

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного
менеджменту

Мислицький Тарас Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 631.415

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

**Розроблення технічного забезпечення для діагностування
еталонних установок дзвонового типу**

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

**Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і
текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:**

Здобувач освітнього ступеня Т.Т. Мислицький

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Чуйко Мирослава Михайлівна к.т.н., доц.

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

В.С. Цих

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

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра інформаційно-вимірювальних технологій та енергетичного менеджмент

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність 152- Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІВТЕМ

В.С. Цих

« » 20 року

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

Мислицький Тарас Тарасович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення технічного забезпечення для діагностування еталонних установок дзвонового типу

керівник роботи Чуйко Мирослава Михайлівна., к.т.н., доц.,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “13” травня 2026 року № 215/7

2. Строк подання студентом роботи 20.06.2026

3. Вихідні дані до роботи принципова схема дзвонової установки, відтворювані витрати до 100 м³/год, робочий тиск 3-7 кПа, робоча температура 20±2 °С,

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

1. Аналіз дзвонових витратовимірювальних установок як об'єкта діагностування

2. Розроблення методологічних і технічних засад діагностування дзвонових витратовимірювальних установок

3. Метрологічні дослідження впливу непостійного тиску на умови діагностування дзвонових витратовимірювальних установок

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

1. Функціональна схема установки з пристроєм діагностування

2. Алгоритми кореляційного і спектрального аналізів дзвонових установок

3. Результати кореляційного аналізу дзвонових установок

4. Результати спектрального аналізу дзвонових установок

5. Структурна схема та алгоритм роботи малоінерційного манометра

6. Метрологічна модель малоінерційного манометра

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормо-контроль	Чуйко М.М., доц.		
Охорона праці	Кривенко Г.М., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз дзвонових витратовимірювальних установок	20.04.2026	
	як об'єкта діагностування		
2.	Розроблення методологічних і технічних засад	10.05.2026	
	діагностування дзвонових витратовимірювальних		
	установок		
3.	Метрологічні дослідження впливу непостійного тиску	01.06.2026	
	на умови діагностування дзвонових		
	витратовимірювальних установок		
4.	Охорона праці	05.06.2026	
5.	Оформлення бакалаврської роботи	10.06.2026	

Студент _____ Мислицький Т.Т.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Чуйко М.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота “Розроблення технічного забезпечення для діагностування еталонних установок дзвонового типу”

Сторінок - 95; рисунків - 17; таблиць - 12; графічних матеріалів – 6 арк; літературних джерел – 29.

Об’єкт дослідження – дзвонова витратовимірювальна установка.

Мета роботи – розроблення технічного забезпечення для діагностування дзвонових витратовимірювальних установок.

У бакалаврській роботі проаналізовано принцип дії і технічну реалізацію дзвонових витратовимірювальних установок, які використовуються як еталонні засоби точного вимірювання і відтворення об’єму або осереднених витрат газу. В Україні і до сьогодні відсутні еталонні установки, які були би метрологічно атестовані в режимі відтворення і вимірювання миттєвих витрат газу.

Для цього розглянуто розроблене технічне забезпечення і інформаційні системи кореляційного і спектрального аналізів, які дозволяють здійснювати діагностування еталонних установок. Виконання цих умов сприяє більш детальному метрологічному дослідженню інформативних параметрів установок, зокрема миттєве значення витрати газу, тиск, температура.

ТИСК, ДЗВОНОВА УСТАНОВКА, ТЕМПЕРАТУРА, ЕТАЛОН, ДІАГНОСТУВАННЯ, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ.

THE ABSTRACT

Bachelor's thesis “Development of technical support for diagnosing bell-type reference installations”

Pages - 95; figures - 17; tables - 12; graphic materials - 6 sheets; literary sources - 29.

The object of research is a bell flow measuring installation.

The purpose of the work is to develop technical support for diagnosing bell flow measuring devices.

The bachelor's thesis analyzes the principle of operation and technical implementation of bell flow meters, which are used as reference tools for accurate measurement and reproduction of the volume or average gas consumption. To this day, there are no reference plants in Ukraine that would be metrologically certified in the mode of reproduction and measurement of instantaneous gas consumption.

For this purpose the developed technical support and information systems of correlation and spectral analyzes which allow to carry out diagnostics of reference installations are considered. Fulfillment of these conditions contributes to a more detailed metrological study of the informative parameters of the installations, in particular the instantaneous value of gas flow, pressure, temperature.

PRESSURE, BELL INSTALLATION, TEMPERATURE, STANDARD, DIAGNOSIS, CORRELATION ANALYSIS, SPECTRAL ANALYSIS.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Аналіз дзвонових витратовимірювальних установок як об'єкта діагностування	7
1.1 Принципи створення і практичні аспекти розвитку дзвонових установок	7
1.2 Закордонні дзвові еталонні установки	15
1.3 Суть і принципи діагностування технічного обладнання	19
2. Розроблення методологічних і технічних засад діагностування дзвонових витратовимірювальних установок	21
2.1 Теоретичні засади діагностування установок за функціонуванням вагових компенсаторів	21
2.2 Математична модель відтворення об'єму газу дзвовими установками як методологічна основа їх діагностування	26
2.3 Розроблення пристрою для діагностування форми дзвона	28
2.4 Кореляційний аналіз при діагностуванні дзвонових витратовимірювальних установок	34
2.5 Спектральний аналіз при діагностуванні дзвонових витратовимірювальних установок	46
3. Метрологічні дослідження впливу непостійного тиску на умови діагностування дзвонових витратовимірювальних установок	62
3.1 Дослідження похибки дзвонових установок від непостійного тиску	62
3.2 Метрологічні дослідження технічних засобів для вимірювання непостійного тиску у вузлах дзвонових установок	69
4. Охорона праці	76
4.1 Важливість метрологічних досліджень у сфері охорони праці.	76
4.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища	78
4.3 Забезпечення нормальних умов праці	80
4.4 Розрахунок природної вентиляції	83
4.5 Розрахунок додаткового штучного освітлення	87
4.6 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях	88
Висновки	
Перелік посилань на джерела	

ВСТУП

Розбудова української держави потребує підвищення ефективності виробництва, якості продукції. Зниження енергетичної залежності України є найважливішим стратегічним напрямком розвитку державної політики. Розвиток української ресурсної бази шляхом підвищення обсягів видобування нафти та газу є одним із головних напрямків розвитку [1].

Дзвоніві витратовимірювальні установки в переважній більшості свого застосування використовуються як еталонні засоби точного вимірювання і відтворення об'єму або осереднених витрат газу. Поряд з цим все більшої актуальності набуває питання їх використання як еталонних засобів вимірювання миттєвих витрат газу [2].

В Україні донині відсутні еталонні установки, які були би метрологічно атестовані в режимі відтворення і вимірювання миттєвих витрат газу, що характеризує потребу їх технічного вдосконалення, чим обмежується можливість розробки нових конструкцій сучасних витратомірів газу. Вказані обставини зумовлюють необхідність більш детального метрологічного дослідження якісних інформативних параметрів (миттєве значення витрати газу, його тиск, температура) [8].

Поряд з цим потребує розвитку методологія діагностування дзвонових витратовимірювальних установок, оскільки процес діагностування забезпечує практично постійний контроль і підтримування належного метрологічного і технічного стану цих установок впродовж міжповірочного інтервалу. Складовими технічного забезпечення діагностування необхідно розглядати не тільки апаратурне забезпечення вимірювання і опрацювання інформативних сигналів установок, але і застосування методик, які базуються на сучасних інформаційних технологіях, зокрема з використанням кореляційного і спектрального аналізу.

1. АНАЛІЗ ДЗВОНОВИХ ВИТРАТОВИМІРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ЯК ОБ'ЄКТА ДІАГНОСТУВАННЯ

1.1 Принципи створення і практичні аспекти розвитку дзвонових установок

Дзвовні витратовимірювальні установки можна розглядати як загально визнаним метрологічним засобом для вимірювання об'єму і витрати газу [1, 2, 8], першого практично застосування якого вони набули вже більше ста років [12, 15]. Вони принципово реалізуються за таких трьох типів установок: порційно-статичні, неперервно-циклічні і дискретно-динамічні.

Головним вузлом дзвонових витратовимірювальних еталонних установок (ЕУ) є мірник. Він вміщує дзвін, який своєю нижньою долею погружений в ємність з рідиною, яка називається витіснювачем. У підготовчий термін випробування подається газ під дзвін від іншого джерела витрати, дзвін завдяки цьому підіймається. Трубопровід для подачі природного газу перекривають після наповнення мірника до потрібного об'єму. При відкритті запірної арматури в трубопроводі, що сполучає піддзвонувий простір з досліджуваним приладом, відбувається витіснення природного газу з-під дзвона через досліджуваний прилад (ДП) [5].

Витіснений об'єм газу вимірюється з контрольної лінійки. Далі запірний пристрій перекривають. Відносну похибку лічильника δ_L визначають як різницю показів відлікового пристрою досліджуваного приладу і відомого об'єму газу V_E , який переданий від ЕУ до досліджуваного приладу, за формулою:

$$\delta_L = \frac{V_L - V_E}{V_E} \cdot 100, \%, \quad (1.1)$$

де V_L – виміряний об'єм повітря лічильником [16].

Об'єм природного газу, який пропущений при випробуванні витратомірів за час його відтворення, усереднюють і порівнюють з показами витратоміра q_v . Похибку витратоміра δ_v розраховують формулою [16]:

$$\delta_v = \frac{q_v - \frac{\Delta V_E}{\Delta t}}{\frac{\Delta V_E}{\Delta t}} \cdot 100, \% \quad (1.2)$$

де $\frac{\Delta V_E}{\Delta t}$ – відтворювана витрата ЕУ, яка усереднена за інтервал часу Δt .

Головним недоліком дзвонових порційно-статичних ЕУ є той аспект, що не вилучений неусталений режим роботи як досліджуваного приладу, так і ЕУ з їх вимірювального циклу. З ціллю зниження впливу даного чинника на точність таких ЕУ необхідно збільшувати час вимірювального циклу. Це, зі свого боку, вимагає створення великих і дорогих установок з досить значним об'ємом мірника, до 60 м^3 [6]. Відповідно до [6] для отримання витрати $0,28 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1000 \text{ м}^3/\text{год}$) треба обрати мірник з об'ємом дзвону 50 м^3 . Тому за останній час такі ЕУ застосовують лише для дослідження характеристик лічильників газу на порівняно малих витратах, зазвичай при градуюванні і перевірці побутових лічильників газової суміші [4].

Перша неперервно-циклічна дзвонова ЕУ [16] розроблена і досліджена у науково-дослідному інституті метрології (м. Санкт-Петербург) і використалася на газоремонтному заводі для перевірки і градуювання промислових лічильників природного газу на витраті до $0,42 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1500 \text{ м}^3/\text{год}$). Вона розроблена на основі двох дзвонових мірників об'ємом по 5 м^3 , які працюють по чергово, і містить додатковий пристрій для згладжування пульсацій відтворюваних витрат. Дана дзвонова установка також містить клапани, які управляються за допомогою шляхових вимикачів. У процесі роботи установки відбувається заповнення першого мірника при синхронному витісненні газу через досліджуваний прилад з другого. Похибка розглянутої установки, а також аналогічної до неї на витраті до $0,042 \text{ м}^3/\text{с}$ ($150 \text{ м}^3/\text{год}$), не більша $\pm 0,35\%$.

Подальше покращення точності дзвонових ЕУ такого типу, насамперед при відтворенні великих витрат, майже неможливо через виникнення пульсацій тиску під час перемикання керуючих клапанів. Слід зазначити, що до переваг можна віднести можливість отримання безперервної витрати, що відтворюється, при необхідності забезпечення достатньо високої точності довготривалих випробувань.

Серед нових напрацювань побудови таких ЕУ є технічне рішення [8], яке передбачає застосування двох видів джерел робочого середовища (повітря і природний газ) з системами забезпечення автоматичного керування установкою і збору вимірювальної інформації з ЕУ і досліджуваного приладу. Практична реалізація нової дводзвонкової установки типу ОКМА-0,3 здійснена в управлінні газового господарства м. Бендери (Молдова) на малі витрати (до 12 м³/год) з похибкою відтворення і вимірювання об'єму газу $\pm 0,12$ %.

Аналіз літературних джерел показує, що перша в світовій практиці дискретно-динамічна дзвонова ЕУ була розроблена в Радянському Союзі [16] і впроваджена на Івано-Франківському приладобудівному заводі (нині ВАТ «Івано-Франківський завод «Промприлад») на основі автоматизованої дзвонової випробувальної установки для перевірки лічильників газу на витраті до 0,28 м³/с (1000 м³/год). Подальше вдосконалення цього типу установок реалізовано на дзвонових ЕУ, розроблених фахівцями ІФНТУНГ (раніше ІФІНГ) під науковим керівництвом проф. Бродина І.С. за безпосередньою участю теперішніх професорів кафедри інформаційно-вимірювальних технологій ІФНТУНГ Середюка О.Є. та Чеховського С.А. Впродовж (70...90)-х років ними були створені дзвонові еталонні установки для відтворення об'єму і об'ємних витрат газу в діапазоні до 10 тис.м³/год і з границями сумарної відносної похибки $\pm(0,16...0,25)$ %.

Принципова схема, алгоритм функціонування і метрологічні характеристики створених дзвонових дискретно-динамічних ЕУ наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні і метрологічні характеристики дзвонових еталонних установок [16].

	РКДУ- 0,42	АРУГ-1	РКДУ- 0,44	РКДУ- 0,028	РКДУ- 0,07	РКДУ- 0,44м	РКДУ- 2,78
Границі вимірювання витрати: - мінімальна $q_{\min}$, $10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{год}$) - максимальна $q_{\max}$, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{год}$)	2,8 (10) 0,42 (1500)	6,9 (25) 1 (3600)	5,6 (20) 0,69 (2500)	1,1 (4) 0,056 (200)	1,1 (4) 0,069 (250)	5 (18) 0,44 (1600)	0,028 (100) 2,78 (10000)
Тип випробуваних приборів	РГ, РС	РГ, РС	ТУРГАС, СПГ	ТУРГАС, СПГ	РГ, РС, ТУРГАС	РГ, РС, ТУРГАС	РГ, РС, ТУРГАС СГ, ЛГ
Повірочне середовище	повітря	повітря	повітря	повітря	повітря	повітря	повітря
Значення відтворюваних контрольних об'ємів V_k , м^3	1; 2; 3; 4; 5	5; 9	1;2;3;4;5	0,4; 0,8; 1,2; 1,6	0,4; 0,8; 1,2; 1,6	1; 2; 3; 4; 5	2; 4; 6; ... 24; 26; 28
Коефіцієнт ефективності K_E ($K_E=Q_{\max}/Q_{k \max}$)	0,084	0,100	0,138	0,035	0,043	0,088	0,099
Надлишковий тиск повітря в установці, кПа	1... 1,5	1... 1,5	3,5...5,5	3,5...5,5	3,5...5,5	3,5... 4,5	3,5...5,5
Границя допустимої похибки, %: - в режимі вимірювання об'єму газу - в режимі вимірювання витрати газу	$\pm 0,25$ –	$\pm 0,35$ –	$\pm 0,16$ $\pm 0,16$	$\pm 0,17$ $\pm 0,17$	$\pm 0,2$ $\pm 0,2$	$\pm 0,21$ $\pm 0,21$	$\pm 0,21$ –
Нестабільність* відтворюваних витрат на максимальній витраті, %: - при обертанні дзвона або обертовому водяному затворі - при відсутності обертання	– –	– –	$\pm 0,3$ $\pm 1,0$	– $\pm 0,3$	$\pm 0,3$ $\pm 0,6$	– $\pm 1,0$	– –
Габаритні розміри установки, м	4×4×5	4×5×7	10×3,5×8	8×3×5,5	6×3×6	10×3,5×8	11,5×5,5× 16
Місце впровадження	ВО «Геофізприлад» (м. Івано-Франківськ)	ВО «Донецьк-теплосітки» (м. Донецьк)	ВО «Геофізприлад» (м. Івано-Франківськ)	ВО «Геофізприлад» (м. Івано-Франківськ)	ВО «Київгаз» (м. Київ)	СКБ «Белгаз-техніка» (м. Мінськ)	ВО «Геофізприлад» (м. Івано-Франківськ)

Одна із установок, яка створених за співпраці з фахівцями ІФНТУНГ, зокрема, РКДУ-0,028 [11] після удосконалення впродовж 1994-1996 р.р. була атестована і введена в експлуатацію як Державний спеціальний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу ДСТУ 03-01-96 [14]. Об'єм природного газу, який відтворює та зберігає еталон, становить за робочих умов 1 м^3 , а для об'ємних витрат діапазон їх відтворення і зберігання становить від 4 до $200 \text{ м}^3/\text{год}$. При цьому при невилучена систематична похибка (НСП) не більший

за $5 \cdot 10^{-4}$ середньо-квадратичне відхилення результату вимірювання об'єму не перевищує $9 \cdot 10^{-4}$. Значення цих метрологічних характеристик (МХ) при відтворенні витрати не перевищують $1 \cdot 10^{-3}$ і $6 \cdot 10^{-4}$ відповідно. Цей еталон надав можливість вперше впровадити Державний стандарт України [14].

В Україні останнім часом набули широкого застосування дзвонів ЕУ, кількість яких, відповідно до даних ДП «Івано-Франківськстандарт-метрологія», перевищує п'ятнадцять. Діапазони вимірюваних об'ємів дзвонівими установками, що експлуатуються, складають від $0,05 \text{ м}^3$ до 28 м^3 , а об'ємні витрати, що відтворюються ними, знаходяться в діапазоні від $0,01 \text{ м}^3/\text{год}$ до $10000 \text{ м}^3/\text{год}$ [1, 7, 9, 13].

До новітніх вітчизняних дзвонів ЕУ можна віднести установку ВДДУ-0.44М, яка створена в АТ «Кримтеплокомуненерго» (м. Сімферополь), робочі еталони дзвонового типу ВАТ «Івано-Франківськгаз», КП «СКБ ЗА» (м. Івано-Франківськ) [11], ІВФ «Темпо» (м. Івано-Франківськ).

Однією із найбільших закордонних дзвонів ЕУ за відтворюваними витратами є установка, що розроблена на базі мірника об'ємом 350 куб. футів (10 м^3) [15] і використовується компанією «American Meter Company» у Філадельфії (США), для дослідження метрологічних характеристик лічильників природного газу. Конструкція установки дозволяє міняти співвідношення об'ємів дзвону, які використовуються для розгону досліджуваного приладу і пропускання контрольного об'єму природного газу. Як робоча рідина використовується олива, яка перемішується за допомогою помпи, завдяки цьому аспекту поліпшується термостабільність в процесі її роботи і підвищується точність установки. В дзвоновій установці передбачена можливість змінювати тиск під дзвоном за допомогою набору змінних вантажів. Розглянута установка має можливість градувати і повіряти лічильники та витратоміри за витрат до $0,47 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1700 \text{ м}^3/\text{год}$).

У роботі [16] описана дзвонова установка Французьких компаній з виробництва лічильників рідин і газу в Монтеруже з об'ємом мірника 10 м^3 на витрати до $0,33 \text{ м}^3/\text{с}$ ($1200 \text{ м}^3/\text{год}$). Вона характеризується стабільним

розподілом об'єму дзвону на розгінну ділянку ($2,95 \text{ м}^3$) і ділянку пропуску контрольного об'єму (близько 7 м^3), що свідчить про нераціональне використання об'єму дзвону при роботі на різних витратах.

В Нідерландах компанією Gasunie експлуатуються дзвонові ЕУ, які розглянуті в [16]. Перша (об'єм дзвона $0,5 \text{ м}^3$) застосовується для передавання одиниць вимірювання витрати природного газу до еталонних роторних лічильників G40 (витрата до $65 \text{ м}^3/\text{год}$), а друга (об'єм дзвона 4 м^3 , який проградуєований з похибкою $\pm 0,10\%$) – застосовується для перевірки зразкових турбінних і роторно-поршневих лічильників газу в діапазоні витрат $1,1 \cdot 10^{-3} \dots 0,11 \text{ м}^3/\text{с}$ ($4\text{-}400 \text{ м}^3/\text{год}$). З їх переваг слід зазначити достатньо високу точність відтворення ЕУ і використання автоматизованої системи для управління змінними режимами роботи установки, збору і обробки вимірювальної інформації [16].

