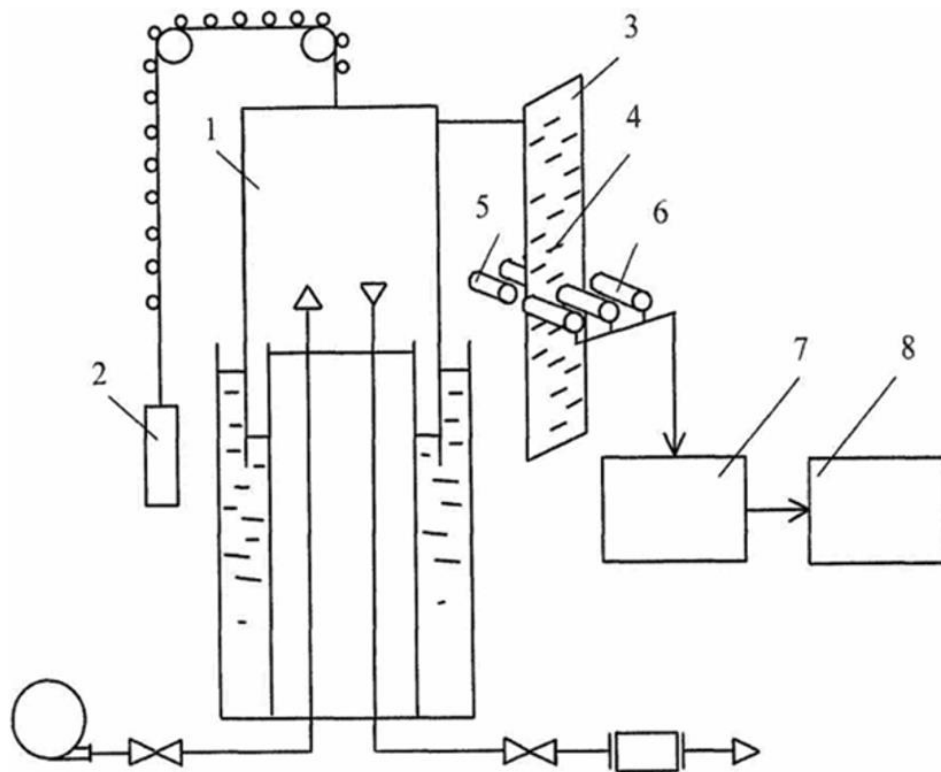


Рисунок 3.4 – Дзвонова установка з вдосконаленою контрольною лінійкою

Установка містить дзвін 1 з противагою 2 та контрольну лінійку 3 що має горизонтальні щілини 4 та котра оснащена блоком освітлення 5 і блоком фотоприймання 6, які зв'язані з пристроєм контролю 7 у вигляді перетворювача квазітрійковоманіпульованого коду M -послідовності, який забезпечений

комп'ютером 8. Крім того, установка містить джерело робочого газу, систему трубопроводів та досліджуваний прилад (на фіг. не показано). Запропонована установка працює наступним чином. Перед початком проведення вимірювання простір під дзвоном 1 заповнюють робочим газом (процес заповнення здійснюється як і у відомих установках, шляхом приведення в роботу системи трубопроводів). Об'єм газу яким необхідно заповнити простір під дзвоном 1 для проведення експерименту, визначається кодовою М-послідовністю з контрольної лінійки 3. Потім при опусканні дзвону 1 світловий потік, що формується блоком освітлення 5 подається на одну із секцій блоку фотоприймання 6 крізь відповідну щілину 4 на контрольній лінійці 3, остання переміщується (рухається) разом з дзвоном 1. Далі світловий потік формує на виході блоку фотоприймання 6 кодовий імпульс Мпослідовності, який поступає на пристрій контролю 7. Пристрій контролю 7, що є перетворювачем квазітрійково-маніпульованого коду Галуа, конвертує отриманий квазітрійковий сигнал з блоку фотоприймання 6 в двійкову бітову послідовність, яка зчитується комп'ютером 8. Після зчитування достатньої кількості імпульсів, що відповідає довжині фрагменту перетворення коду, комп'ютером 8 за допомогою програмного забезпечення здійснює перетворення фрагменту кодової послідовності в абсолютне значення величини переміщення дзвону 1 і величини витісненого об'єму. Визначене таким чином значення величини витісненого об'єму робочого газу порівнюється комп'ютером з показниками досліджуваного приладу і по різниці показів визначається точність

3.6 Дзвонова установка зі стабілізацією вертикального положення дзвона

Відомі витратомірні установки для точного відтворення об'єму і вимірювання витрати газу, в яких як міра об'єму використовується дзвоновий газовий вимірник, вертикальне переміщення якого забезпечується напрямними стіками і роликами, прикріпленими до верхньої і нижньої частин дзвона [1].

Недоліком цього способу вертикальної стабілізації дзвонового газового вимірника є наявність додаткової складової інструментальної похибки, обумовленої силою тертя роликів об напрямні стійки і відхиленням правильності форми напрямних стійок і роликів.

З відомих пристроїв найбільш близьким до вирішення цієї проблеми за технічною сутністю є дзвонова витратомірна установка, що включає нерухомий резервуар кільцевої форми, заповнений замковою рідиною, коаксіально розташований щодо нього рухомий дзвін, який має можливість відносного переміщення у вертикальній площині, систему центрування рухомого дзвона, виконану у виді роликів опор, закріплених на корпусі рухомого дзвона і контактуючих поверхонь роликів із напрямними вертикальними стійками.

Загальними ознаками нового рішення, які збігаються з відомими рішеннями є те, що використовуються - нерухомий резервуар кільцевої форми, заповнений замковою рідиною, - рухомий дзвін, - напрямні стійки. До недоліків відомого способу вертикального переміщення дзвонового газового вимірника варто віднести те, що під час роботи дзвонової витратомірної установки з'являється додаткова складова інструментальної похибки, яка обумовлена силою тертя роликів об напрямні стояки і відхиленням правильності форми напрямних стояків і роликів.

В основу рішення, що пропонується для вирішення поставленої задачі є удосконалення конструкції, яка забезпечить вертикальне переміщення дзвонового газового вимірника за рахунок левітації дзвона на основі постійних магнітів із використанням сил відштовхування. Це дозволить усунути фактори, що перешкоджають вільному (рівномірному) опусканню дзвона, які викликані тертям роликів об напрямні стійок і відхиленням правильності форми напрямних стійок і роликів.

Таким чином буде усунуто одну із складових інструментальної похибки методу перевірки лічильників газу за допомогою дзвонового газового вимірника.

Це завдання вирішується тим, що в дзвонової витратомірній установці, що включає нерухомий резервуар кільцевої форми, заповнений замковою рідиною,

коаксіальне розташований щодо нього рухомий дзвін, який має можливість відносного переміщення у вертикальній площині, систему центрування рухомого дзвона, виконану у вигляді роликів опор, закріплених на корпусі рухомого дзвона і контактуючих поверхонь роликів із напрямними вертикальними стійками замінена механічна взаємодія "ролик-напрямна стійка" на магнітну взаємодію однойменних полюсів постійних магнітів

На рис 3.5 подана схема дзвонової установки зі стабілізацією вертикального положення дзвона, а розріз А-А конкретизує магнітну стабілізацію.

Дзвонова витратомірна установка складається з напрямних стійок 1, роликів 2, рухомого дзвону 3, нерухомого резервуара 5 кільцевої форми, заповненого замковою рідиною 4, постійних магнітів 6, встановлених на напрямних стійках 1 і рухомому дзвоні 3.

Установка працює таким чином, під час пуску установки повітря, що надходить під рухомий дзвін 3, починає його піднімати з нерухомого резервуара 5 кільцевої форми, заповненого замковою рідиною 4. Постійні магніти 6 за рахунок сил відштовхування підтримують постійний повітряний зазор 5 між напрямними стійками 1 і рухомим дзвоном 3, що забезпечує вільне вертикальне переміщення рухомого дзвона 3 уздовж напрямних стійок 1.