Особливістю реалізації характеризується дзвонова установка, яка має частотний вихід [11]. У ній формуються електричні імпульси під час вимірювання газу спеціальним кодуєчим пристроєм. Кількість імпульсів пропорційна до переміщення дзвона. Одночасно пульсації тиску на виході досліджуваного лічильника перетворюються в електричні сигнали. Кількість сигналів з лічильника порівнюється з числом імпульсів, які сформовав кодуєчий пристрій установки. Різниця імпульсів з установки і лічильника дає можливість обчислити похибку лічильника. Витрати, що відтворюються цієї установки не перевищують $0,042 \text{ м}^3/\text{с}$ ($150 \text{ м}^3/\text{год}$).

За кордоном також створені нові дзвонові установки, зокрема, з об'ємом мірника 1 м^3 у Німеччині (відносна розширена невизначеність (ВРН) менша $0,06\%$) і комплекс установок з об'ємом мірників $5,664 \times 10^{-2} \text{ м}^3$ (ВРН $0,172\%$), $0,1139 \text{ м}^3$ (ВРН $0,19\%$), $0,3605 \text{ м}^3$ (ВРН $0,19\%$) у США.

Відома також інформація щодо дзвонової ЕУ, яка розроблена в Нідерландах на базі мірника об'ємом $3,5 \text{ м}^3$ на витрати ($4 \dots 400$) $\text{м}^3/\text{год}$ з очікуваною похибкою до $\pm 0,09\%$ і яка планується для впровадження в МЦ у м. Боярці як первинний еталон одиниці об'єму та об'ємної витрати газу.

У проаналізованих та описаних дзвонових витратовимірювальних ЕУ робочим середовищем є повітря, проте вони можуть застосовувати будь-який газ, в тому числі природний. Дане рішення захищено відомими патентами, наприклад [7, 9], а також висвітлено в наукових публікаціях щодо такого впровадження функціонування установок [8].

Основним джерелом похибок відтворення об'єму дзвовими ЕУ є:

- похибки визначення об'єму дзвона;
- похибки, які під час вимірювального циклу спричинені від нестабільності тиску внаслідок дії механічних і гідродинамічних сил опору;
- похибки, які виникають за неточності компенсації виштовхувальної сили дзвона;
- похибка від зміни температури в лабораторії, внаслідок непостійності лінійних розмірів елементів дзвонового мірника;
- похибка від випаровування робочої рідини в піддзвоний простір, яка залежить від часу вимірювального циклу, площі змоченої поверхні дзвону і дзеркала рідини, а також відносної вологості повітря, що подається під дзвін.

Для зниження впливу вищеописаних причин виникнення похибок в сучасних дзвонових ЕУ, витіснювачі заповнюються оливою, а дзвові установки обладнуються такими спеціальними пристроями, які забезпечують стабільність тиску під дзвоном і коректорами температурної похибки та похибки від зміни рівня робочої рідини при занурюванні в неї дзвона.

Тому тенденції розвитку дзвонових ЕУ стосуються запровадження сучасних більш точних методів геометричного (опосередкованого) [10] або прямого за допомогою еталонів передавання чи вторинних еталонів градування дзвонового мірника, вдосконалення системи збору і обробки вимірювальної інформації, впровадження нових конструктивних виконань вузлів і пристроїв, що сприяє підвищенню точності ЕУ. Значній кількості дзвонових ЕУ в Україні за останніми вимогами чинного нормативного документа [2] надано статус робочих еталонів, що свідчить про актуальність удосконалення конструкції цього типу ЕУ і розвитку їх метрологічних моделей

з метою підвищення точності функціонування. Крім того, не набула практичної реалізації метрологічна атестація цих еталонів на базі теорії невизначеності, що потребує актуалізації у відповідності до метрологічної практики сьогодення [10].

Одна із таких установок, зокрема, РКДУ-0,44 складається з дзвону 2 (рис. 1.1), зануреного в кільцевий резервуар 1 з рідиною, повітродувки 24, вхідного 23 і вихідного 18 трубопроводів, що містять запірні органи 21, 22 і задатчики витрати 19, 25. В установці є система 5 автоматичного управління її роботою і система 17 збору і обробки вимірювальної інформації (СЗОІ) з установки і досліджуваного приладу (ДП) 20 [1].

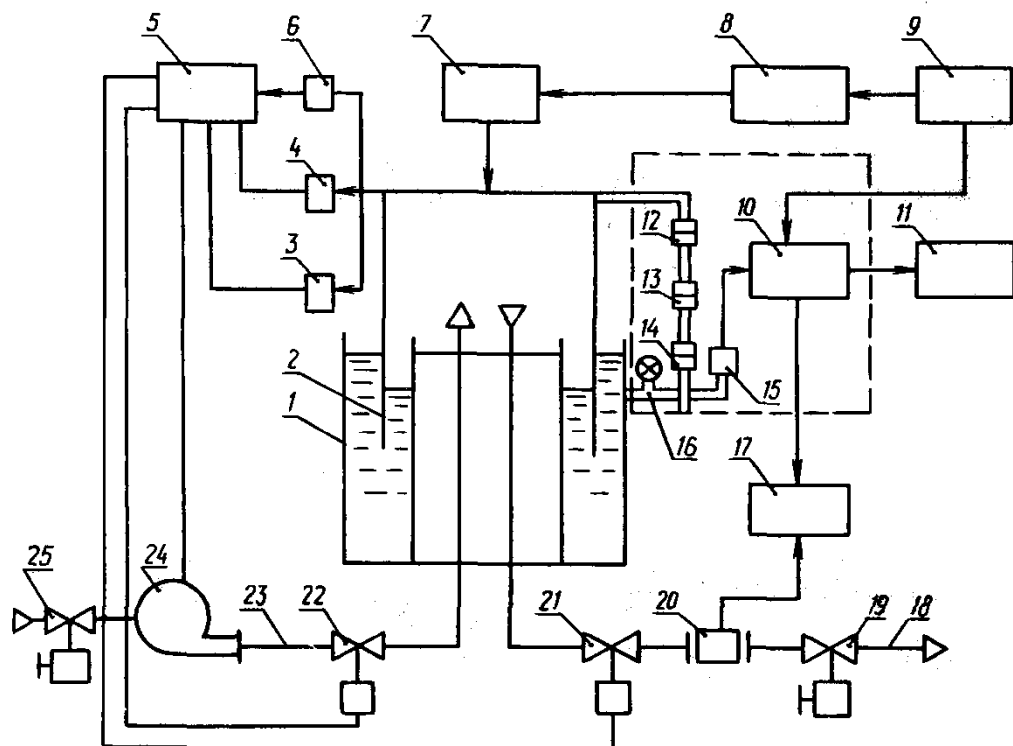


Рисунок 1.1 – Принципова схема дискретно-динамічної дзвонової ЕУ [1].

При роботі установки спочатку за допомогою повітродувки 24 наповнюється мірник (при цьому його дзвін 2 підіймається). На завершальному етапі наповнення спрацьовує датчик 4 системи автоматичного управління, внаслідок чого починається розгін досліджуваного приладу 20, який встановлюється у вихідному трубопроводі 18, і відбувається до наповнювання дзвона. Після досягнення повного розгону досліджуваний прилад по команді

давача 6 повітродувка 24 відключається, запірний орган 22 закривається і газ витісняється через досліджуваний прилад [13].

При цьому пристрій індикації положення дзвону (ППД) шляхом короткочасної дії світлового потоку, який подається на фотоприймач 15 від освітлювача 16 через переривач 14 щілинного типу, виробляє сигнал, який включає з допомогою формуючого пристрою 10 командних імпульсів електронний хронометр (ЕХ) 11 і систему СЗОІ 17. Після проходження через ДП контрольного об'єму газу і в залежності від його заданого значення другий і переривачів (12 або 13), аналогічно діючих на фотоприймач 15 пристрою ППД, відключає ЕХ і СЗОІ. Після цього спрацьовує давач 3 і запірний орган 21 закривається. По різниці значень контрольного об'єму і показів лічильника газу судять про точність останнього [13]. У випадку випробовування витратомірів визначають середню витрату газу і порівнюють її з показами витратоміра. Під час випробувань дзвін 2 в установці РКДУ-0,44 разом з поступальним рухом здійснює ще й обертальний за допомогою пристрою 7 обертання дзвону, який керується системою 8 керування обертанням і задавачем 9 програми випробувань. Задавач 9 також керує алгоритмом роботи формуючого пристрою 10 [12].

1.2 Закордонні дзвоніві еталонні установки

У відповідності з договором зі Словацьким метрологічним інститутом в період з 25.10.2001 по 21.07.2003 р. проведені двосторонні міжнародні звіряння Державного спеціального еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу (Україна, ДП „Івано-Франківськстандартметрологія”) з еталоном фірми „Premagas s.r.o.” (Словацька республіка), який в свою чергу, звірявся з еталоном РТВ (Німеччина). Двосторонні звіряння проводилися по відповідній Програмі гармонізованих з Європейським документом MSA 0116-98, EAL-P7. Результати звірянь показали, що збіжність результатів звірення в усьому

діапазоні відтворюваних об'ємних витрат не перевищує 0,08%, значення нормалізованої різниці не перевищує 0,43 (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд Державного еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу [14]

Характеристики Державного еталону одиниць об'єму та об'ємної витрати газу:

- діапазон відтворюваних об'ємних витрат: 4 до 200 м³/год;
- контрольний об'єм: 1 м³ (0,99842 м³);
- повний об'єм: 1,4 м³;
- невизначеність: 0,10 %;
- максимальний час опускання дзвона за мінімальної витрати: 1125 с;
- мінімальний час опускання за максимальної витрати: 25 с;
- Максимальне значення об'єму для розгону: 0,4 м³.

В США еталони об'єму газу зберігаються в Національному інституті стандартів і технологій. Тут налічується три еталони дзвонового типу (рис. 1.3).

Еталони працюють на принципі накопичення повітря, тобто повітря спочатку проходить через досліджуваний прилад, а потім поступає під дзвін. Цикл роботи еталона складається із виставлення витрати через байпас, потім

потік перенаправляється під дзвін. Потім відміряється контрольна доза повітря за допомогою системи переміщення.

Мірний об'єм дзвонових установок визначається шляхом вимірювання зовнішніх геометричних розмірів (strapping).

Еталонна установка складається із дзвонового мірника, тиск під дзвоном вимірюється на вихідному трубопроводі, з врахуванням втрат тиску по тракту, температура вимірюється у верхній частині дзвона, за значення температури повітря під дзвоном береться значення температури в кінці вимірювального циклу.

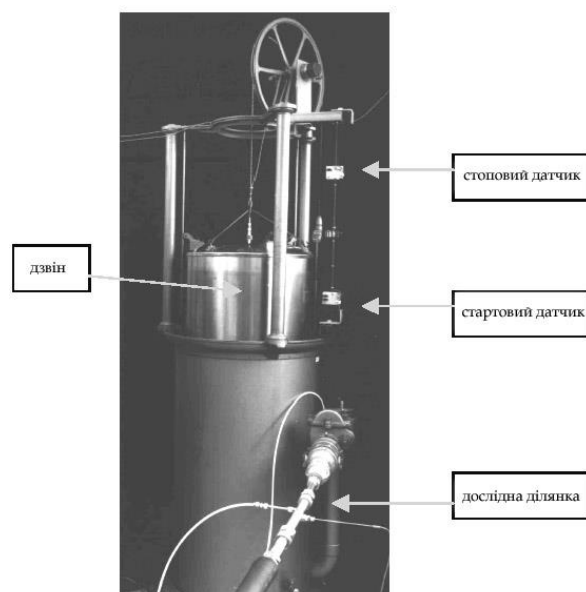


Рисунок 1.3 – Дзвоновий еталон США [16]

Характеристики дзвонового еталону США:

- значення відтворюваних об'ємів: $0,05644 \text{ м}^3$; $0,1139 \text{ м}^3$; в) $0,3605 \text{ м}^3$;
- значення діапазонів відтворюваних витрат: від $0,966$ до $13,56 \text{ м}^3/\text{год}$; від $1,95$ до $27,3 \text{ м}^3/\text{год}$; від $6,18$ до $86,4 \text{ м}^3/\text{год}$;
- невизначеності вимірювання всіх трьох еталонів не перевищують $0,17 \%$.

В Нідерландській лабораторії NMi-VSL в якості первинного еталона використовується базова повірочна система (BVS), в склад якої входить дзвонова установка і установка рідинного витіснювання газу (рис. 1.4).

Одиниця об'єму від BVS передається до дзвонових установок з мірними об'ємами $0,5 \text{ м}^3$ та $3,5 \text{ м}^3$, які використовуються для калібрування робочих та трансферних еталонів.

Переміщення дзвона вимірюється роликовим дешифратором.



Рисунок 1.4 – Первинний еталон одиниці об'єму газу в Нідерландах [1]

Характеристики первинного еталону одиниці об'єму газу в Нідерландах:

- об'єми: а) повний: $0,5 \text{ м}^3$; контрольні об'єми: $0,1$ та $0,03 \text{ м}^3$; б) повний $3,5 \text{ м}^3$;
- діапазони витрат: а) від $0,015$ до $65 \text{ м}^3/\text{год}$ ($0,1$ до $60 \text{ м}^3/\text{год}$); б) від $0,1$ до $400 \text{ м}^3/\text{год}$;
- невизначеності: а) $0,08\%$; б) $0,10 \%$.



Рисунок 1.5 – Первинний еталон в Німеччині [15]

У фізико-технічному інституті РТВ (Німеччина) також є створений еталон дзвонового типу (рис. 1.5).

Його характеристики:

- контрольний об'єм: 1 м^3 ;
- діапазон витрат: 1 до $60 \text{ м}^3/\text{год}$;
- невизначеність: 0,06 %;
- мірний об'єм визначається геометричним способом;
- надлишковий тиск під дзвоном: $\approx 1 \text{ кПа}$.

1.3 Суть і принципи діагностування технічного обладнання

Суть і принципи діагностування технічних об'єктів викладені в нормативному документі [3]. В ньому відображені основні поняття і терміни, а також поділ на різні види діагностування, яке може бути реалізоване для різних об'єктів з врахуванням їх призначення і конструктивного виконання. У відповідності до цього стандарту завданням технічного діагностування є контроль технічного стану, пошук та визначення причини відмови і прогнозування технічного стану [3].

Незважаючи на те, що дзвонові установки є еталонними засобами і характеризуються достатньо високими метрологічними характеристиками, до них також можна використовувати процес діагностування, адже цей процес може забезпечувати контроль в експлуатаційних умовах дотримання відповідних технічних характеристик вузлів установок, які в силу виробничих обставин можуть отримати відхилення від нормованого значення. Тому діагностування логічно реалізовувати впродовж міжповірочного інтервалу.

Певний вид діагностування може бути застосований при монтажі вузлів установки, адже при транспортуванні її металоємких вузлів до місця монтажу дзвін і витіснювач може отримати деформації. Це буде впливати на погіршення їх метрологічних характеристик. При вивченні засобів технічного забезпечення діагностування слід розглядати його різні складові, до яких входить апаратне

забезпечення для формування і обробки інформативних сигналів, які характеризують працездатність установки. Крім цього, сучасні методики опрацювання цих сигналів, які базуються на застосуванні кореляційного і спектрального аналізу, дозволяють виявити фактори, які опосередковано впливають на якість функціонування установок і які не можливо дослідити в процесі проектування установок. Наприклад, пульсації тиску під дзвоном можуть характеризувати про рівномірність його опускання, плавність руху рухомих вузлів установки вздовж напрямних колон, зміну площі поперечного перерізу дзвону по його висоті. Дослідження кореляції цього тиску з тиском перед досліджуваним лічильником дозволяє проектувати і обґрунтовувати доцільність застосування погашувача пульсацій у вихідному трубопроводі установки.

Таким чином доцільним є розроблення технічного забезпечення для діагностування дзвонових витратовимірювальних установок. Звичайно необхідно конкретизувати вид діагностування, наприклад експрес-діагностування, яке реалізується обмеженою кількістю інформативних параметрів. Такими параметрами можуть бути наприклад, спектральна і взаємна спектральна щільності сигналів, які характеризують роботу установки, наприклад тиск в різних її точках і температура по її об'єму [4].

При цьому стабільність відтворюваних витрат забезпечують спеціальні пристрої стабілізації тиску під дзвоном [12], наприклад, важковий ваговий компенсатор 2, який компенсує зменшення ваги дзвона при зростанні глибини його занурення у замкову рідину витіснювача 3 шляхом пропорційного довантаження дзвона.

Компенсатори вказаного типу набули найбільшого поширення у створених на теренах СНД і України ЕУ, у тому числі і в конструкції Державного спеціального еталона [14]. Однак відомі алгоритми функціонування цих компенсаторів не враховують впливу зростання рівня замкової рідини в залежності від глибини занурення дзвона і потребують коригування їх конструкцій за результатами метрологічних досліджень при метрологічній атестації (МА).

Виходячи з рівності приросту об'єму замкової рідини витіснювача до приросту об'єму зануреної частини стінки дзвона, при моделюванні застосовувалася запропонована тотожність

$$\frac{\Delta h}{H} = \frac{S_D}{S_B + S_3}, \quad (2.1)$$

де Δh – приріст рівня замкової рідини при збільшенні занурення дзвона на величину H (рис. 2.1); S_D – площа поперечного перерізу стінки дзвона; S_B , S_3 – площі кільцевих перерізів замкової рідини, утворених поверхнями стінок дзвона та внутрішньою і зовнішньою стінкою витіснювача відповідно.

Права частина (2.1) кількісно характеризує значення коефіцієнта корекції компенсатора K_K , що дає можливість відомий алгоритм [12] для розрахунку вагового компенсатора подати у вигляді:

$$m = 0,5 \cdot \rho_p \cdot g \cdot S_D \cdot H \cdot (1 + K_K), \quad (2.2)$$

який фактично буде визначати його вдосконалений алгоритм функціонування.

У (2.2) використані позначення: m – маса довантаження дзвона на одиницю його лінійного переміщення H ; ρ_p – густина замкової рідини витіснювача; g – прискорення вільного падіння [12].

Для кількісної оцінки похибки через неточні розрахунки вагового компенсатора можна скористатися наступним виразом [17] для визначення зміни рівня рідини витіснювача Δh внаслідок зміни Δp тиску під дзвоном:

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho_p g} \cdot \frac{S_3}{S_B + S_3}, \quad (2.3)$$

Робочий надлишковий тиск $p_{нд}$ установки визначається відомою залежністю [17]:

$$p_{нд} = \frac{G}{S_0}, \quad (2.4)$$

де G – вага дзвона з урахуванням дії архімедової сили і ваги противаги; S_0 – площа внутрішнього перерізу дзвона на межі його занурення в рідину.

Враховуючи сталість площі S_0 , яка відповідає принципу роботи дзвонових ЕУ і задається технічними вимогами при виготовленні дзвона, на основі (2.4) її можна записати як

$$\Delta p = \frac{\Delta G}{S_0}, \quad (2.5)$$

Оскільки зміну ваги дзвона можна визначати зміною виштовхувальної сили при його опусканні і вагою компенсатора, яка визначається за допомогою коефіцієнта корекції K_K можна отримати:

$$\Delta F = \rho_p \cdot g \cdot S_D \cdot H \cdot K_K, \quad (2.6)$$

З урахуванням (2.5) і (2.6) вираз (2.3) набуває вигляду

$$\Delta h = \frac{S_D \cdot S_3 \cdot K_K}{S_0 \cdot (S_B + S_3)} \quad (2.7)$$

У свою чергу зміна рівня Δh у витіснювачі зумовить таке додаткове витіснення об'єму газу [17]:

$$\Delta V = \Delta h \cdot S_B \quad (2.8)$$

Співставляючи значення ΔV відносно значення відтвореного контрольного об'єму газу ($V_K = S_0 \cdot H$), отримуємо таку формулу для визначення похибки δ_K (відносна значення при відтворенні 1 м^3 газу) від неточності проектування вагового компенсатора

$$\delta_K = \frac{S_D^2 \cdot S_B \cdot S_3}{S_0^2 \cdot (S_B + S_3)^2} \quad (2.9)$$

Чисельний аналіз отриманих виразів (2.2) і (2.9) при зміні товщини стінки дзвона в діапазоні (2...10) мм і ширини кільцевих перерізів замкової рідини у витіснювачі (20...500) мм показав, що в залежності від співвідношення геометричних розмірів дзвона і витіснювача ЕУ похибка розрахунку компенсатора без врахування коефіцієнта K_K може сягати 25%. При цьому стосовно відомих параметрів раніше створених дзвонових еталонів вона знаходиться в межах (1,5...4,0)% і, як наслідок, може зумовити зростання НСП еталона на (0,02...0,03)%, що для сучасного технічного рівня витратовиміральної техніки є недопустимим [17].

Запропоноване вдосконалення алгоритму функціонування вагового компенсатора забезпечує підвищення точності його розрахунку на стадії проектування еталонів, що дає можливість підвищити їх точність і водночас зменшити затрати на проведення їх метрологічних досліджень.

Одним із нових принципів компенсації виштовхувальної сили в дзвонових ЕУ, є застосування рухомих рідинних компенсаторів. Алгоритм їх розрахунку передбачає визначення геометричних розмірів вузлів компенсатора в залежності від конструктивних параметрів дзвонових ЕУ [7].

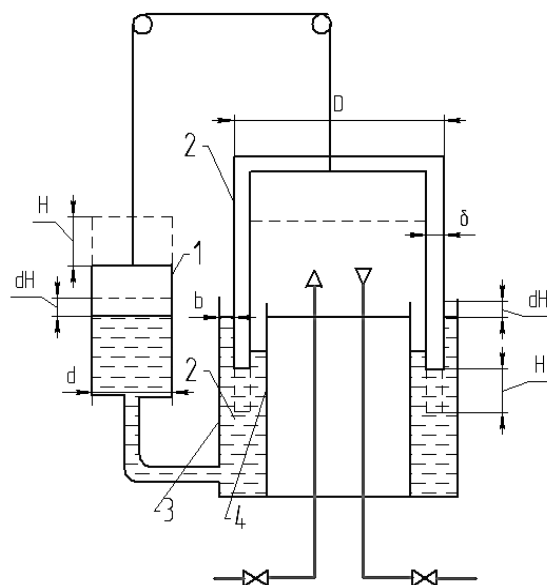


Рисунок 2.2 – Схема дзвонової ЕУ з рухомих рідинних компенсатором [7]

Розрахунок внутрішнього діаметра поперечного перерізу посудини рухомого рідинного компенсатора здійснюється виходячи з наступних умов:

- рівності приросту об'єму зануреної частини дзвона 2 (рис. 2.2) з приростом об'єму підняття рівня рідини dh у кільцевих резервуарах 3,4 і посудині компенсатора 1:

$$\Delta V_D + \Delta V_{КП} = \Delta V_{зовн} + \Delta V_{внутр} + \Delta V'_{КП}, \quad (2.10)$$

де ΔV_D – приріст об'єму зануреної частини стінки дзвона при його переміщенні на висоту H ; $\Delta V_{КП}$ – об'єм рідини, що перетікає з компенсуючої посудини в кільцеві резервуари при переміщенні її на висоту H ; $\Delta V_{зовн}$, $\Delta V_{внутр}$ – зміна об'єму рідини в кільцевих резервуарах 3 і 4 відповідно; $\Delta V'_{КП}$ – зміна об'єму рідини в компенсуючій посудині внаслідок зростання рівня в резервуарах 3 і 4 [17].

- рівноваги приростів ваги дзвона і ваги компенсатора:

$$\Delta G = \Delta G_{КП}, \quad (2.11)$$

де ΔG – зростання виштовхувальної сили, що діє на дзвін, при його опусканні на висоту H ; $\Delta G_{КП}$ – зміна ваги компенсуючої посудини при її переміщенні на висоту H .

Спільний розв'язок рівнянь (2.10) і (2.11) з записом вказаних приростів сил і об'ємів через геометричні розміри вузлів дзвонової ЕУ дає можливість отримати вираз:

$$d = 2\sqrt{\frac{\delta(D-\delta)(2b+\delta)}{2b-3\delta}}, \quad (2.12)$$

де d – внутрішній діаметр поперечного перерізу посудини компенсатора (рис.2.2); D – зовнішній діаметр поперечного перерізу дзвона; δ – товщина стінки дзвона; b – ширина кільцевих резервуарів 3 і 4 [18].

2.2 Математична модель відтворення об'єму газу дзвонивими установками як методологічна основа їх діагностування

Аналіз існуючих алгоритмів функціонування і конструкцій дзвонивих установок показав, що опосередковано здійснюється корегування контрольних відтворюваних об'ємів, тобто вимірюванням додаткових інформативних параметрів під час роботи установок (тиск і температура повітря під дзвоном) разом з алгоритмічно встановленим попередньо розрахунком приросту контрольного об'єму газу. Водночас враховується окремо кожен впливовий фактор, наприклад, підвищення рівня замкової рідини у кільцевому резервуарі [18] або непостійність тиску під дзвоном. Для врахування одночасно цих двох чинників при роботі дзвонивої ЕУ може бути використане технічне рішення [9]. Його особливістю є те, що тут застосовується пристрій корекції контрольного об'єму газу, який виконаний у вигляді диференціального перетворювача тиску, що має канали вимірювання тиску у піддзвонивому просторі та у внутрішній частині кільцевого резервуару, який, в свою чергу, підключений до мікропроцесорного обчислювача приросту контрольного об'єму газу через блок спряження.

Алгоритм функціонування коректора завбачає практичне використання кількох алгоритмів корегування відтворюваного контрольного об'єму газу.

Приріст ΔV_P контрольного об'єму газу встановлює перша складова моделі. Корегування контрольного об'єму необхідно здійснювати внаслідок підняття рівня Δh замкової рідини у внутрішній секції кільцевого резервуара (рис. 2.1) і записується виразом (2.8).

Кількісно підняття рівня рідини Δh_{PD} від переміщення дзвона H визначається геометричними розмірами вузлів установки і з урахуванням (2.1) обчислюється за формулою:

$$\Delta h_{PD} = \Delta H \cdot \frac{S_D}{S_B + S_3}, \quad (2.13)$$

Так як застосування дифманометра для визначення приросту рівня рідини [9] забезпечує незалежність результату вимірювання від значення робочого тиску під дзвоном, бо перетворювач тиску є диференціальним. Це дозволяє врахувати не теоретично розраховані значення параметрів S_d , S_b , S_z , а реальну зміну рівня рідини у витіснювачі. Це дозволяє реалізувати величину корегування відтворюваного значення контрольного об'єму.

Друга складова моделі корегування визначається виразом:

$$\Delta V_T = \frac{\Delta p}{2 \cdot p_0} \cdot V_K, \quad (2.14)$$

де ΔV_T – приріст контрольного об'єму газу V_K при зміні тиску на величину Δp під дзвоном за час його відтворення установкою; p_0 – абсолютний (робочий) тиск під дзвоном.

Третя складова моделі корегування відображає зміну рівня Δh_{PT} рідини у внутрішньому кільці кільцевого резервуару внаслідок зміни тиску під дзвоном. Це описується формулою (2.3).

Принциповою відмінністю впливу нестабільності рівня замкової рідини у внутрішньому кільці резервуара відповідно до алгоритму (2.3) порівняно з алгоритмом (2.13) є його випадковий характер. Це визначається його збільшенням або зменшенням внаслідок впливу випадкової зміни форми стінок дзвона, яка визначається точністю його конструктивного виготовлення. Також є випадкова дія додаткових факторів (локальна зміна сили тертя взаєморухомих вузлів установки, зміна сили гідравлічного опору переміщенню дзвону внаслідок зміни режимів його функціонування). Це дає можливість врахувати складову Δh_{PT} як доповнення до складової Δh_{PD} і розраховувати приріст контрольного об'єму згідно алгоритму (2.8) при двох складових зміні рівня рідини у внутрішньому кільцевому резервуарі. Водночас при вимірюваному значенні Δh_{PT} можна визначити значення Δp із алгоритму (2.3) для його врахування при розрахунку приросту контрольного об'єму газу згідно (2.14).

Алгоритми (2.3), (2.8), (2.13), (2.14) за своєю суттю є багатопараметричною математичною моделлю, яка враховує вплив нестабільності тиску під дзвоном і рівня замкової рідини у резервуарі при формуванні контрольного об'єму газу [18].

2.3 Розроблення пристрою для діагностування форми дзвона

Дзвоніві повірочні установки відносяться до засобів високої точності для відтворення і вимірювання витрат і об'ємів газу і тому використовуються як еталонні пристрої витратовимірювальної техніки, у тому числі зі статусом Державного спеціального і робочих [1, 2] еталонів. Можливості їх різноманітного конструктивного виконання за габаритами, тобто функціонування в діапазоні малих (до 10 м³/год), середніх (до 200 м³/год), великих (до 1600 м³/год) і надвеликих (до 8000 м³/год і більше) витрат, а також широкий діапазон (переважно не менше 1:100) відтворюваних витрат установок забезпечують можливість їх застосування для перевірки як побутових так і промислових лічильників і витратомірів газу. Водночас вказані вище конструктивні особливості і сфера застосування в метрологічному спрямуванні вимагають їх постійного метрологічного нагляду зокрема атестації і періодичної щорічної перевірки [10].

Основним вузлом, який формує похибку установки є дзвін, і безпосереднім параметром, що визначає стабільність відтворюваних потоків газу є постійність поперечного перерізу вздовж висоти дзвона.

Аналіз методів контролю за якістю виготовлення циліндричних поверхонь дзвона і витіснявача показав, що це є тонкостінні оболонки, які можуть частково деформуватися під час монтажу і експлуатації витратовимірювальної установки. Тому методи попередньої оцінки точності виготовлення вузлів установок носять чисто технологічний аспект і потребують точного вимірювання безпосередньо після збирання установки, тобто в умовах її метрологічної атестації. Особливо актуальним є питання при періодичній

півірці установок, так як після річної експлуатації можуть форми циліндричних оболонок частково змінитися, що може привести до зміни метрологічних характеристик установок і як наслідок може бути зумовлена неправильна метрологічна атестація досліджуваних лічильників і витратомірів газу. Водночас актуальним є діагностування технічного стану установки і зокрема форми дзвона яке можна розглядати як позачерговий контроль за якістю функціонування установки при позаштатних відхиленнях від її нормальної експлуатації або як технологічна передумова при її черговій метрологічній півірці.

Відомим є визначення об'єму дзвона, яке здійснюється при його градуюванні шляхом точного зважування і визначення густини рідини, що зливається з проміжної ємкості і по цих даних здійснюють поінтервальне нанесення об'ємів дзвона на шкалу контрольної лінійки установки [4]. При такому методі градуювання поділки наносять для дзвона об'ємом 5 м^3 і більше наприклад, через кожний кубічний метр. Потім ділянку шкали, яка відповідає цьому об'єму, розбивають на рівні по довжині інтервали, після цього кожна десята поділка оцифровується. Однак для реалізації цього методу необхідно щоб дзвін не мав, по крайній мірі, в межах одного кубічного метра ніяких відхилень від циліндричності. Але цього досягнути практично неможливо, що викликає похибку установки [4].

Контроль об'єму дзвона також можна здійснити, реалізуючи геометричний метод вимірювання розмірів дзвона [10], який передбачає багаторазове вимірювання всіх окремих ділянок об'єму дзвона. Однак цей метод є трудомісткий так як потребує великої кількості вимірювань з використанням високоточних вимірювачів лінійних розмірів (зразкової рулетки I або II розряду, нутроміра, спеціального мікрометричного товщиноміра стінки дзвона). Крім того при цьому методі треба враховувати поправку на підняття рівня рідини у витіснювачі внаслідок занурення стінок дзвона і допоміжних елементів установки у замкову рідину витіснювача.

Тому необхідно розробити достатньо прості методики і пристрою для діагностування форми дзвона витратовимірjuвальних установок, який практично міг би забезпечувати його періодичну метрологічну атестацію.

Розроблена методика діагностування передбачає неперервне вимірювання і реєстрацію тиску під дзвоном в процесі його піднімання під час наповнення, вимірювання і реєстрацію тиску під дзвоном в процесі його опускання при відтворенні витрати, з наступним усередненням результатів цих двох вимірювань і визначення по усередненій величині зміни тиску при непостійності поперечного перерізу дзвона [13].

На рисунку 2.3 схематично показані криві залежності тиску під дзвоном від глибини його занурення, записані вимірювачем тиску при підніманні (крива 1) і опусканні (крива 2) дзвона, а також крива усередненого тиску (крива 3).

При дослідженнях лінію нагнітання і лінію з випробувальною ділянкою налаштовують на однакову витрату.

Тиск під дзвоном зв'язаний з його параметрами наступною залежністю:

$$P = \frac{F \pm f}{S}, \quad (2.15)$$

де F – вага дзвона з врахуванням дії архімедової сили і ваги противаги; S – внутрішня площа перерізу дзвона на межі його занурення в рідину; f – приведений опір переміщення дзвона.

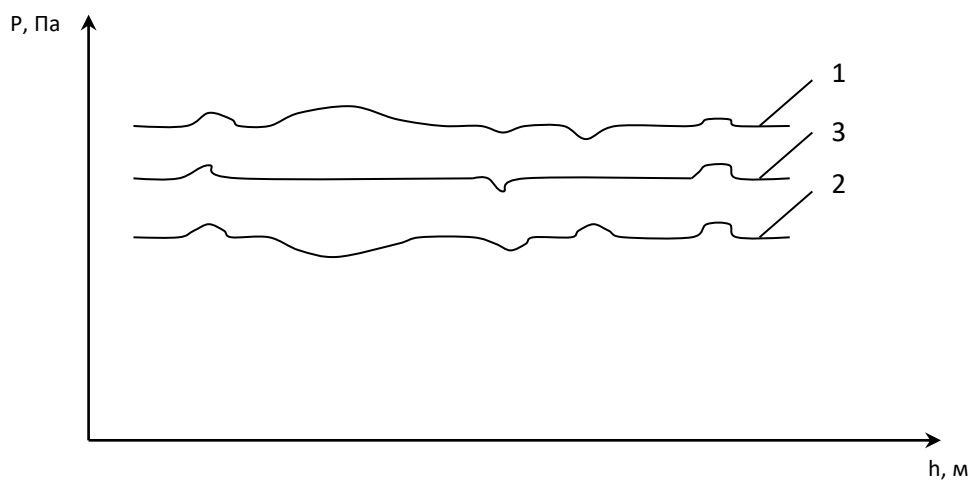


Рисунок 2.3 – Графічна інтерпретація кривих залежності тиску під дзвоном від глибини його занурення при діагностуванні форми дзвона.

Розуміючи постійність сили F внаслідок незмінності ваги дзвона, а також можливість виключення впливу сили f на результати вимірювань, стає очевидною однозначна залежність тиску під дзвоном від площі його поперечного перерізу. Таким чином, записувана вимірювачем тиску крива несе в собі інформацію про внутрішню площу поперечного перерізу дзвона, яка змінюється.

Обробляючи при розрахунках ділянку графіка, який знаходиться між мітками початку і кінця поступлення градуйованого контрольного об'єму газу, можна визначити об'єм газу, який витісняється дзвоном на цій ділянці. З цією метою попередньо в довільній точці дзвона по висоті вимірюють геометричним методом довжину зовнішнього кола та товщину стінки дзвона і, визначивши значення площі, обчислюють силу F , яка необхідна для наступних розрахунків. Значення тиску P при цьому визначають вимірювачем тиску [21].

Таким чином, маючи неперервне значення зміни тиску, можна в будь-якій точці по висоті дзвона розрахувати його внутрішню площу. Також не складає труднощів обчислення за допомогою графіка методом інтегрування об'єму дзвона між двома заданими значеннями вздовж його висоти.

Висота дзвона на градуйованій ділянці може обчислюватися двома методами: шляхом вимірювання за допомогою високоточного моделювання ПЕОМ графіка довжини ділянки між мітками або шляхом вимірювання зразковим засобом відстані між переривачами світлового потоку, встановленими на шкалі дзвона.

Для зняття впливу на градуювання приведеної сили тертя f , враховуючої тертя дзвона в замковій рідині і в направляючих, тертя компенсаційної і сталльної стрічок на блоках, а також тертя в направляючих контрольної лінійки, достатньо мати записані криві зміни тиску при підніманні дзвона і його опусканні [17].

З достатньою для практики точністю можна прийняти, що приведені сили тертя f при підніманні дзвона і його опусканні рівні між собою, тому при

На вхід МБД поступає також сигнал від вимірювача лінійного переміщення дзвона ВПД для отримання інформації по осі ординат графіка на рисунку 2.3. Блоки ВРН, ЗОН і ПП практично реалізують диференціальний метод вимірювання і конструктивно для цього може бути використаний серійний диференціальний вольтметр постійного струму, наприклад, типу В2-34. Установка також оснащена джерелом робочого газу, наприклад, повітродувкою 10, вхідним трубопроводом 11 з швидкодіючим запірним клапаном 12 та вихідним трубопроводом 13 з швидкодіючим запірним клапаном 14, до якого під'єднана випробувальна ділянка 15 з досліджуваним приладом 16 і пристроєм задавання відтворюваних витрат 17 [21].

При роботі установки спочатку заповнюють робочим газом піддзвоновий простір дзвона 4 від повітродувки 10 при відкритому клапані 12 та закритому клапані 14. При цьому ППТ здійснює перетворення значення тиску під дзвоном 1 у нормований вихідний сигнал, який подається до ВРН, обробляється ДВ і поступає на МБД водночас інформація про переміщення дзвона з вузла 7-8 поступає через ВПД на МБД, чим досягається побудова графіка зміни тиску від переміщення дзвона при його підніманні. Далі закривають клапан 12 і відкривають клапан 14. Дзвін 4 під власною вагою починає витискати робочий газ через випробувальну ділянку 15 та досліджуваний прилад 16. Відтворюваний контрольний об'єм газу відлічується електронним вимірювачем ВКО газу по величині переміщення контрольної лінійки 7 вздовж оптоелектронної пари 8. Під час опускання дзвона здійснюється збір інформації про тиск під дзвоном як і при його піднятті. Після цього здійснюється обробка отриманих графіків згідно описаної вище методики [21].

Конструктивний пристрій при належному підборі достатньої точності первинного перетворювача тиску з похибкою не вище $\pm 0,1\%$, застосованого диференціального методу вимірювання і сучасної мікропроцесорної техніки забезпечує можливість досягнення діагностування значення попечечного перерізу дзвона з похибкою, що не перевищує $\pm 0,07\%$, чим відкриваються можливості для його застосування при метрологічній атестації установок.

2.4 Кореляційний аналіз при діагностуванні дзвонових витратовимірювальних установок

При вивченні залежностей явищ стикаються з двома різними типами передумов. У першому випадку експериментатор задає певні значення залежної змінної $X=x$, для яких і спостерігаються значення змінної Y . Тобто величини x – не випадкові (фіксовані), причому кожному значенню x відповідає деякий генеральний розподіл Y з дисперсією (σ^2). Спостережені значення у розглядають як вибіркові з цих розподілів. У цьому випадку здобуту модель називають регресійною [20].

У другому випадку спостережені значення y і x можуть являти собою вибірки з двовимірною нормального розподілу, тобто на відміну від попереднього випадку значення X уже не є фіксованими або контрольованими змінними. Таку модель називають кореляційною [20].

Якщо досліджувана модель є регресійною, то коефіцієнт кореляції характеризує якість добору рівняння регресії. У разі кореляційної моделі коефіцієнт кореляції є мірою щільності лінійного зв'язку між випадковими величинами [16].

Основною передумовою кореляційного аналізу є незалежність випадкових аргументів і можливість їх контролю або керування ними. Усі вхідні та вихідні випадкові змінні мають бути підпорядковані нормальному закону розподілу ймовірностей [4].

Кореляційного аналіз реалізується в два етапи.

Перший етап – будується діаграма розсіювання (поле кореляції), тобто графічне відображення точок (x_i, y_i) на площині (X, Y) . Проаналізувавши діаграму розсіювання, можна з'ясувати, чи припустимим є припущення про залежність між X та Y , і прийняти рішення щодо форми кривої залежності [20].

Другий етап. Якщо припускається наявність лінійної кореляції, то обчислюється значення коефіцієнта кореляції r та перевіряється його статистична значущість [20].

За умови, що коефіцієнт кореляції значущий, існує твердження про лінійний регресійний зв'язок між величинами X та Y .

Якщо ідентифікується нелінійна регресійна залежність, обчислюється кореляційне відношення η_{YX} і перевіряється його статистична значущість. Вид залежності можна уточнити накладанням на неї типових кривих [20].

Проводячи статистичний аналіз, перевіряють гіпотези про форму функції регресії. Найбільш потужним є критерій Фішера [6].

Дзвоніві витратовимірювальні установки в переважній більшості свого застосування використовуються як взірцеві засоби точного вимірювання і відтворення об'єму або осереднених витрат газу [5, 14]. Поряд з цим їх значна вартість (понад 100 тис. доларів) і обмежена кількість створюють передумови для використання як взірцевих для вимірювання миттєвих витрат. Це зумовлює необхідність більш детального метрологічного дослідження поряд з основними інформативними інтегральними параметрами (значення контрольного об'єму газу і часу його відтворення ще й якісних інформативних параметрів (миттєві значення витрати газу, його тиску, температури), а також вивчення кореляційних зв'язків між ними.