Завдяки тому, що механічна взаємодія "роликнапрямно стійка" замінено на магнітну взаємодію однойменних полюсів постійних магнітів, виключаються сили опору вільному переміщенню дзвона, що дозволяє усунути одну із складових інструментальної похибки методу повірки лічильників газу за допомогою дзвонового газового вимірника, у результаті чого підвищується точність виконання вимірювань вищевказаним методом.

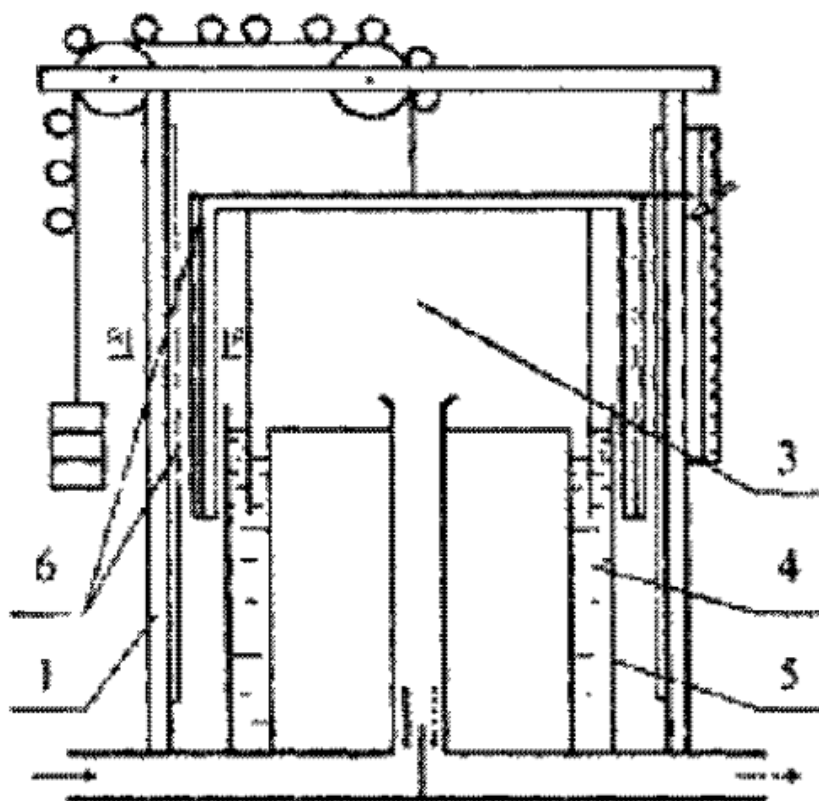


Рисунок 3.5 – Схема дзвонівної установки зі стабілізацією вертикального положення дзвона

3.7 Визначення довірчих границь похибки вимірювання розміру одиниці об'єму газу

Дійсний контрольний об'єм V_K газу, що вимірює вторинний еталон, визначають за наступною формулою:

$$V_K = V_m + \frac{\Delta\rho}{\rho_m} V_{cv} + V_e, \quad (3.1)$$

де V_m – мірний об'єм, V_{cv} – приєднаний об'єм, V_e – неврахований об'єм, ρ_m – густина повітря у тракці УДТ за час вимірювань, $\Delta\rho$ – зміна густини повітря в тракці УДТ за цикл вимірювань, кг/м^3 .

Значення СКВ S_{V_K} вимірювання одиниці об'єму розраховують за формулою

$$S_{V_K} = \sqrt{S_{V_m}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m}\right)^2 S_{V_{cv}}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m} V_{cv}\right)^2 S_{\rho_m}^2 + \left(\frac{V_{cv}}{\rho_m}\right)^2 S_{\Delta\rho}^2 + S_{V_e}^2}, \quad (3.2)$$

де S_{V_m} - СКВ значення величини мірного об'єму, $S_{V_{cv}}$ - СКВ значення приєданого об'єму, S_{ρ_m} - СКВ значення величини густини повітря в тракці УДТ, $S_{\Delta\rho}$ - СКВ значення величини зміни густини повітря в тракці УДТ за цикл вимірювань, S_{V_e} - СКВ значення величини неврахованого об'єму.