В дзвонівих установках при їх МА одним з важливих питань є система досліджень зміни перетворення контрольованого об'єму при його транспортуванні від дзвону до досліджуваного приладу. При цьому параметр V_K зумовлюється не тільки внаслідок непостійності p , T але і внаслідок непостійності витрат повітря яке створюється установкою. Тому актуальним є дослідження кореляційної залежностей між переміщеннями які характеризують Q і V_K і витрату та об'єм, передаються на досліджуваний прилад.

При цьому одним з важливих є дослідження часових і частотних витрат як основних інформативних сигналів у взірцевих витратовимірювальних установок. Відомі дослідження охоплювали тільки дослідження одного з параметрів або дзвону або безпосередньо витрати перед досліджуваний прилад. В той же час сучасні методи кореляційного аналізу дають можливість досліджувати дані характеристики засобів вимірювання [18].

З метою практичної реалізації кореляційного аналізу якісних інформативних параметрів проведені експериментальні дослідження стабільності тиску під дзвоном, тиску і витрати повітря на виході установки [11]. Для цього використовувався багатоканальний самописець типу НЗ38, який одночасно реєстрував миттєві значення трьох вказаних якісних параметрів. Вимірювання здійснювалися двома перетворювачами тиску типу ИПТ моделі 89007 з аналоговим вихідним сигналом і третім аналогічним перетворювачем перепаду тиску, який під'єднувався до діафрагми, встановленої у вихідному трубопроводі на місці монтажу досліджуваних витратомірів.

Кореляційний аналіз застосовується до детермінованих та стохастичних сигналів.

Середє значення послідовності даних x_n :

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n, \quad (2.16)$$

Дисперсія

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2, \quad (2.17)$$

Коваріантність

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y}), \quad (2.18)$$

У разі знакозмінних значень лінійні середні значення дорівнюють нулю, тобто $\bar{x} = 0$ та $\bar{y} = 0$. Останнє рівняння спрощується до

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n y_n, \quad (2.19)$$

Коефіцієнт кореляції r – це нормована коваріантність, причому $-1 \leq r \leq 1$ [20] Нормування відбувається за рахунок ділення коваріантності на добуток стандартних відхилень σ_x та σ_y

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}. \quad (2.20)$$

Взаємно кореляційна функція (ВКФ) Φ_{xy} сигналів x та y для сигналів без постійної складової ВКФ визначається як:

$$\Phi_{xy}(kT_a) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(nT_a)y([n-k]T_a), \quad (2.21)$$

$$\Phi_{xy}(kT_a) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n y_{n-k}, \quad (2.22)$$

Залежність окремого сигналу від його попередніх значень можна вивчити за допомогою автокореляційної функції (АКФ) Φ_{xx} , Φ_{yy}

$$\Phi_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(nT_a)x([n-k]T_a), \quad (2.23)$$

$$\Phi_{xx} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n x_{n-k}, \quad (2.24)$$

$$\Phi_{yy} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n y_{n-k}, \quad (2.25)$$

Для утворення кореляційних функцій необхідно затримати обидва залежні від часу сигнали на τ . АКФ Φ_{xx} та Φ_{yy} і ВКФ Φ_{xy} – функції від часу затримки τ [20]. Для сигналів, позбавлених постійної складової, вони визначаються як:

$$\Phi_{xx}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t-\tau)dt, \quad (2.26)$$

$$\Phi_{yy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T y(t)y(t-\tau)dt, \quad (2.27)$$

$$\Phi_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)y(t-\tau)dt, \quad (2.28)$$

Нормована ВКФ $\Phi_{xy, норм}(\tau)$ має вигляд:

$$\Phi_{xy, норм}(\tau) = \frac{\Phi_{xy}(\tau)}{\sqrt{\Phi_{xx}(0)\Phi_{yy}(0)}}, \quad (2.29).$$

Квантування отриманих залежностей і їх цифрова обробка за допомогою ПЕОМ дали можливість обчислити значення дисперсії і отримати автокореляційні і взаємно кореляційні функції вказаних сигналів, а також здійснити спектральний аналіз цих сигналів.

З метою практичної реалізації діагностування технічного стану дзвонових витратовимірювальних установок проведені експериментальні дослідження стабільності тиску під дзвоном, а також пульсацій тиску досліджуваного приладу. Для цього використовувалося інформаційно-програмне забезпечення на базі Numeri [20].

Цифрова обробка результатів досліджень дала можливість обчислити значення дисперсії, спектральної щільності і взаємно спектральної щільності вказаних сигналів.

Проведений аналіз дозволяє дослідити і математично описати взаємозв'язок між характеристиками витрати і об'єму газу, відтворюваними дзвоним мірником, та їх значеннями переданими досліджуваному приладу. Розраховані спектральні характеристики сигналів засвідчують доцільність математичного опису вихідного трубопроводу установки як пневматичного фільтра низьких частот з частотою зрізу, яка визначається його конструктивним виконанням. Крім того спектральний аналіз дає можливість виявити фактори і умови виникнення резонансних явищ які мають місце при метрологічних дослідженнях ротаційних лічильників газу. Отримані результати також відкривають нові можливості щодо поглибленого вивчення і кількісної оцінки динамічних складових похибки дзвонових установок [20].

Експериментальне дослідження проводилося для трьох різних витрат: $0,15\text{ м}^3/\text{год}$, $2\text{ м}^3/\text{год}$ та $10\text{ м}^3/\text{год}$.

В таблицях 2.1-2.3 наведені експериментальні результати дискретизації вимірюваних значень тиску під дзвоном P_y і перед досліджуваним приладом $P_{дп}$.

Таблиця 2.1 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуваним лічильником при витраті $10 \text{ м}^3/\text{год}$ [16].

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1.	3400,9	3314,6	29.	3406,6	3315,6	57.	3373,1	3285,9
2.	3390,3	3296,4	30.	3407,6	3319,4	58.	3377,9	3289,7
3.	3385,5	3301,2	31.	3394,2	3304,1	59.	3393,2	3307,9
4.	3386,5	3295,5	32.	3400,9	3314,6	60.	3393,2	3307
5.	3392,2	3311,8	33.	3382,7	3290,7	61.	3395,1	3307
6.	3404,7	3313,7	34.	3384,6	3298,4	62.	3393,2	3302,2
7.	3409,5	3327,1	35.	3382,7	3293,6	63.	3396,1	3309,9
8.	3410,4	3316,6	36.	3381,7	3295,5	64.	3397	3304,1
9.	3413,3	3331,9	37.	3374	3284,9	65.	3382,7	3392,6
10.	3410,4	3315,6	38.	3374	3289,7	66.	3384,6	3298,4
11.	3422,9	3344,3	39.	3376	3285,9	67.	3376	3284
12.	3411,4	3312,7	40.	3391,3	3308,9	68.	3375	3290,7
13.	3413,3	3333,8	41.	3397	3308,9	69.	3376	3283
14.	3402,8	3303,1	42.	3396,1	3308,9	70.	3368,3	3281,1
15.	3401,8	3320,4	43.	3402,8	3315,6	71.	3371,2	3284
16.	3393,2	3296,4	44.	3397	3309,9	72.	3364,5	3274,4
17.	3388,4	3308,9	45.	3401,8	3315,6	73.	3379,8	3296,4
18.	3396,1	3301,2	46.	3404,7	3315,6	74.	3382,7	3295,5
19.	3398	3312,7	47.	3396,1	3305,1	75.	3386,5	3299,3
20.	3374	3282,1	48.	3394,2	3303,1	76.	3394,2	3306
21.	3394,2	3310,8	49.	3388,4	3298,4	77.	3390,3	3301,2
22.	3386,5	3294,5	50.	3387,4	3299,3	78.	3394,2	3307
23.	3405,7	3323,3	51.	3378,8	3286,9	79.	3395,1	3304,1
24.	3405,7	3313,7	52.	3376	3288,8	80.	3397	3309,9
25.	3410,4	3328,1	53.	3376	3284,9	81.	3392,2	3301,2
26.	3419,1	3327,1	54.	3368,3	3278,2	82.	3383,6	3293,6
27.	3407,6	3321,3	55.	3367,3	3276,3	83.	3379,8	3289,7
28.	3428,6	3340,5	56.	3362,5	3273,4	84.	3367,3	3275,4

Таблиця 2.2 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуваним лічильником при витраті $0,15 \text{ м}^3/\text{год}$

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	3412,4	3394,2	29.	3420	3418,1	57.	3404,7	3383,6
2.	3416,2	3398	30.	3397	3396,1	58.	3402,8	3380,7
3.	3416,2	3398,9	31.	3420	3418,1	59.	3403,7	3380,7
4.	3417,1	3398	32.	3397	3396,1	60.	3399,9	3376
5.	3417,1	3397	33.	3420	3418,1	61.	3401,8	3380,7
6.	3417,1	3398	34.	3397	3396,1	62.	3400,9	3377,9
7.	3422,9	3406,6	35.	3420	3418,1	63.	3402,8	3383,6
8.	3428,6	3408,5	36.	3397	3396,1	64.	3402,8	3381,7
9.	3424,8	3402,8	37.	3420	3418,1	65.	3401,8	3379,8

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	3421,9	3398,9	38.	3397	3396,1	66.	3400,9	3377,9
11.	3420	3399,9	39.	3413,3	3393,2	67.	3400,9	3378,8
12.	3427,7	3411,4	40.	3413,3	3391,3	68.	3396,1	3372,1
13.	3435,3	3417,1	41.	3413,3	3390,3	69.	3399,9	3381,7
14.	3429,6	3407,6	42.	3412,4	3390,3	70.	3404,7	3384,6
15.	3427,7	3407,6	43.	3412,4	3390,3	71.	3401,8	3377,9
16.	3422,9	3400,9	44.	3410,4	3386,5	72.	3401,8	3378,8
17.	3421,9	3399,9	45.	3408,5	3384,6	73.	3400,9	3378,8
18.	3422,9	3403,7	46.	3405,7	3386,5	74.	3400,9	3377,9
19.	3420	3398,9	47.	3404,7	3380,7	75.	3402,8	3384,6
20.	3419,1	3399,9	48.	3399,9	3382,7	76.	3406,6	3386,5
21.	3422,9	3403,7	49.	3401,8	3380,7	77.	3405,7	3385,5
22.	3424,8	3405,7	50.	3398	3376	78.	3406,6	3383,6
23.	3426,7	3407,6	51.	3400,9	3380,7	79.	3404,7	3383,6
24.	3425,8	3406,6	52.	3405,7	3383,6	80.	3408,5	3386,5
25.	3425,8	3405,7	53.	3403,7	3381,7	81.	3409,5	3390,3
26.	3425,8	3405,7	54.	3404,7	3382,7	82.	3412,4	3390,3
27.	3424,8	3400,9	55.	3404,7	3382,7	83.	3412,4	3389,4
28.	3421	3399,9	56.	3404,7	3382,7	84.	3413,3	3391,3

Таблиця 2.3 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуваним лічильником при витраті 2 м³/год

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1.	3409,5	3394,2	21.	3376	3356,8	41.	3407,6	3392,2
2.	3409,5	3390,3	22.	3375	3357,8	42.	3408,5	3391,3
3.	3406,6	3387,4	23.	3380,7	3363,5	43.	3409,5	3390,3
4.	3402,8	3383,6	24.	3383,6	3364,5	44.	3411,4	3390,3
5.	3399,9	3381,7	25.	3382,7	3361,6	45.	3403,7	3383,6
6.	3397	3378,8	26.	3386,5	3369,2	46.	3401,8	3381,7
7.	3395,1	3376,9	27.	3389,4	3372,1	47.	3398	3376,9
8.	3392,2	3374	28.	3392,2	3375	48.	3398	3377,9
9.	3389,4	3371,2	29.	3392,2	3374	49.	3388,4	3367,3
10.	3386,5	3368,3	30.	3398,9	3379,8	50.	3385,5	3366,4
11.	3384,6	3365,4	31.	3397	3377,9	51.	3382,7	3362,5
12.	3381,7	3362,5	32.	3398	3378,8	52.	3376,9	3357,8
13.	3378,8	3359,7	33.	3397	3381,7	53.	3376,9	3356,8
14.	3376	3355,8	34.	3401,8	3382,7	54.	3374	3353
15.	3375	3355,8	35.	3400,9	3381,7	55.	3369,2	3347,2
16.	3376	3357,8	36.	3415,2	3398,9	56.	3370,2	3349,1
17.	3376	3357,8	37.	3410,4	3391,3	57.	3370,2	3349,1
18.	3376	3358,7	38.	3406,6	3385,5	58.	3370,2	3349,1
19.	3376	3357,8	39.	3406,6	3386,5	59.	3370,2	3349,1
20.	3376	3357,8	40.	3404,7	3385,5	60.	3370,2	3349,1

Графічна інтерпретація табличних даних (таблиці 2.1-2.3) і обчислені кореляційні функції наведені нижче (рисунки 2.5-2.16)

Дослідження на витраті $0,15 \text{ м}^3/\text{год}$

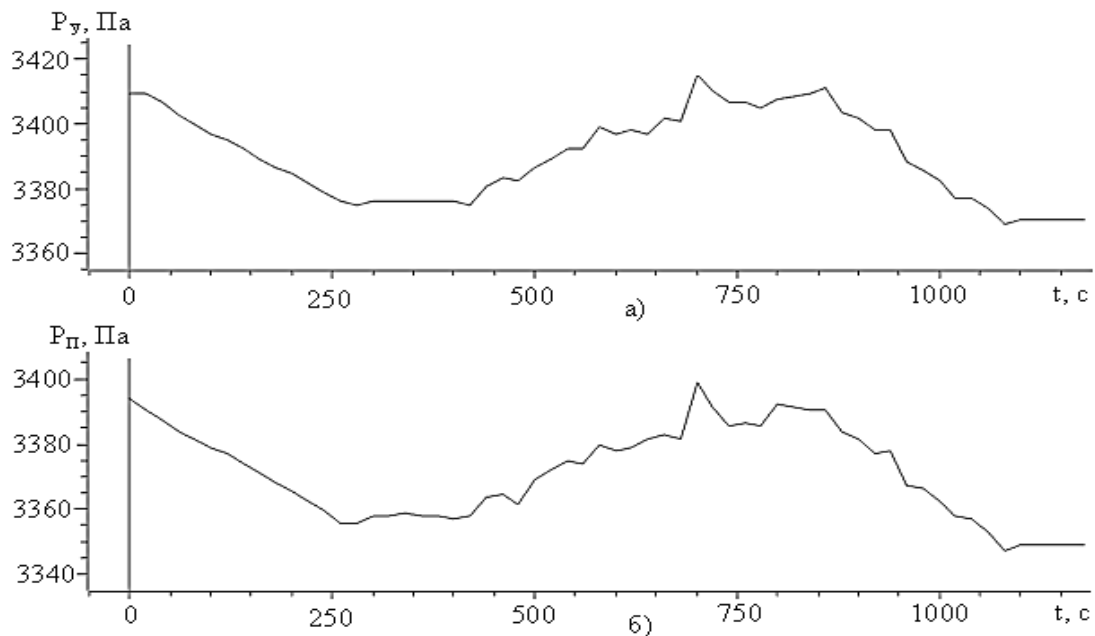


Рисунок 2.5 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)

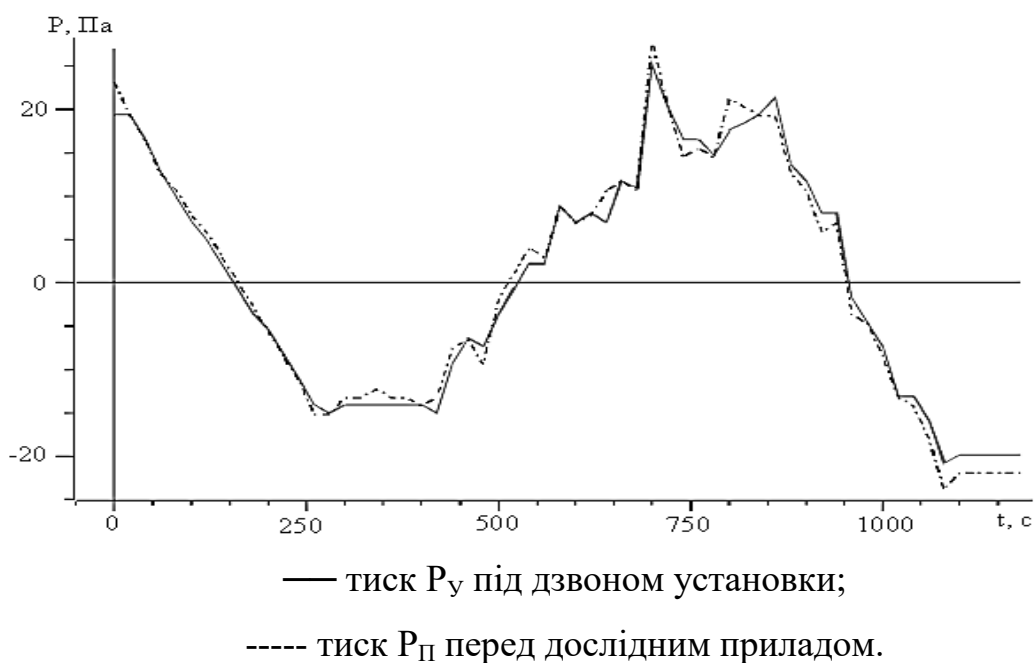


Рисунок 2.6 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

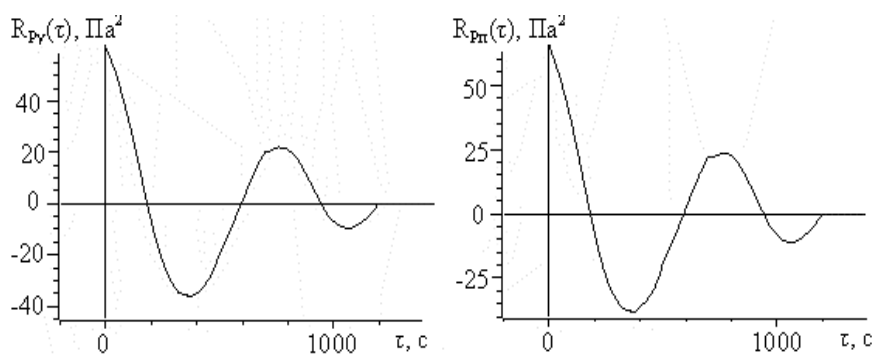


Рисунок 2.7 – Автокореляційна функція

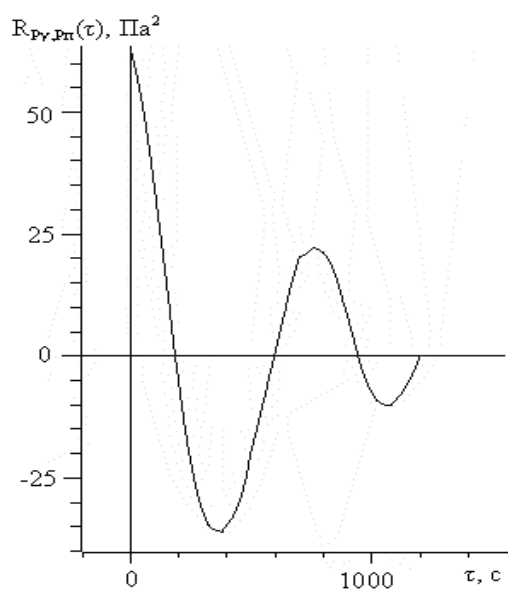


Рисунок 2.8 – Взаємнокореляційна функція

Дослідження на витраті 2м³/год

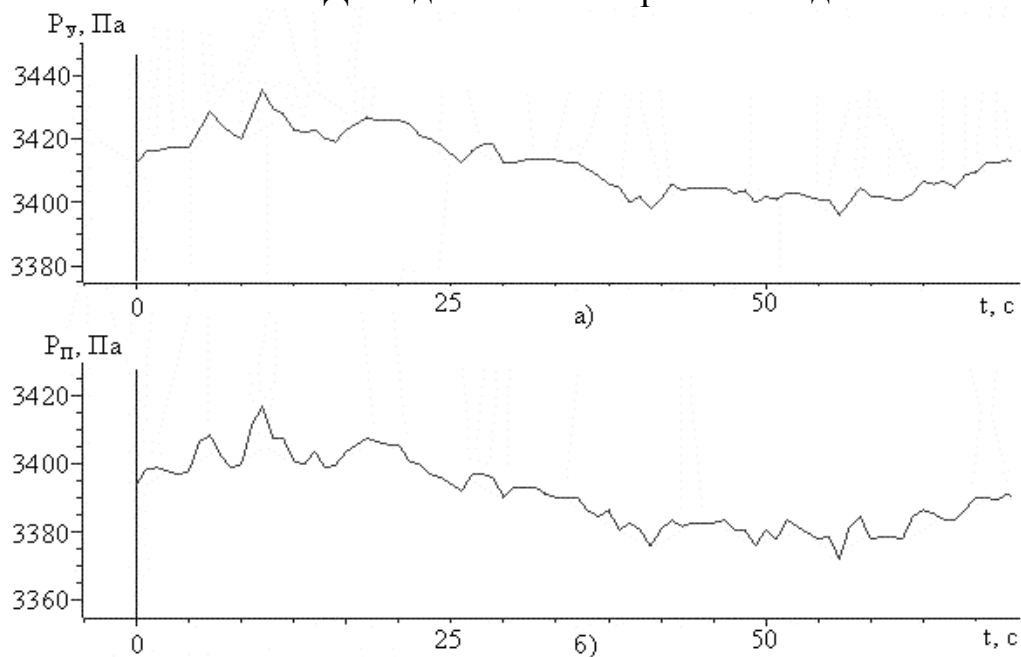


Рисунок 2.9 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)

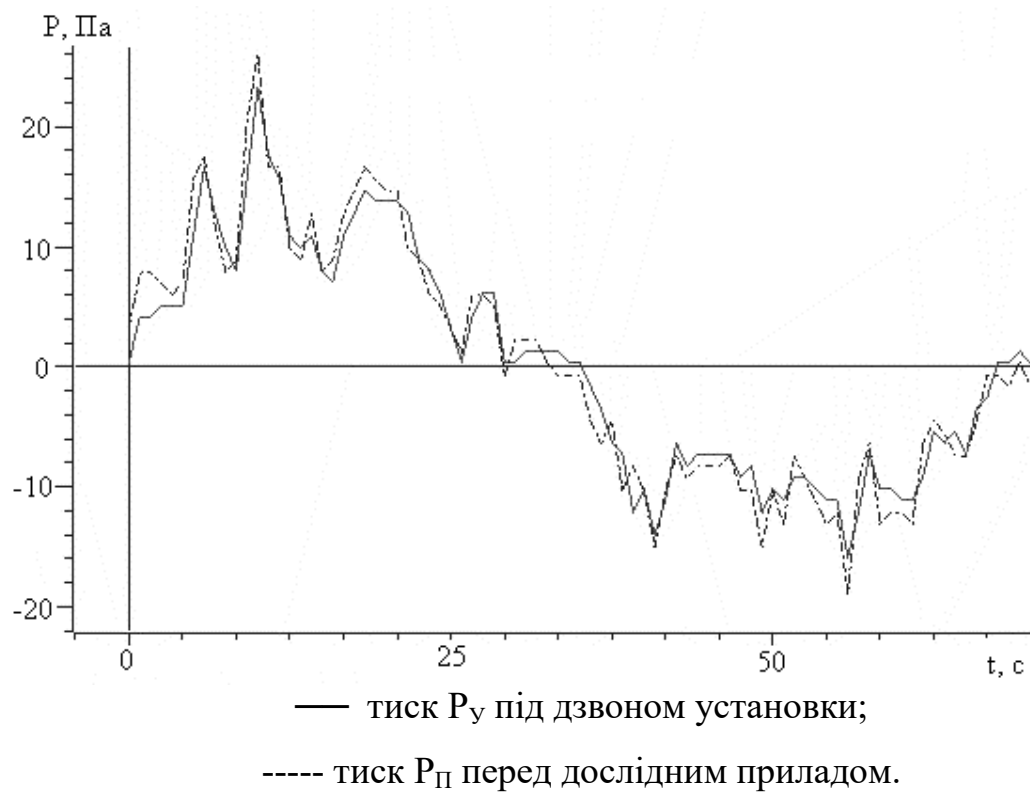


Рисунок 2.10 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

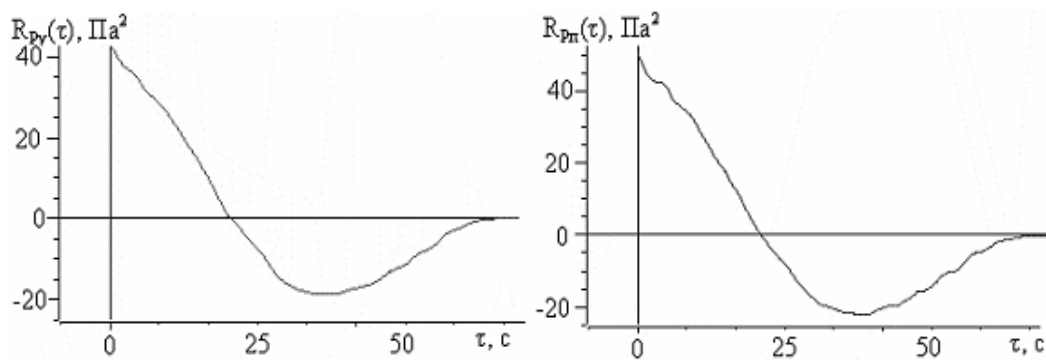


Рисунок 2.11 – Автокореляційна функція

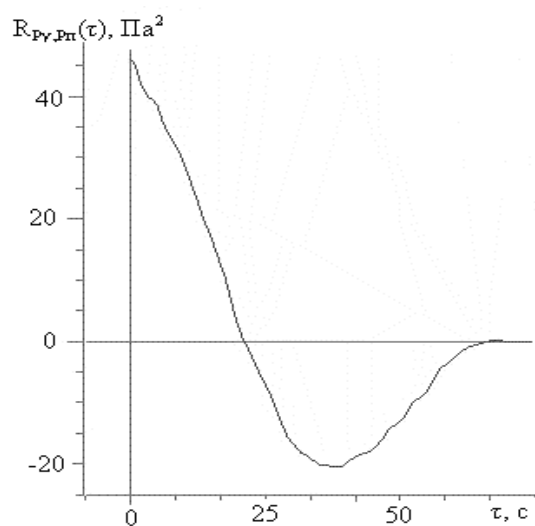


Рисунок 2.12 – Взаємнокореляційна функція

Дослідження на витраті $10\text{ м}^3/\text{год}$

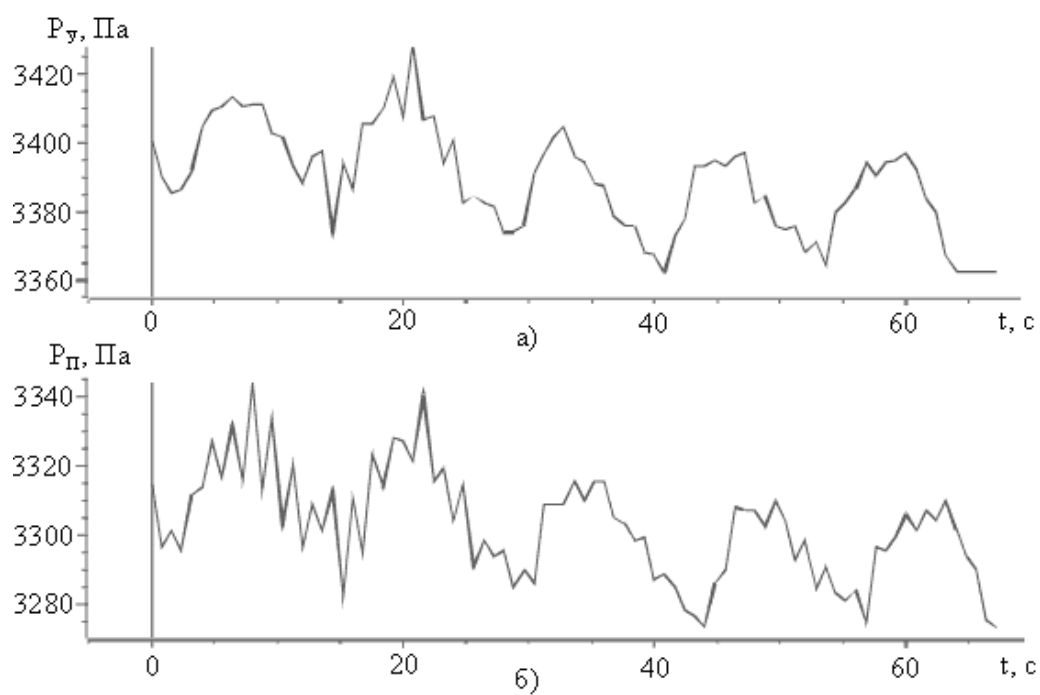
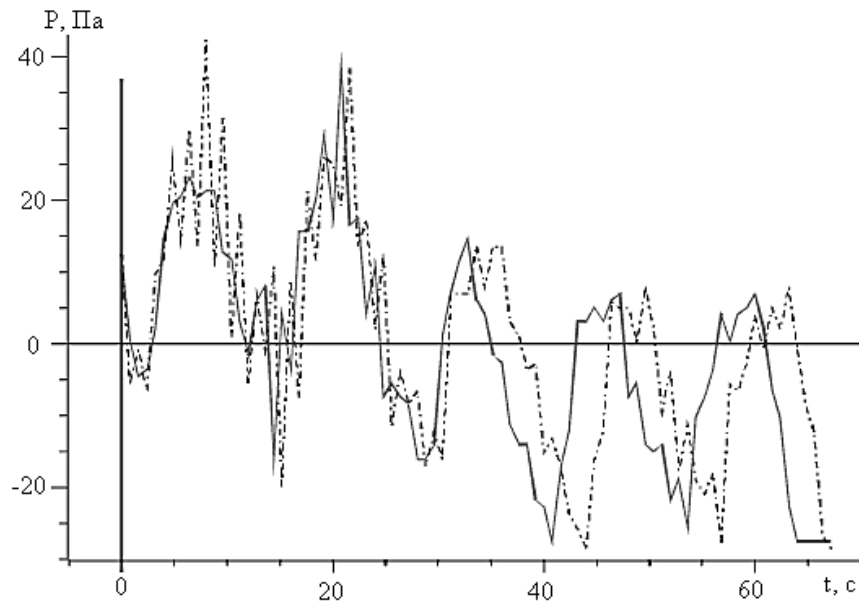


Рисунок 2.13 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)



— тиск P_Y під дзвоном установки;

----- тиск $P_П$ перед дослідним приладом.

Рисунок 2.14 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

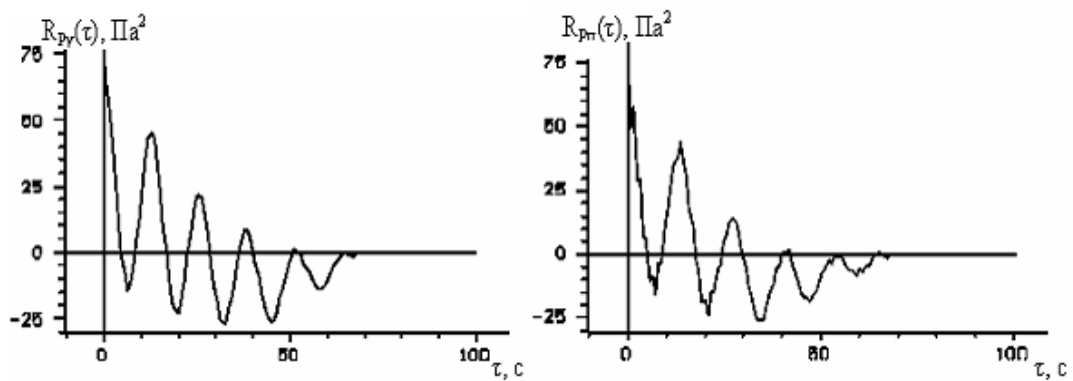


Рисунок 2.15 – Автокореляційна функція

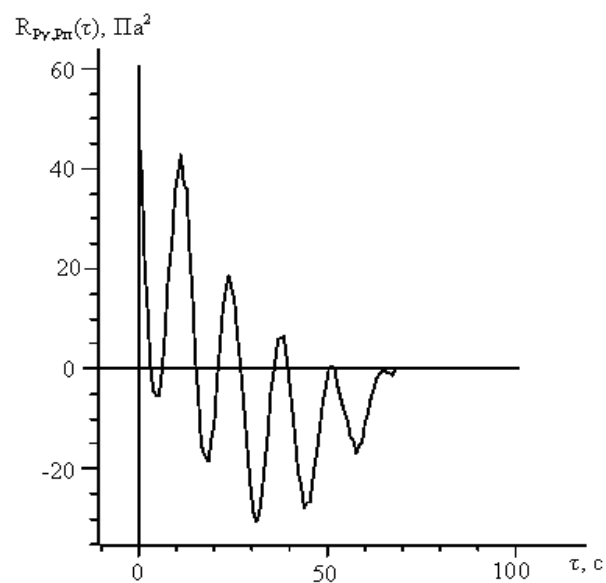


Рисунок 4.16 – Графіки Взаємнокореляційна функція

Зведемо всі отримані за допомогою програми Numeri статистичні характеристики до таблиць 2.4-2.5, які наведені нижче [20].

Таблиця 2.4 – Статистичні характеристики нестабільності тиску під дзвоном

Витрата	К-ть точок	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Середнє арифметичне	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Середнє геометричне
10 м ³ /год	85	3362,5	3428,6	66,1	3389	226,8	15,06	225,01	3388,97
0,15 м ³ /год	85	3396,1	3435,3	39,2	3412	87,6	9,36	364,49	3412,19
2 м ³ /год	60	3369,2	3415,2	46	3390	185,9	13,64	248,62	3390,02

Таблиця 2.5 – Статистичні характеристики нестабільності тиску перед досліджуваним приладом

Витрата	К-ть точок	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Середнє арифметичне	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Середнє геометричне
10 м ³ /год	85	3273,4	3344,3	70,9	3302,6	239,86	15,49	213,25	3302,6
0,15 м ³ /год	85	3372,1	3417,1	45	3391,2	103,2	10,16	333,83	3391,19
2 м ³ /год	60	3347,2	3398,9	51,7	3371,0	200,6	14,16	238,01	3370,99

2.5 Спектральний аналіз при діагностуванні дзвонових витратовимірювальних установок

Спочатку охарактеризуємо суть спектральних характеристик і їх алгоритмічне отримання. Також необхідно показати зв'язок між спектральними і кореляційними характеристиками.

Теорема Вінера-Хінчина: кореляційні функції залежать від часу. Їх можна трансформувати за допомогою трансформації Фур'є в частотну область. При цьому дістають автоспектральну щільність потужності (АСЩП) S_{xx} та взаємно спектральну щільність потужності (ВСЩП) S_{xy} [20]:

$$\mathfrak{F}(\Phi_{xx}(\tau)) = \int_{\tau=-\infty}^{\infty} \Phi_{xx}(\tau) \cdot e^{j\omega\tau} d\tau = S_{xx}(j\omega), \quad (2.30)$$

$$\mathfrak{F}(\Phi_{xy}(\tau)) = \int_{\tau=-\infty}^{\infty} \Phi_{xy}(\tau) \cdot e^{j\omega\tau} d\tau = S_{xy}(j\omega), \quad (2.31)$$

Зворотна операція також дійсна. За допомогою оберненої трансформації Фур'є можна отримати кореляційні функції [20]:

$$\mathfrak{F}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega=-\infty}^{\infty} S_{xx}(j\omega) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega = \Phi_{xx}(\tau), \quad (2.32)$$

$$\mathfrak{F}^{-1}(S_{xy}(j\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{\omega=-\infty}^{\infty} S_{xy}(j\omega) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega = \Phi_{xy}(\tau), \quad (2.33)$$

Отже, між кореляційними функціями та спектральними щільностями потужності мають місце такі перетворення (теорема Вінера-Хінчена):

$$\text{АКФ } \Phi_{xx}(\tau) \leftrightarrow S_{xx}(j\omega) \text{ АСЦП}, \quad (2.34)$$

$$\text{ВКФ } \Phi_{xy}(\tau) \leftrightarrow S_{xy}(j\omega) \text{ ВСЦП}, \quad (2.35)$$

Рівняння Парсеваля. Рівняння Парсеваля показує, що АСЦП дорівнює квадрату амплітудного спектра, поділеному на інтервал спостереження:

$$S_{xx}(j\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|X(j\omega)|^2}{2T} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{X(j\omega) \cdot X^*(j\omega)}{2T}, \quad (2.36)$$

($X^*(j\omega)$) - комплексно-спряжений амплітудний спектр відносно $X(j\omega)$.

За аналогією з (2.35) можна записати ВСЦП як:

$$S_{xy}(j\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot X(j\omega) \cdot Y^*(j\omega), \quad (2.37)$$

$$S_{xy}^*(j\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot X^*(j\omega) \cdot Y(j\omega), \quad (2.38)$$

Властивості спектральної щільності [20]. Залежний від часу сигнал $x(t)$ є деяким фізичним значенням, що вимірюється, наприклад паскалями. Трансформація Фур'є – амплітудний спектр буде тоді вимірюватися у (Па/Гц), спектральна щільність потужності – (Па²/Гц) [20]. АСЦП парна, дійсна функція:

$$S_{xx}(j\omega) = S_{xx}(-j\omega), \quad (2.39)$$

АСЦП $S_{xx}(j\omega)$ сигналу ідеального білого шуму є стала, стала незалежна від частоти величина: $S_{xx}(j\omega) = k$. ВСЦП – комплексна функція $S_{xy}(j\omega) = S_{yx}(j\omega) = S_{xy}(-j\omega)$. Коефіцієнт кореляції $\rho(j\omega)$ спектральних щільностей потужності має вигляд:

$$\rho(j\omega) = \frac{S_{xy}(j\omega)}{\sqrt{S_{xx}(j\omega) \cdot S_{yy}(j\omega)}}, \quad (2.40)$$

Перевірка рівняння (2.32). Репрезентуючим для перевірки рівнянь теореми Вінера-Хінчина виберемо рівняння (2.32).

$$\text{У рівняння (2.3) } \mathfrak{T}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{\tau=-\infty}^{\infty} S_{xx}(j\omega) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega \text{ підставимо (2.7)}$$

$$\mathfrak{T}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \frac{1}{2\pi} \int_{\tau=-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot X(j\omega) \cdot X^*(j\omega) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega.$$

Враховуючи $X^*(j\omega) = \int_{t=-T}^T x(t) \cdot e^{j\omega t} dt$, останнє рівняння перетворюємо в

$$\mathfrak{T}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \frac{1}{2\pi} \cdot \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \cdot \int_{\tau=-\infty}^{\infty} X(j\omega) \cdot \left(\int_{t=-T}^T x(t) \cdot e^{j\omega t} dt \right) \cdot e^{j\omega\tau} d\omega.$$

Поміняємо послідовність інтегрування

$$\mathfrak{T}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{t=-T}^T x(t) \cdot \left(\frac{1}{2\pi} \int_{\tau=-\infty}^{\infty} X(j\omega) \cdot e^{j\omega(t+\tau)} d\omega \right) dt.$$

За допомогою оберненої трансформації Фур'є можна ввести залежну від часу функцію $\frac{1}{2\pi} \int_{\tau=-\infty}^{\infty} X(j\omega) \cdot e^{j\omega(t+\tau)} d\omega = x(t+\tau)$.

Якщо підставити цей вираз у передостаннє рівняння то залишеться тільки рівняння означення АКФ. Із АСЦП, була обчислена АКФ, чим підтверджується перевірка рівняння (2.32):

$$\mathfrak{T}^{-1}(S_{xx}(j\omega)) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{t=-T}^T x(t) \cdot x(t+\tau) dt = \Phi_{xx}(-\tau) = \Phi_{xx}(\tau). \quad (2.41)$$

Застосування теореми Вінера-Хінчена для кореляційного аналізу.

Таблиця 2.6 – Функції перетворення в часовій та спектральній області зіставлені між собою

Часова область	Спектральна область
$x(t), (1a)$	$X(j\omega) (1б)$
$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega, (2a)$	$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-j\omega t} dt, (2б)$
$\Phi_{xx} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{xx}(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega, (3a)$	$S_{xx}(j\omega) = \frac{\ X(j\omega)\ ^2}{2T}, (3б)$
$\Phi_{xx} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau)dt, (4a)$	$S_{xx} = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{xx}(\tau) \cdot e^{-j\omega t} d\tau, (4б)$

1. Згідно із залежною від часу функцією $x(t)$ за допомогою трансформації Фур'є обчислюється спектральна функція $X(j\omega)$ (2б). Тим самим стає відомим амплітудний спектр. Тепер можна отримати АСЦП (3б), а через неї за допомогою інверсної трансформації Фур'є й АКФ (3а).

2. Згідно із залежною від часу функцією $x(t)$, зразу обчислюється АКФ (4а). При бажанні з цієї функції за допомогою трансформації Фур'є можна обчислити спектральну функцію (4б).