Увідносному вираженні значення СКВ $S_{V_K, \%}$ вимірювання одиниці об'єму розраховують за формулою:

$$S_{V_K, \%} = \frac{S_{V_K}}{V_K} 100\%, \quad (3.3)$$

де V_K – значення дійсного контрольного об'єму при проведенні дослідження.

Значення НСП θ_{V_K} вимірювання одиниці об'єму розраховують за формулою:

$$\theta_{V_K} = 1,1 \sqrt{\theta_{V_m}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m}\right)^2 \theta_{V_{cv}}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m} V_{cv}\right)^2 \theta_{\rho_m}^2 + \left(\frac{V_{cv}}{\rho_m}\right)^2 \theta_{\Delta\rho}^2 + \theta_{V_e}^2}, \quad (3.4)$$

де θ_{V_m} - НСП значення величини мірного об'єму, $\theta_{V_{cv}}$ - СКВ значення приєданого об'єму, θ_{ρ_m} - НСП значення величини густини повітря в тракці

УДТ, $\theta_{\Delta\rho}$ - НСП значення величини зміни густини повітря в тракті УДТ за цикл вимірювань, θ_{V_e} - НСП значення величини некомпенсованого об'єму.

$$S_{\theta_{V_K}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\theta_{V_m}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m}\right)^2 \theta_{V_{cv}}^2 + \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_m} V_{cv}\right)^2 \theta_{\rho_m}^2 + \left(\frac{V_{cv}}{\rho_m}\right)^2 \theta_{\Delta\rho}^2 + \theta_{V_e}^2}, \quad (3.5)$$

або відносному вираженні:

$$S_{\theta_{V_K},\%} = \frac{S_{\theta_{V_K}}}{V_K} 100\%. \quad (3.6)$$

Сумарне СКВ $S_{V_{K,\Sigma}}$ одиниці вимірюваного об'єму, зумовлене впливом випадкових складових похибок та НСП, визначають за формулою:

$$S_{V_{K,\Sigma}} = \sqrt{S_{V_K}^2 + S_{\theta_{V_K}}^2}, \quad (3.7)$$

або у відносному вираженні:

$$S_{V_{K,\Sigma},\%} = \frac{S_{V_{K,\Sigma}}}{V_K} 100\%. \quad (3.8)$$

Довірчі границі похибки вимірювання одиниці об'єму визначають за формулою:

$$\Delta_{V_{K,\Sigma}} = \pm K_{V_{K,\Sigma}} S_{V_{K,\Sigma}}, \quad (3.9)$$

де $K_{V_{K,\Sigma}}$ - коефіцієнт, значення якого визначають за довірчою ймовірністю і відношенням випадкових похибок та НСП.

Значення коефіцієнта $K_{V_{K,\Sigma}}$ згідно з чинним нормативним документом визначають за формулою:

$$K_{V_{K,\Sigma}} = \frac{(t \cdot S_{V_K} + \theta_{V_K})}{(S_{V_K} + S_{\theta_{V_K}})}, \quad (3.10)$$

де t коефіцієнт Стюдента.

У відносному вираженні значення довірчих границь похибки вимірювання одиниці об'єму визначають за формулою:

$$\delta_{V_K} = \frac{\Delta_{V_{K,\Sigma}}}{V_K} 100\%. \quad (3.11)$$

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз методів і принципів створення еталонних установок дзвонового типу, що дало можливість сформулювати напрямки вдосконалення дзвонових установок для підвищення їх точності.

Розглянуто принцип дії, технічні та метрологічні характеристики дзвонової еталонної установки на прикладі її моделі ІФЗ-2.

Проведено моделювання гідродинамічних процесів у дзвонових еталонних установках, яке дозволило розрахувати зміну тиску в установці під час руху дзвону. Чисельно оцінено вплив на метрологічні характеристики установки відхилення положення дзвона від вертикалі.

Розроблені технічні і метрологічні рішення, які забезпечують підвищення точності дзвонових еталонних установок.