При порівнянні другий шлях здається прямим. Крім того, він має ту перевагу, що інтеграл у (4б) краще сходиться, ніж інтеграл Фур'є у (2б), через згасаючу з часом АКФ. Але незважаючи на це перший шлях є швидший. Його в основному й обирають. Через швидку трансформацію Фур'є можна отримати амплітудний спектр (2б), а з нього кореляційну функцію. Отже, це необхідний шлях, хоча утворення АКФ спочатку переходять із часової області в спектральну, а звідти знову повертаються в часову. [2] [3].

Кореляція обмежених в часі функцій. Якщо застосовувати формули для обмежених в часі процесів, таких наприклад, як імпульси, то при великих інтервалах усереднення кореляційні функції у деяких випадках мають нульове

значення. Щоб запобігти цьому при кореляції обмежених у часі функцій, нехтують діленням на $2T$. Тому формули обчислення матимуть вигляд:

$$\Phi_{xx}(\tau) = \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau)d\tau, \quad (2.42)$$

$$\Phi_{xy}(\tau) = \int_{t=-\infty}^{\infty} x(t)y(t-\tau)d\tau, \quad (2.43)$$

$$S_{xx}(j\omega) = |X(j\omega)|^2 = X(j\omega)X^*(j\omega), \quad (2.44)$$

$$S_{xy}(j\omega) = X(j\omega) \cdot Y^*(j\omega), \quad (2.13)$$

$$S_{xy}^*(j\omega) = X^*(j\omega) \cdot Y(j\omega), \quad (2.45)$$

$$\omega = 2\pi f \quad (2.46)$$

Взаємна спектральна щільність:

$$G_{xy}(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xy}(\tau) \cdot e^{jf\tau} d\tau, \quad (2.47)$$

З метою практичної реалізації діагностування технічного стану дзвонових витратовимірjuвальних установок методом спектрального аналізу проведені експериментальні дослідження стабільності тиску під дзвоном, а також пульсацій тиску досліджуваного приладу. Для цього використовувалося інформаційно-програмне забезпечення на базі Numeri [20].

Цифрова обробка результатів досліджень дала можливість обчислити значення дисперсії, спектральної щільності і взаємно спектральної щільності вказаних сигналів.

Проведений аналіз дозволяє дослідити і математично описати взаємозв'язок між витратою і об'ємом газу, які створюються дзвоною установкою та передаються, до досліджуваного приладу. Розраховані спектральні характеристики сигналів засвідчують можливість математичного опису вихідного трубопроводу установки як пневматичного фільтра низьких частот з частотою зрізу, яка визначається його конструктивним виконанням. Крім того спектральний аналіз дає можливість виявити фактори і умови виникнення резонансних явищ які мають місце при метрологічних

дослідженнях ротаційних лічильників газу. Отримані результати також відкривають нові можливості щодо поглибленого вивчення і кількісної оцінки динамічних складових похибки дзвонових установок.

Експериментальне дослідження проводилося для трьох різних витрат: $0,15\text{ м}^3/\text{год}$, $2\text{ м}^3/\text{год}$ та $10\text{ м}^3/\text{год}$.

Дискредитовані значення тиску під дзвоном і тисну перед досліджуваним приладом для установки ІФЗ-1 [4] наведені в таблицях 2.7-2.9.

Таблиця 2.7 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуваним лічильником при витраті $10\text{ м}^3/\text{год}$ ($\Delta t=0,8\text{ с}$)

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1.	3400,9	3314,6	29.	3406,6	3315,6	57.	3373,1	3285,9
2.	3390,3	3296,4	30.	3407,6	3319,4	58.	3377,9	3289,7
3.	3385,5	3301,2	31.	3394,2	3304,1	59.	3393,2	3307,9
4.	3386,5	3295,5	32.	3400,9	3314,6	60.	3393,2	3307
5.	3392,2	3311,8	33.	3382,7	3290,7	61.	3395,1	3307
6.	3404,7	3313,7	34.	3384,6	3298,4	62.	3393,2	3302,2
7.	3409,5	3327,1	35.	3382,7	3293,6	63.	3396,1	3309,9
8.	3410,4	3316,6	36.	3381,7	3295,5	64.	3397	3304,1
9.	3413,3	3331,9	37.	3374	3284,9	65.	3382,7	3392,6
10.	3410,4	3315,6	38.	3374	3289,7	66.	3384,6	3298,4
11.	3422,9	3344,3	39.	3376	3285,9	67.	3376	3284
12.	3411,4	3312,7	40.	3391,3	3308,9	68.	3375	3290,7
13.	3413,3	3333,8	41.	3397	3308,9	69.	3376	3283
14.	3402,8	3303,1	42.	3396,1	3308,9	70.	3368,3	3281,1
15.	3401,8	3320,4	43.	3402,8	3315,6	71.	3371,2	3284
16.	3393,2	3296,4	44.	3397	3309,9	72.	3364,5	3274,4
17.	3388,4	3308,9	45.	3401,8	3315,6	73.	3379,8	3296,4
18.	3396,1	3301,2	46.	3404,7	3315,6	74.	3382,7	3295,5
19.	3398	3312,7	47.	3396,1	3305,1	75.	3386,5	3299,3
20.	3374	3282,1	48.	3394,2	3303,1	76.	3394,2	3306
21.	3394,2	3310,8	49.	3388,4	3298,4	77.	3390,3	3301,2
22.	3386,5	3294,5	50.	3387,4	3299,3	78.	3394,2	3307
23.	3405,7	3323,3	51.	3378,8	3286,9	79.	3395,1	3304,1
24.	3405,7	3313,7	52.	3376	3288,8	80.	3397	3309,9
25.	3410,4	3328,1	53.	3376	3284,9	81.	3392,2	3301,2
26.	3419,1	3327,1	54.	3368,3	3278,2	82.	3383,6	3293,6
27.	3407,6	3321,3	55.	3367,3	3276,3	83.	3379,8	3289,7
28.	3428,6	3340,5	56.	3362,5	3273,4	84.	3367,3	3275,4

Таблиця 2.8 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуванним лічильником при витраті $2 \text{ м}^3/\text{год}$ ($\Delta t=0,85 \text{ с}$)

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1.	3412,4	3394,2	29.	3420	3397	57.	3404,7	3383,6
2.	3416,2	3398	30.	3418,1	3396,1	58.	3402,8	3380,7
3.	3416,2	3398,9	31.	3415,2	3394,2	59.	3403,7	3380,7
4.	3417,1	3398	32.	3412,4	3392,2	60.	3399,9	3376
5.	3417,1	3397	33.	3416,2	3397	61.	3401,8	3380,7
6.	3417,1	3398	34.	3418,1	3397	62.	3400,9	3377,9
7.	3422,9	3406,6	35.	3418,1	3396,1	63.	3402,8	3383,6
8.	3428,6	3408,5	36.	3412,4	3390,3	64.	3402,8	3381,7
9.	3424,8	3402,8	37.	3412,4	3393,2	65.	3401,8	3379,8
10.	3421,9	3398,9	38.	3413,3	3393,2	66.	3400,9	3377,9
11.	3420	3399,9	39.	3413,3	3393,2	67.	3400,9	3378,8
12.	3427,7	3411,4	40.	3413,3	3391,3	68.	3396,1	3372,1
13.	3435,3	3417,1	41.	3413,3	3390,3	69.	3399,9	3381,7
14.	3429,6	3407,6	42.	3412,4	3390,3	70.	3404,7	3384,6
15.	3427,7	3407,6	43.	3412,4	3390,3	71.	3401,8	3377,9
16.	3422,9	3400,9	44.	3410,4	3386,5	72.	3401,8	3378,8
17.	3421,9	3399,9	45.	3408,5	3384,6	73.	3400,9	3378,8
18.	3422,9	3403,7	46.	3405,7	3386,5	74.	3400,9	3377,9
19.	3420	3398,9	47.	3404,7	3380,7	75.	3402,8	3384,6
20.	3419,1	3399,9	48.	3399,9	3382,7	76.	3406,6	3386,5
21.	3422,9	3403,7	49.	3401,8	3380,7	77.	3405,7	3385,5
22.	3424,8	3405,7	50.	3398	3376	78.	3406,6	3383,6
23.	3426,7	3407,6	51.	3400,9	3380,7	79.	3404,7	3383,6
24.	3425,8	3406,6	52.	3405,7	3383,6	80.	3408,5	3386,5
25.	3425,8	3405,7	53.	3403,7	3381,7	81.	3409,5	3390,3
26.	3425,8	3405,7	54.	3404,7	3382,7	82.	3412,4	3390,3
27.	3424,8	3400,9	55.	3404,7	3382,7	83.	3412,4	3389,4
28.	3421	3399,9	56.	3404,7	3382,7	84.	3413,3	3391,3

Таблиця 2.9 – Зміна тиску P_y під дзвоном установки і тиску $P_{дп}$ перед досліджуваним лічильником при витраті $0,15 \text{ м}^3/\text{год}$ ($\Delta t=20 \text{ с}$)

№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па	№ точки	P_y , Па	$P_{дп}$, Па
1.	3409,5	3394,2	21.	3376	3356,8	41.	3407,6	3392,2
2.	3409,5	3390,3	22.	3375	3357,8	42.	3408,5	3391,3
3.	3406,6	3387,4	23.	3380,7	3363,5	43.	3409,5	3390,3
4.	3402,8	33,83,6	24.	3383,6	3364,5	44.	3411,4	3390,3
5.	3399,9	3381,7	25.	3382,7	3361,6	45.	3403,7	3383,6
6.	3397	3378,8	26.	3386,5	3369,2	46.	3401,8	3381,7
7.	3395,1	3376,9	27.	3389,4	3372,1	47.	3398	3376,9
8.	3392,2	3374	28.	3392,2	3375	48.	3398	3377,9
9.	3389,4	3371,2	29.	3392,2	3374	49.	3388,4	3367,3
10.	3386,5	3368,3	30.	3398,9	3379,8	50.	3385,5	3366,4
11.	3384,6	3365,4	31.	3397	3377,9	51.	3382,7	3362,5
12.	3381,7	3362,5	32.	3398	3378,8	52.	3376,9	3357,8
13.	3378,8	3359,7	33.	3397	3381,7	53.	3376,9	3356,8
14.	3376	3355,8	34.	3401,8	3382,7	54.	3374	3353
15.	3375	3355,8	35.	3400,9	3381,7	55.	3369,2	3347,2
16.	3376	3357,8	36.	3415,2	3398,9	56.	3370,2	3349,1
17.	3376	3357,8	37.	3410,4	3391,3	57.	3370,2	3349,1
18.	3376	3358,7	38.	3406,6	3385,5	58.	3370,2	3349,1
19.	3376	3357,8	39.	3406,6	3386,5	59.	3370,2	3349,1
20.	3376	3357,8	40.	3404,7	3385,5	60.	3370,2	3349,1

Графічна інтерпретація табличних даних (таблиці 2.7-2.9) і обчислені кореляційні функції наведені нижче (рисунки 2.17-2.31)

Дослідження на витраті $0,15 \text{ м}^3/\text{год}$

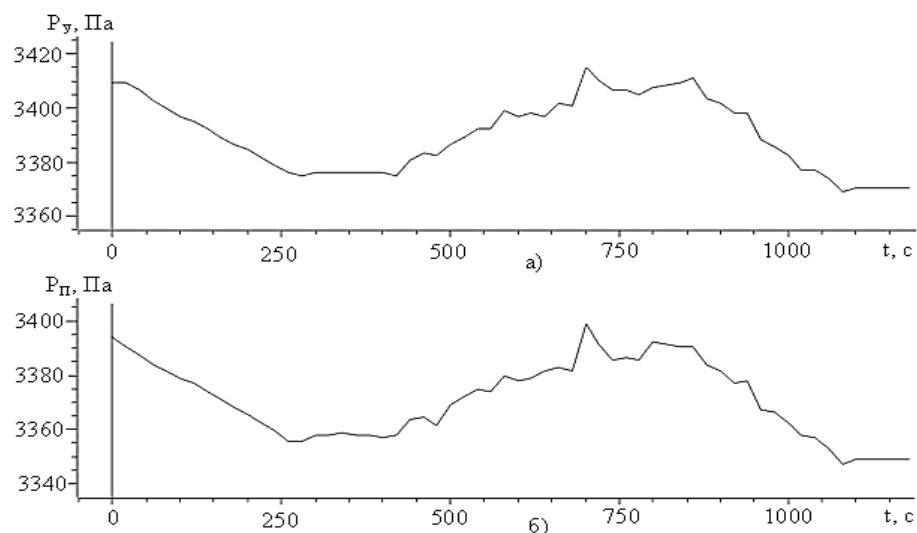
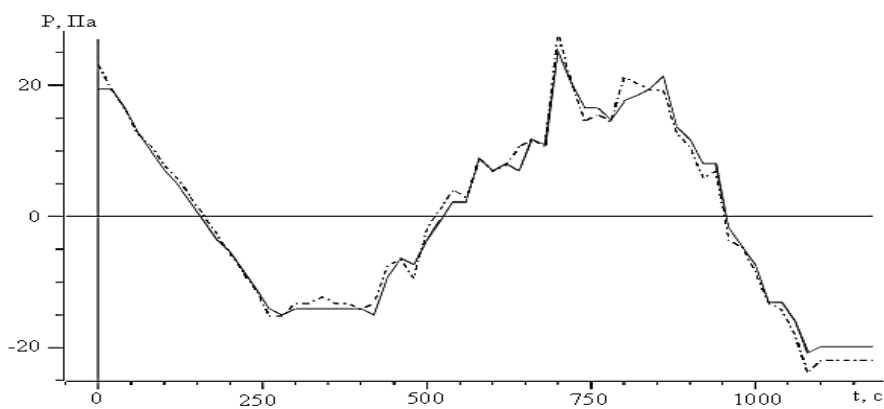


Рисунок 2.17 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)



— тиск P_y під дзвоном установки;

----- тиск P_{II} перед дослідним приладом.

Рисунок 2.18 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

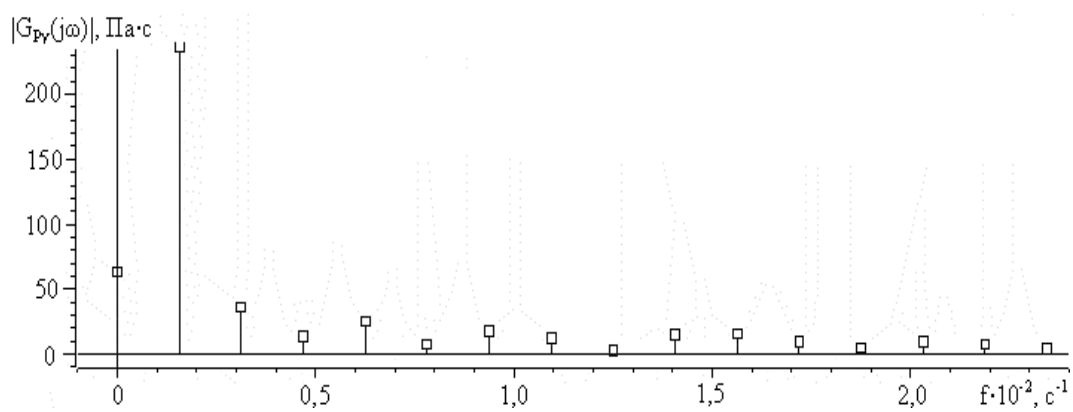


Рисунок 2.19 – Спектральна щільність для тиску під дзвоном

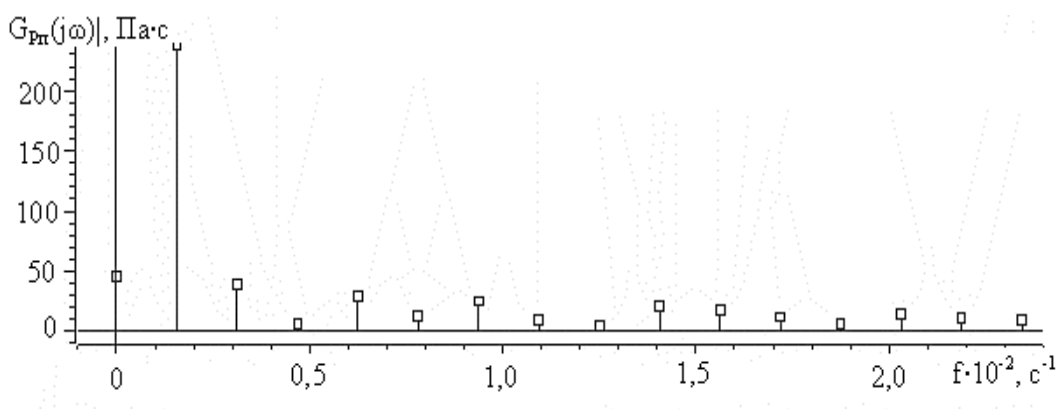


Рисунок 2.20 – Спектральна щільність для тиску перед приладом

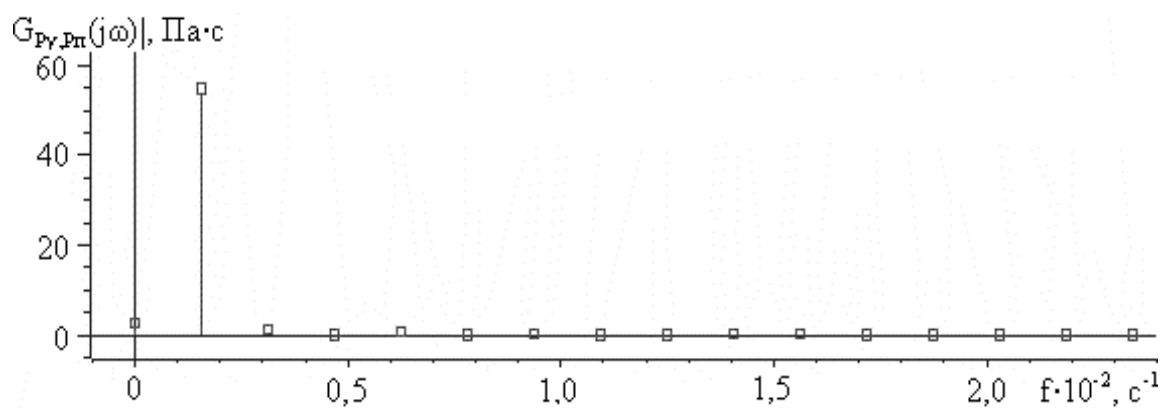


Рисунок 2.21 – Взаємна спектральна щільність

Дослідження на витраті $2\text{м}^3/\text{год}$

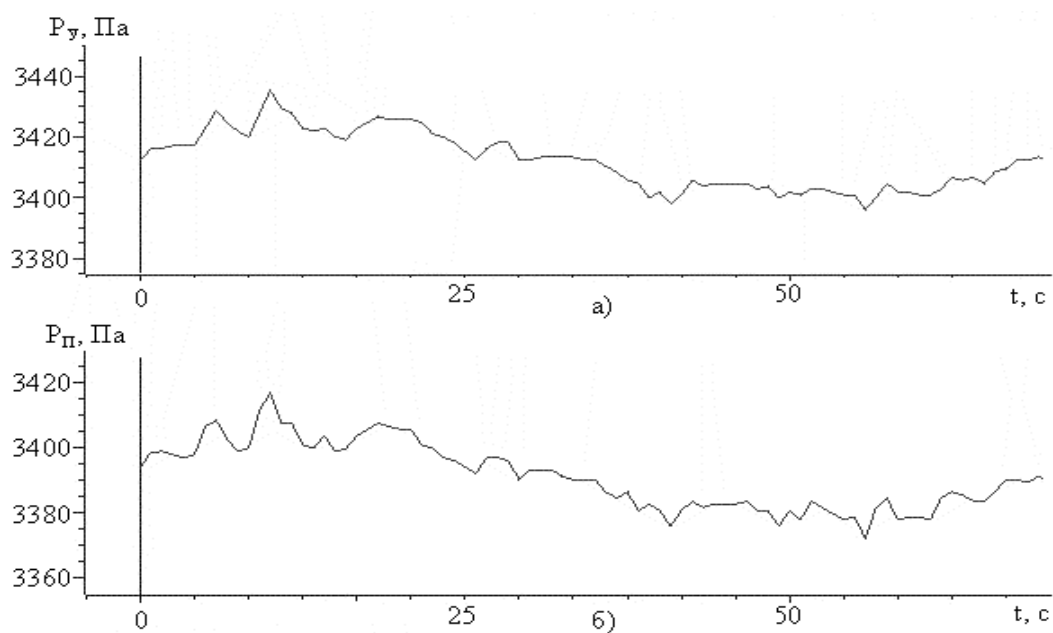
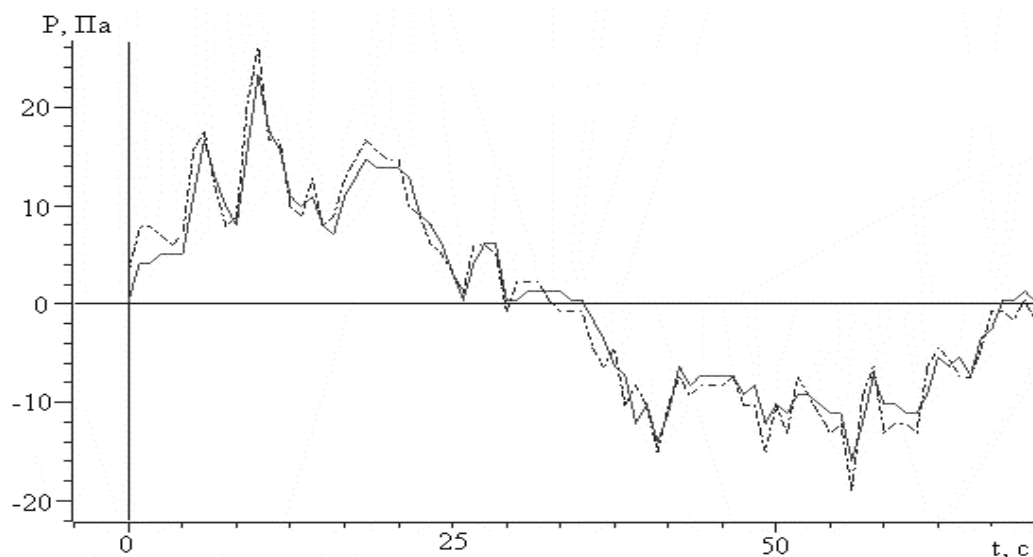


Рисунок 2.22 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)



— тиск P_y під дзвоном установки;

----- тиск P_n перед дослідним приладом.

Рисунок 2.23 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

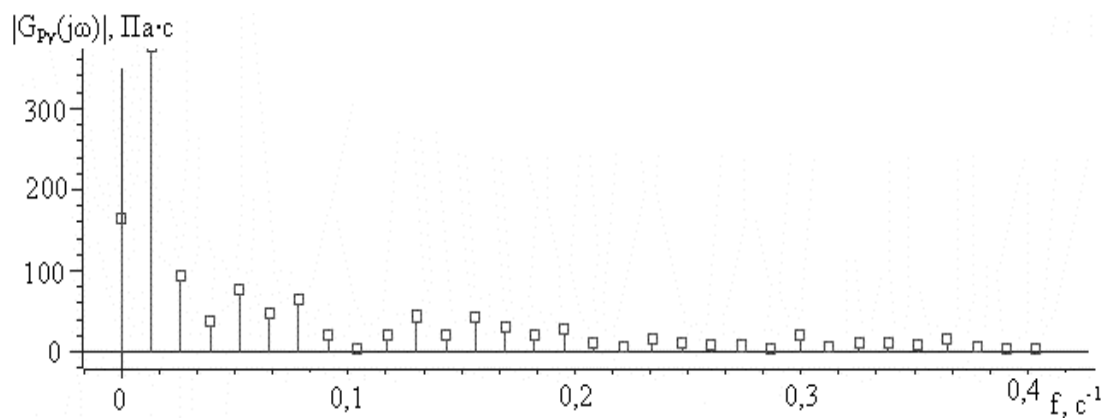


Рисунок 2.24 – Спектральна щільність для тиску під дзвоном

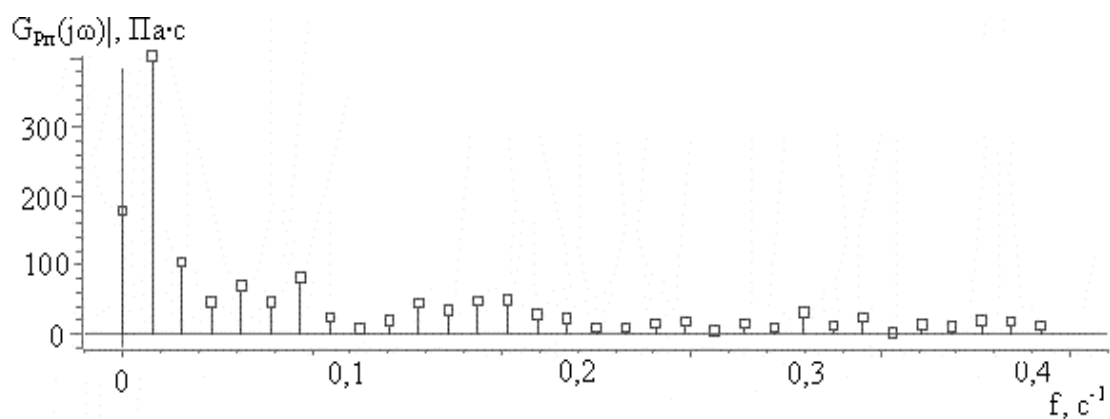


Рисунок 2.25 – Спектральна щільність для тиску перед приладом

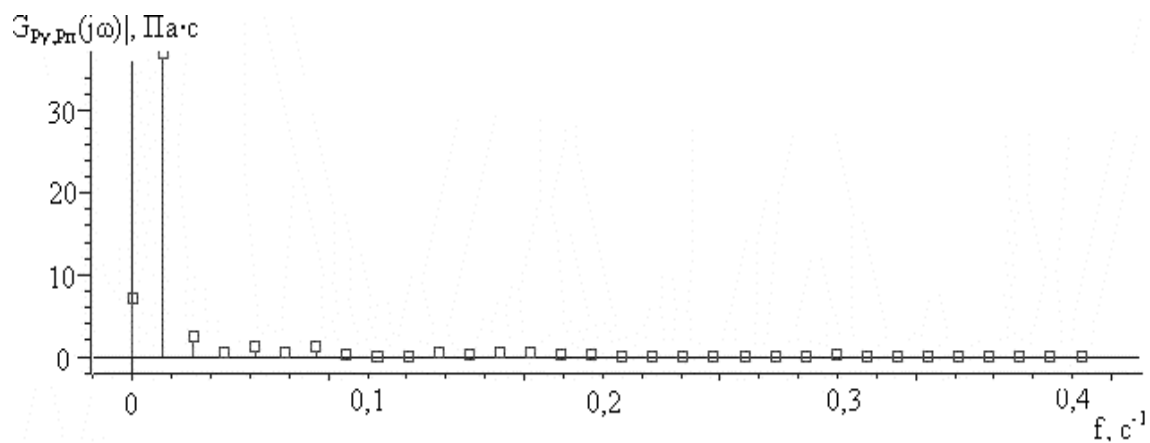


Рисунок 2.26 – Взаємна спектральна щільність

Дослідження на витраті $10\text{м}^3/\text{год}$

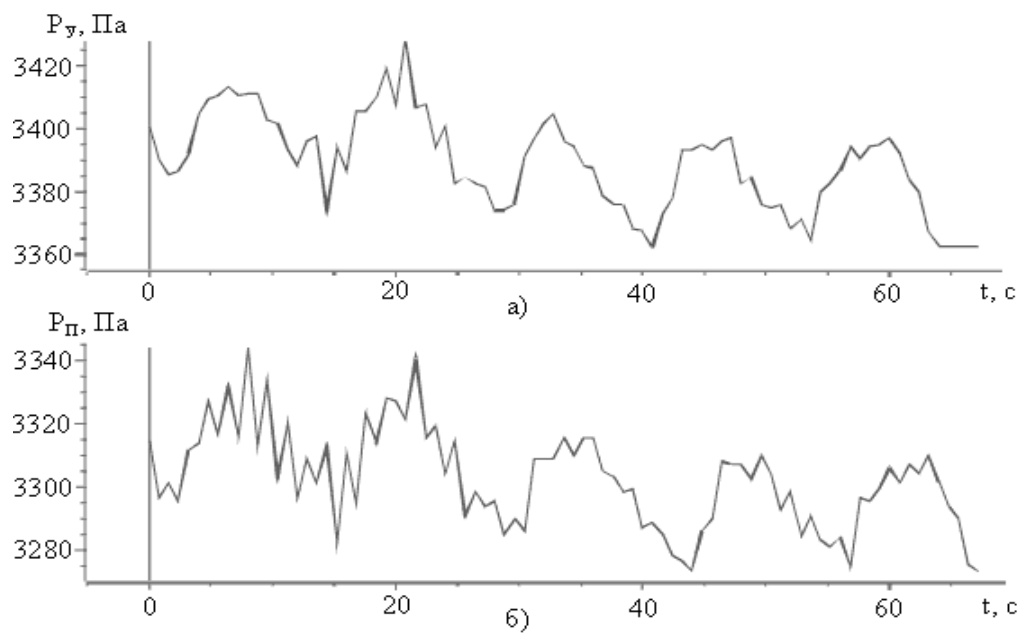


Рисунок 2.27 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном (а) та перед приладом (б)

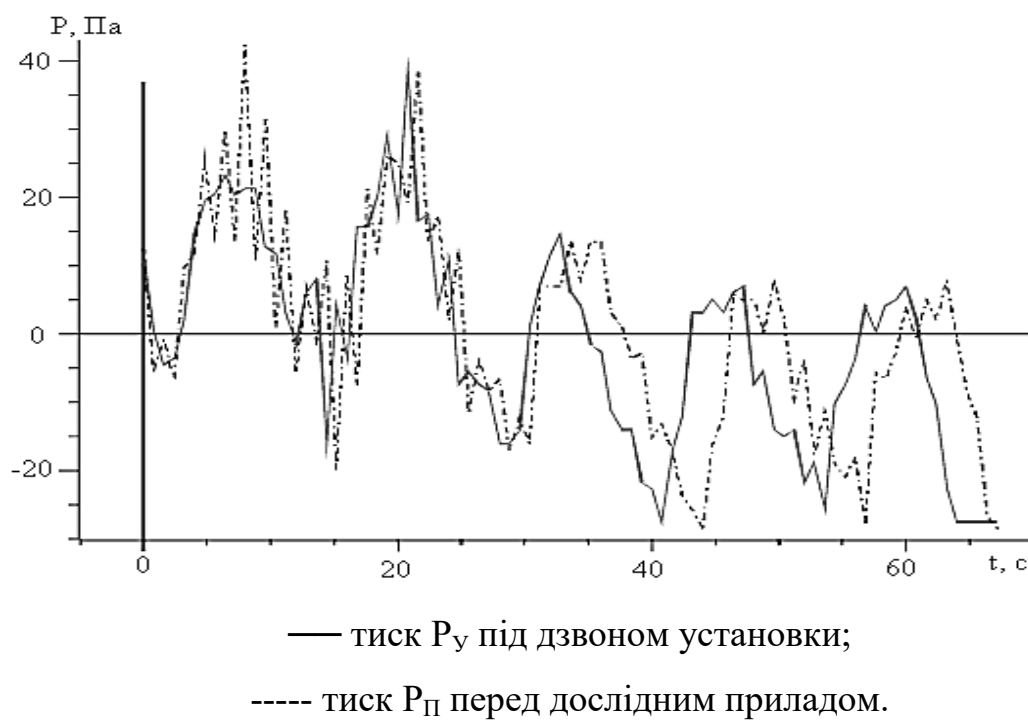


Рисунок 2.28 – Інтерпретація вхідного сигналу під дзвоном та перед приладом у відхиленнях

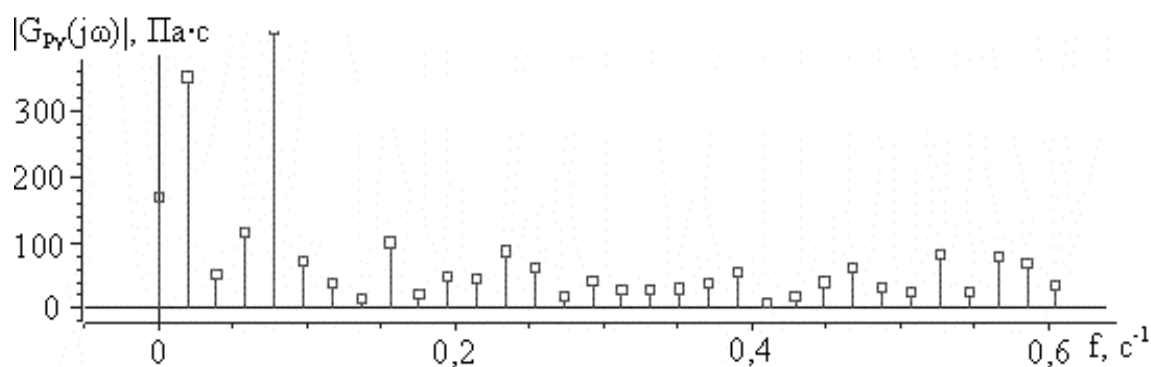


Рисунок 2.29 – Спектральна щільність для тиску під дзвоном

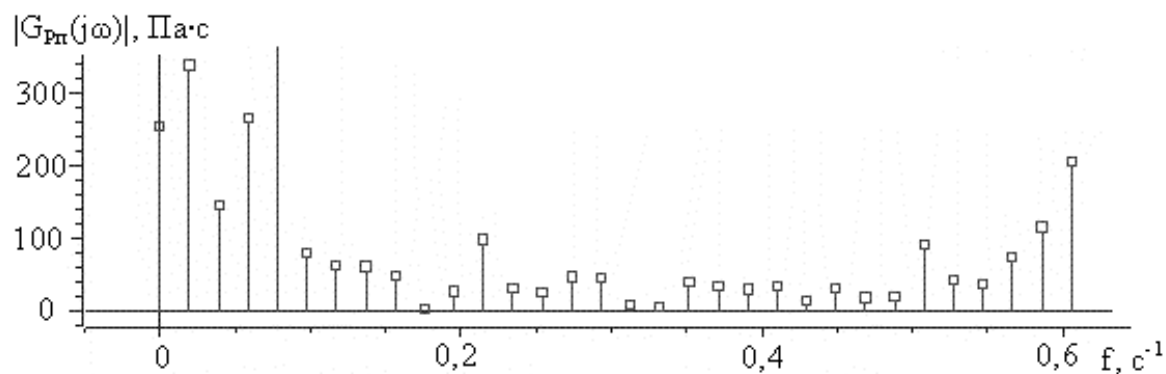


Рисунок 2.30 – Спектральна щільність для тиску перед приладом

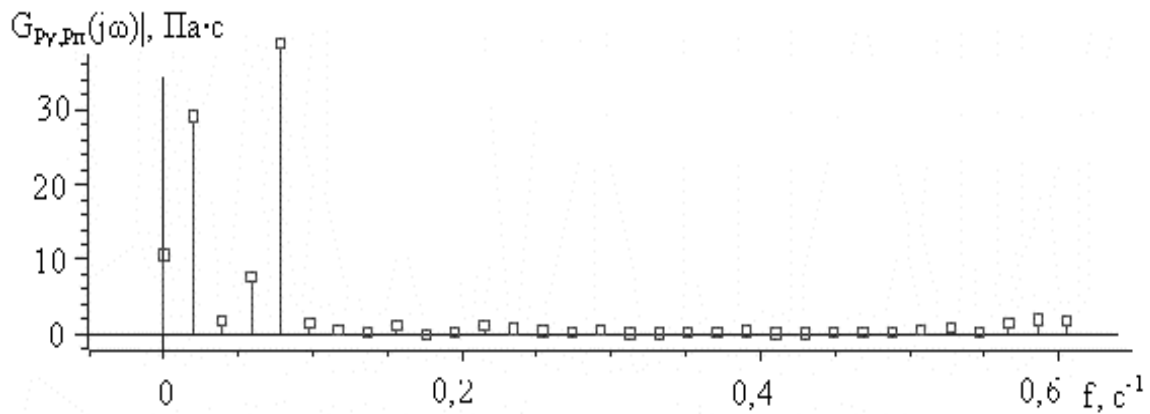


Рисунок 2.31 – Взаємна спектральна щільність

Зведемо всі отримані за допомогою програми Numeri статистичні характеристики до таблиць 2.10-2.11, які наведені нижче.

Таблиця 2.10 – Статистичні характеристики даних під дзвоном.

Витрата	К-ть точок	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Середнє арифметичне	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Середнє геометричне
10 м ³ /год	85	3362,5	3428,6	66,1	3389	226,8	15,06	225,01	3388,97
0,15 м ³ /год	85	3396,1	3435,3	39,2	3412	87,6	9,36	364,49	3412,19
2 м ³ /год	60	3369,2	3415,2	46	3390	185,9	13,64	248,62	3390,02

Таблиця 2.11 – Статистичні характеристики даних перед досліджуваним приладом.

Витрата	К-ть точок	Мінімальне значення	Максимальне значення	Розмах	Середнє арифметичне	Дисперсія	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Середнє геометричне
10 м ³ /год	85	3273,4	3344,3	70,9	3302,6	239,86	15,49	213,25	3302,6
0,15 м ³ /год	85	3372,1	3417,1	45	3391,2	103,2	10,16	333,83	3391,19
2 м ³ /год	60	3347,2	3398,9	51,7	3371,0	200,6	14,16	238,01	3370,99

Цифрова обробка результатів досліджень дала можливість здійснити спектральний аналіз цих сигналів. Проведений аналіз дозволяє дослідити і математично описати взаємозв'язок між характеристиками витрати і об'єму газу, відтворюваними дзвоновим мірником, та їх значеннями переданими досліджуваному приладу. Розраховані спектральні характеристики сигналів засвідчують доцільність математичного опису вихідного трубопроводу установки як пневматичного фільтра низьких частот з частотою зрізу, яка визначається його конструктивним виконанням. Крім того спектральний аналіз дає можливість виявити фактори і умови виникнення резонансних явищ які мають місце при метрологічних дослідженнях ротаційних лічильників газу. Отримані результати також відкривають нові можливості щодо поглибленого вивчення і кількісної оцінки динамічних складових похибки дзвонових установок [10].

Використання дзвонових ЕУ як еталонних засобів відтворювання і вимірювання миттєвих витрат газу зумовлює необхідність метрологічного дослідження і кількісної оцінки поряд з основними інформативними інтегральними параметрами (контрольний об'єм газу, час його відтворення) також якісних інформативних параметрів (миттєві значення відтворюваної витрати газу, тиску і температури) робочого середовища.

Крім того при передаванні відтворюваного контрольного об'єму газу V_K до ДП його значення змінюється не тільки внаслідок непостійності p, T , але і внаслідок непостійності витрати повітря, яке створюється дзвоною ЕУ. Тому проведення спектрального аналізу інформативних параметрів ЕУ, які характеризують відтворювані значення витрати і їх значення, які передаються до ДП, дозволяють виявити нові закономірності при функціонуванні РЕ.

При цьому однією із важливих для аналізу характеристик можуть бути частотні характеристики (спектральна щільність) тиску, температури робочого середовища під дзвоном ЕУ і перед ДП як основних інформативних сигналів ЕУ, а також їх взаємні характеристики (взаємна спектральна щільність). Відомі дослідження охоплювали тільки дослідження одного з параметрів: тиску під

дзвоном або витрати перед ДП. Водночас сучасні методи спектрального аналізу на базі цифрової обробки сигналів дають можливість досліджувати вказані характеристики засобів вимірювання.

Спектральний аналіз проводився при експериментальних дослідженнях стабільності тиску під дзвоном і тиску перед ДП дзвонової ЕУ установки ІФГАЗ [6] на витратах 0,15, 2 і 10 м³/год. Для цього використовувалося інформаційно-програмне забезпечення з використанням мікропроцесорних сенсорів фірми “MOTOROLA”, які забезпечували одночасну реєстрацію вказаних параметрів з дискретністю в часі 0,75 с [18].

Цифрова обробка результатів досліджень за відомими алгоритмами [20] дала можливість обчислити спектральні характеристики досліджуваних сигналів. З наведених графіків видно непостійність за формою зміни сигналів тиску під дзвоном і перед ДП і як наслідок багатокомпонентність і неодинаковість отриманих графіків дискретної трансформації Фур'є (модуль $|G_{py}(j\omega)|$, $|G_{pn}(j\omega)|$) спектральних характеристик. Графіки модуля $|G_{py}(j\omega)|$, $|G_{pn}(j\omega)|$ взаємної спектральної щільності свідчать про достатньо виражену кореляцію частоти пульсацій тиску, яка передається до ДП і зменшується із зниженням відтворюваної витрати від 0,08 Гц при 10 м³/год до 0,015 Гц при 2 м³/год [22].