Розроблений алгоритм визначення довірчих границь похибки вимірювання розміру одиниці об'єму газу, який відтворюється дзвоновою установкою.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Облік природного газу: довідник / [М.П.Андріїшин, О.М.Карпаш, Я.С.Марчук, І.С.Петришин, О.Є.Середюк, С.А.Чеховський]; за ред. С.А.Чеховського. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. – 180 с.
2. Середюк Д.О. Моделювання фізичних процесів у дзвонових еталонних установках / Д.О. Середюк // Методи та прилади контролю якості. – 2010. – № 24. – С.54–58.
3. Р50-071-98. Метрологія. Лічильники газу побутові. Методи та засоби повірки [Чинний від 1998-03-27]. Вид.- офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. III, 20с. (Рекомендації).
4. 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).
5. Пат. 61025 А Україна, МПК 7 G01F25/00. Дзвонова витратомірна установка / Панфілов Г.С., Ляшенко Л.І., Шелудченко В.І.; заявник і патентовласник Панфілов Г.С. – № 20021210693; заявл. 27.12.02; опубл. 15.10.03, Бюл. №10. -3с.
6. А.с.771470 ССРСР, МКИ G 01 F 25/00. Колокольная дискретно – динамическая установка для точного воспроизведения и измерения расхода газа / Бродин И.С., Чеховский С.А., Середюк О.Е. (СССР). – №2670608/18-10; заявл. 04.10.78; опубл. 15.10.80, Бюл. №38.
7. Пат. 35076 А Україна, МПК 7 G01F25/00. Робочий еталон об'єму і витрати газу дзвонового типу / Середюк О.Є., Середюк Д.О.; заявник і патентовласник Середюк О.Є., Середюк Д.О. - № 200805528; заявл.29.04.08; опубл.26.08.08, Бюл. №16.
8. Середюк О.Є. Дослідження впливу нестабільності вертикального положення дзвона на метрологічні характеристики еталонних установок / О.Є.Середюк, Д.О. Середюк /// Приладобудування 2004: стан і перспективи: 3–

я наук.–техн. конф., 20–21 квітня 2004 р., Київ: зб. наук. праць – Київ: ПБФ НТУУ “КПІ”, 2004. – С. 247–248.

9. Середюк О.Є. Аналіз впливу робочого тиску еталонних дзвонових витратовимірювальних установок на їх метрологічні характеристики / О.Є. Середюк, С.А. Чеховський, Б.І. Прудніков // *Методи та прилади контролю якості*. – 2001. – № 7. – С. 111–116.

10. Деклараційний патент України на винахід, UA, №46253 A, G01F25/00, Бюл. №5, 2002 р.

11. Патент України на корисну модель, UA, №35076 U, G01F25/00, Бюл. №16, 2008 р.

12. Бродин І.С. 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.

13. Пістун Є.П. Дослідження впливу зміни рівня замкової рідини в дзвонових установках задання об'єму газу на їх точність / Пістун Є.П., Бродин Ю.І. // *Методи та прилади контролю якості*. - 2001. - №7. -СІ 25-127.

14. Деклараційний патент України на винахід, № 42275 A, G01F 25/00.

15. Воцинський В.В. Спосіб компенсації виштовхувальної сили замкової рідини розділювача в робочих еталонах об'єму газу дзвонового типу / В.В.Воцинський, В.С.Воцинський // *Методи та прилади контролю якості*. - 2002 - №9. - С.44-45.

16. Павловский А. Н. Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара. М., 1967. С. 219-244.

17. АС № 924518, кл. G 01 F 25/00, 1980.

18. Kee David F. Fundamentals of bell proving. Calibration and Operation "W. Va. Univ. Eng. Stat. bull", 1971, 105, p. 57-63.

19. Патент України на корисну модель, UA, №33448 A /Спосіб точного оцінювання об'єму дзвона еталона витрати газу// Бродин Ю.І., заявл. 23.02.1999; опубл. 15.02.2001, бюл. №1.

20. АС № 987399, кл. G 01 F 25/00, 1983.