Проведений аналіз дозволяє дослідити і математично описати взаємозв'язок між характеристиками витрати і об'єму газу, відтворюваними дзвоновим мірником, та їх значеннями, переданими до ДП. Крім того, спектральний аналіз дає можливість виявити фактори і умови виникнення резонансних явищ, які мають місце при метрологічних дослідженнях ротаційних лічильників газу. Отримані результати також відкривають нові можливості щодо поглибленого вивчення і кількісної оцінки динамічних складових похибки дзвонових ЕУ [1].

3. МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕПОСТІЙНОГО ТИСКУ НА УМОВИ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЗВОНОВИХ ВИТРАТОВИМІРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК

3.1 Дослідження похибки дзвонових установок від непостійного тиску

Аналіз викладеного алгоритму роботи установки і її конструктивних особливостей свідчить, що згідно з основним рівнянням стану газу будь-яка нестабільність тиску повітря під дзвоном зумовить нестабільність об'єму природного газу під ним. В той самий час математичне моделювання даних досліджуваних установок і їх експериментальні дослідження [18] підтверджують і обґрунтовують присутність при роботі установки зміни тиску під дзвоном. Тому здійснимо моделювання взаємозв'язку між тиском повітря під дзвоном і відтворюваним установкою його об'ємом.

Як вихідне рівняння застосуємо диференціальну форму запису об'єму газу, що поданий до досліджуваного приладу

$$dV_D = dV_Z + dV_P, \quad (3.1)$$

де dV_D – дійсний елементарний об'єм газу, який передається до досліджуваного приладу; dV_Z – елементарний об'єм газу, що витісняється дзвоном; dV_P – зміна витіснюваного об'єму газу внаслідок його приросту або зменшення від зміни тиску під дзвоном [19].

Об'єм газу, що витісняється дзвоном, визначається його геометричними розмірами і вертикальним переміщенням

$$V_Z = S \cdot z, \quad (3.2)$$

де S – площа внутрішнього поперечного перерізу дзвона; z – вертикальне переміщення дзвона, відповідає витісненому об'ємові газу V_Z . Використовуючи (2.19), отримуємо вираз для значення елементарного об'єму dV_Z вказаного на рисунку 3.1

$$dV_Z = S \cdot dz, \quad (3.3)$$

Зміна об'єму газу dV_p від непостійності тиску для випадку ізотермічного процесу може бути одержана з диференціальної форми подання рівняння стану газу:

$$VdP + PdV_p = 0, \quad (3.4)$$

яка дає можливість записати

$$dV_p = -\frac{V}{P}dP, \quad (3.5)$$

де V і P – відповідно об'єм і абсолютний тиск газу під дзвоном; dP – приріст тиску P [19].

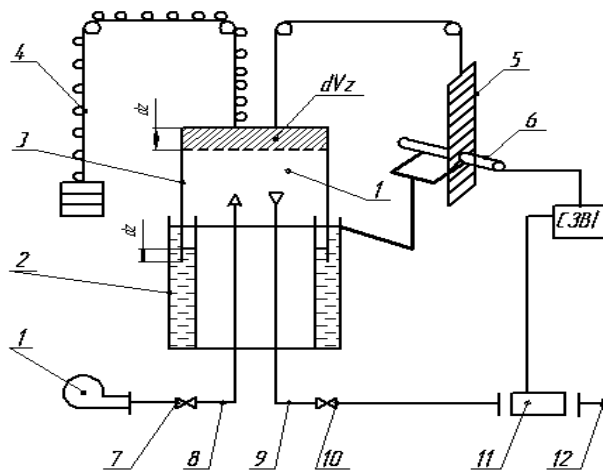


Рисунок 3.1 – Функціональна схема ДВУ [19]

Під час роботи установки витіснюваний об'єм газу пропорційний до переміщення дзвона z , а тиск P залежить як від переміщення дзвона, так і від швидкості його опускання u [16]. Тому вираз (3.5) подамо в узагальненому вигляді

$$dV_p = -\frac{V(z)}{P(z,u)}dP., \quad (3.6)$$

Врахувавши (3.2), (3.3) і (3.6), приходимо до такого запису виразу (2):

$$dV_A = Sdz - \frac{S \cdot z}{P(z,u)}dP \quad (3.7)$$

Як слідує з (3.7), об'єм газу V_A визначається інтегруванням цього рівняння по z , для чого необхідно мати вираз для $P(z,u)$, який можна отримати апроксимацією експериментально одержаної залежності при робочих умовах

установки. При цьому кінцевий вигляд рівняння (3.7) визначатиметься видом апроксимаційного рівняння. Так, наприклад, апроксимація тиску лінійною залежністю:

$$P(z, u) = P_0 + A_1(u) \cdot z, \quad (3.8)$$

і її диференціювання по z призводить до виразу

$$\frac{dP(z, u)}{dz} = A_1(u), \quad (3.9)$$

де P_0 – абсолютний тиск під дзвоном на початку витіснення контрольного об'єму газу; $A_1(u)$ – коефіцієнт пропорційності лінійної апроксимаційної залежності.

Після перетворення (3.7) з урахуванням (3.8) і (3.9), а також після прийняття умови знехтувально малої зміни тиску $\Delta P = A_1(u) \cdot z$ під дзвоном порівняно з його абсолютним значенням P_0 , отримуємо [19]:

$$dV_A = Sdz - \frac{A_1(u) \cdot S}{P_0} \cdot z dz, \quad (3.10)$$

Проінтегрувавши (3.10) по z у межах від 0 до H_k , що відповідає переміщенню дзвона при витісненні ним контрольного об'єму V_k , одержимо вираз:

$$V_D = V_k \left(1 - \frac{A_1(u) \cdot H_k}{2P_0} \right), \quad (3.11)$$

При цьому лінійність апроксимаційної залежності (3.8) і постійність швидкості u опускання дзвона при фіксованій відтворюваній витраті газу дає можливість визначити коефіцієнт $A_1(u)$ з формули:

$$A_1(u) = \frac{\Delta P}{H_K}, \quad (3.12)$$

і подати такий кінцевий вираз для обчислення дійсного об'єму газу, який витісняється дзвоном установки:

$$V_D = V_k \left(1 - \frac{\Delta P}{2P_0} \right), \quad (3.13)$$

де ΔP – різниця тисків під дзвоном наприкінці і на початку відтворення установкою контрольного об'єму газу V_K . Тут вкажемо, що кожній швидкості опускання дзвона u відповідає конкретне значення коефіцієнта $A_1(u)$, яке визначається як геометричними розмірами дзвона, витіснювача, в'язкістю заповнюючої рідини витіснювача, так і режимом роботи установки, наприклад, вмиканням обертання дзвона [1].

У разі апроксимації тиску під дзвоном кривою другого порядку вигляду:

$$P(z, u) = P_0 + A_2(u)z^2, \quad (3.14)$$

після виконання аналогічних перетворень отримаємо

$$V_D = V_K \cdot \left(1 - \frac{2\Delta P}{3P_0} \right) \quad (3.15)$$

У виразі (3.14) $A_2(u)$ – апроксимаційний коефіцієнт кривої другого порядку, який визначаємо за формулою:

$$A_2(u) = \frac{\Delta P}{H_K^2}, \quad (3.16)$$

Застосування алгоритму для визначення похибки установок від зміни тиску $\delta_p = \frac{V_D - V_K}{V_K} \cdot 100\%$ стосовно виразів (3.13) і (3.15) зумовлює таке подання кінцевих формул для обчислення похибки від непостійності тиску [19]:

$$\delta_{PA} = -\frac{\Delta P}{2P_0} \cdot 100\%, \quad (3.17)$$

$$\delta_{PA} = -\frac{2\Delta P}{3P_0} \cdot 100\%. \quad (3.18)$$

де δ_{PA} і δ_{PI} – відносні похибки від непостійності тиску під дзвоном при їх відповідно лінійній і параболічній апроксимаціях.

Застосування вищенаведеної методики дозволяє розраховувати фактичне значення виміряного об'єму газу при апроксимації залежностей $P(z, u)$ нелінійними функціями наприклад, поліномами вищих порядків або логарифмічними чи експоненційними залежностями. При цьому конкретизацію

апроксимованої кривої $P(z,u)$ слід визначити за результатами експериментальних досліджень пристрою в різних режимах роботи.

Також вкажемо, що у всіх ДВУ обов'язково конструктивно усувається найсуттєвіший чинник нестабільності тиску – зменшення ваги дзвона внаслідок дії виштовхувальної сили на занурювану частину стінок дзвона. На рисунку 3.1 зображене виконання такого пристрою у вигляді компенсаційної стрічки 4.

Практичну цінність виведених виразів (3.17) і (3.18) проілюструємо за допомогою осцилограм тиску (рис. 3.2), отриманих при експериментальних дослідженнях дзвонової установки РКДУ-0.44 [4], яка створена на ВАТ «Промприлад» (м. Івано-Франківськ).

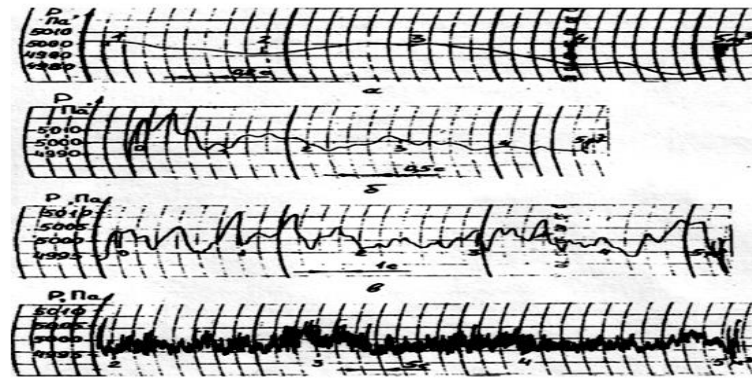


Рисунок 3.2 – Осцилограми тиску під дзвоном установки РКДУ-0,44 на витратах 2500 (а), 1600 (б), 600 (в), 70 (г) м³/год [16].

Аналіз кривих (рис. 3.2) свідчить про наявність у них детермінованої і випадкової складових. Перша очевидна внаслідок результуючого зменшення тиску при переміщенні дзвона від початкового до кінцевого положень, тобто при витісненні ним 5 м³ повітря. Вона пояснюється дією сил гідравлічного опору на швидкість переміщення дзвона і глибину його занурення в рідину витіснювача. Її вплив зростає зі збільшенням відтворюваних витрат. До детермінованої складової також належать періодичні загасаючі коливання тиску на початкових значеннях відтворюваного об'єму повітря, що має місце під час перехідного процесу при розгоні дзвона до усталеної швидкості руху [19].

Прояв наявності випадкової складової коливань тиску свідчать високочастотні флуктуації зміни тиску при роботі установки витіснення дзвоном об'єму повітря. Вони є наслідком дії випадкових факторів, наприклад, локальними змінами механічних сил тертя під час руху направляючих вертикального стану дзвона. Осцилограм показують, що при зростанні відтворюваних витрат спектр зсувається в напрямку нижчих частот. Це можна пояснити впливом інерційних сил маси дзвона з компенсаційною стрічкою і рухомих направляючих, що приводить до згладжування флуктуацій високих частот.

Отже, враховуючи можливість отримання різноманітних видів осцилограм тиску, що можуть мати місце при експлуатації дзвонових установок, а також подання в наукових публікаціях виразів, аналогічних до отриманих (3.17) і (3.18), здійснимо їх порівняльний аналіз з метою визначення умов доцільності застосування кожного з них.

У роботі [19] подана така узагальнена формула обчислення похибки δ_P від непостійності тиску у витратовимірювальних установках:

$$\delta_P = - \left(\frac{V_3}{V_K} \ln \frac{P_0}{P_0 + \Delta P} + \frac{P_0}{\Delta P} \ln \frac{P_0}{P_0 + \Delta P} + 1 \right) \cdot 100\%, \quad (3.19)$$

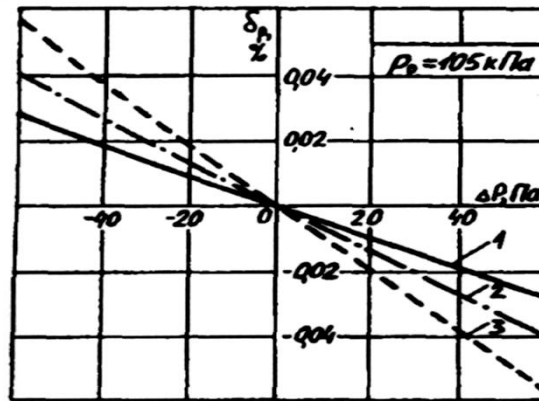
де V_3 – загальний об'єм газу, що міститься під дзвоном установки; V_K – контрольний об'єм газу; P_0 і ΔP – відповідно значення абсолютного тиску газу в установці та його приріст за час відтворення контрольного об'єму.

Водночас в [4] для оцінювання досліджуваної похибки δ_P застосовували такий алгоритм

$$\delta_P = - \frac{P_0}{(P_0 + \Delta P)^2} \cdot \Delta P \cdot 100\%. \quad (3.20)$$

Порівняння отриманих виразів (3.17) і (3.18) з відомими (3.19) і (3.20) засвідчує, що всі вони передбачають використання як інформативних параметрів значення тиску P_0 на початку та його приріст ΔP за час відтворення контрольного об'єму газу. Водночас, з аналізу поданих на рисунку 3.3 кривих

очевидною є наявність похибки від нестабільно тиску, навіть, за умови випадкової збіжності й значень на початку та в кінці відтворення [19].



1-графічна інтерпретація алгоритмів (3.16) і (3.18);

2,3- графічна інтерпретація алгоритмів відповідно (3.17) і (3.19)

Рисунок 3.3 – Результати чисельного аналізу алгоритмів та розрахунку похибки δ_p від непостійності тиску Δp при початковому тискові $P_0=105$ кПа

Другою неточністю відомих алгоритмів (3.19) і (3.20) є неврахування ними фактичного закону зміни тиску протягом відтворення контрольного об'єму газу. Результати обчислень згідно з (3.17) і (3.18) відрізняються між собою на третину, оскільки апроксимації виконані лінійною чи параболічною залежностями [19].

Вкажемо, що жоден з двох відомих алгоритмів обчислення δ_p не дає можливості розраховувати похибку від локальних змін тиску. Для цього можливе застосування кореляційного аналізу, який би врахував додатні та від'ємні прирости тиску і їх вплив на похибку установки від непостійності тиску. Однак на сьогодні таких досліджень ще не проводилося за даними пошуку по інформаційних джерелах.

Особливістю формули (3.19) і незаперечною її цінністю є наявність складової $\frac{V_3}{V_K} \ln \frac{P_0}{P_0 + \Delta P}$, яка аналізує вплив на досліджувану похибку δ_p вимірювання значення відтворюваного контрольного об'єму відносно загального об'єму газу в установці [19].

Розходження результатів визначення похибки за алгоритмами (3.17) і (3.19) не перевищує одного відсотка (пряма 1) і кожен з них можна рекомендувати до розрахунку похибки при наявності детермінованої складової зміни тиску протягом періоду досліджень вимірювального циклу, що показують криві *a-v* на рис. 3.3. Водночас виразу (3.18) характерна простіша форма математичного опису. Формула (3.19) логічна для застосування при фіксації детермінованої нелінійної зміни тиску під дзвоном, прикладом якої може бути крива *a* на рис. 3.2. Розглянута математична модель і, зокрема, запропонований алгоритм (3.7) у сукупності із скрупульозними метрологічними дослідженнями і застосуванням апроксимаційних залежностей дає можливість точніше оцінити похибку ДВУ від зміни тиску під дзвоном при будь-яких закономірностях його зміни. Прикладом конкретної кінцевої форми подання виразу (3.7) є формули (3.17) і (3.18) для обчислення похибки δ_p у випадках лінійної та параболічної апроксимації кривої тиску. Практично це відкриває ще одну з можливостей уточнення метрологічних характеристик еталонних витратовимірювальних установок [1].

3.2 Метрологічні дослідження технічних засобів для вимірювання непостійного тиску у вузлах дзвонових установок

Факторами впливу нестабільності тиску установки переважно є тиск під дзвоном, а також значення тиску перед досліджуваним лічильником. Значення тисків не є однаковими за частотою та амплітудою, бо тиск під дзвоном є функцією роботи установки, а тиск перед досліджуваним лічильником залежить від зміни термогазодинамічних параметрів вздовж вихідного трубопровода установки. Тому необхідно реалізувати вдосконалену конструкцію серійного манометра і визначити його динамічні властивості.

Оскільки для дослідження цих процесів потрібний мало інерційний манометр з конкретними динамічними метрологічними характеристиками, тому потребує додаткового технічного вдосконалення дифманометр з одночасним

запровадженням необхідної системи опрацювання вимірювальної інформації, яка би дозволила встановити фактичне значення амплітуди змінних значень тиску. Адже відомо що манометри можна розглядати як аперіодичну ланку першого порядку, а в ній виміряне амплітудне значення тиску залежать від постійної часу механічних вузлів манометра.

Давачем перетворювача пульсації тиску є дифманометр моделі ППТс (рис. 3.4), який реалізований на базі перетворювача тиску ИПД моделі 89007 класу точності 0,06, який має аналоговий вихідний сигнал (0...1) В. Вторинний перетворювач тиску ВПТс, містить цифровий диференціальний вольтметр постійного струму типу В2-34 і джерело опорної напруги ЗОН, яке під'єднане до вимірювача різниці напруг ВРН. До складу ВПТс входить попередній підсилювач ПП. За допомогою пристрою ЗОН диференціального вольтметра здійснюється порівняння з еталонним значенням напруги. Різниця напруг з ВРН підсилюється блоком ПП і поступає на один з каналів швидкодіючого самописця С типу Н3030-4 [21].

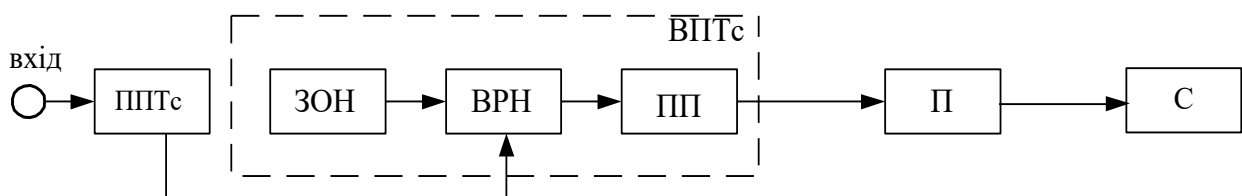


Рисунок 3.4 – Структурна схема пристрою для вимірювання пульсацій тиску газового потоку [21]

Динамічні характеристики цього перетворювача необхідно визначати дослідним шляхом, бо в технічних описах до цього ИПД-89007, а також його паспорті не наводяться динамічні властивості.

Схема визначення динамічних характеристик перетворювача наведена в [22], що дало можливість визначити постійну часу давача. Експериментально розраховане визначення значення постійної часу становить $T_p=0,24$ с, яке вказує на необхідність обов'язкового врахування динамічних характеристик перетворювача при вимірюванні значення тиску, наприклад, яке стосується вимірювання його амплітуди пульсацій.

Визначення амплітуди пульсацій тиску реалізовувалося таким алгоритмом [22]:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \frac{D \cdot S_p \cdot h_p}{U_0 \cdot A_p \cdot K_{vp}}, \quad (3.21)$$

$$A_p = \sqrt{\left[\frac{1}{1 + (2 \cdot \pi \cdot \nu_p \cdot T_p)^2} \right]^2 + \left[\frac{(2 \cdot \pi \cdot \nu_p \cdot T_p)}{1 + (2 \cdot \pi \cdot \nu_p \cdot T_p)^2} \right]^2}, \quad (3.22)$$

де h_p – діапазон зміни значень тиску за осцилограмою, мм; D , U_0 – діапазон вимірювання (Па) і нормоване значення вихідного сигналу (мВ) перетворювача тиску відповідно; S_p – чутливість реєструючого приладу каналу реєстрації тиску, мВ/мм; K_{vp} – коефіцієнт підсилення вихідного сигналу диференціального вольтметра; A_p – коефіцієнт, який враховує характеристику зміни амплітудно-частотної характеристики давача; ν_p – частота зареєстрованих пульсацій нестабільності тиску, які можна отримати на базі використання перетворення Фур'є інформативного сигналу, Гц; T_p – стала часу давача тиску, с [22].

У формулі (3.21) введений коефіцієнт 0,5, який вказує, що при розрахунках використовується амплітуда коливань, а не їх загальна висота.

На рисунку 3.5 подана розроблена схема метрологічного накопичення впливу похибок малоінерційного манометра, яка відображає структурну схему формування похибки $\delta_{\Delta p}$ при вимірюванні амплітуди зміни тиску [21].

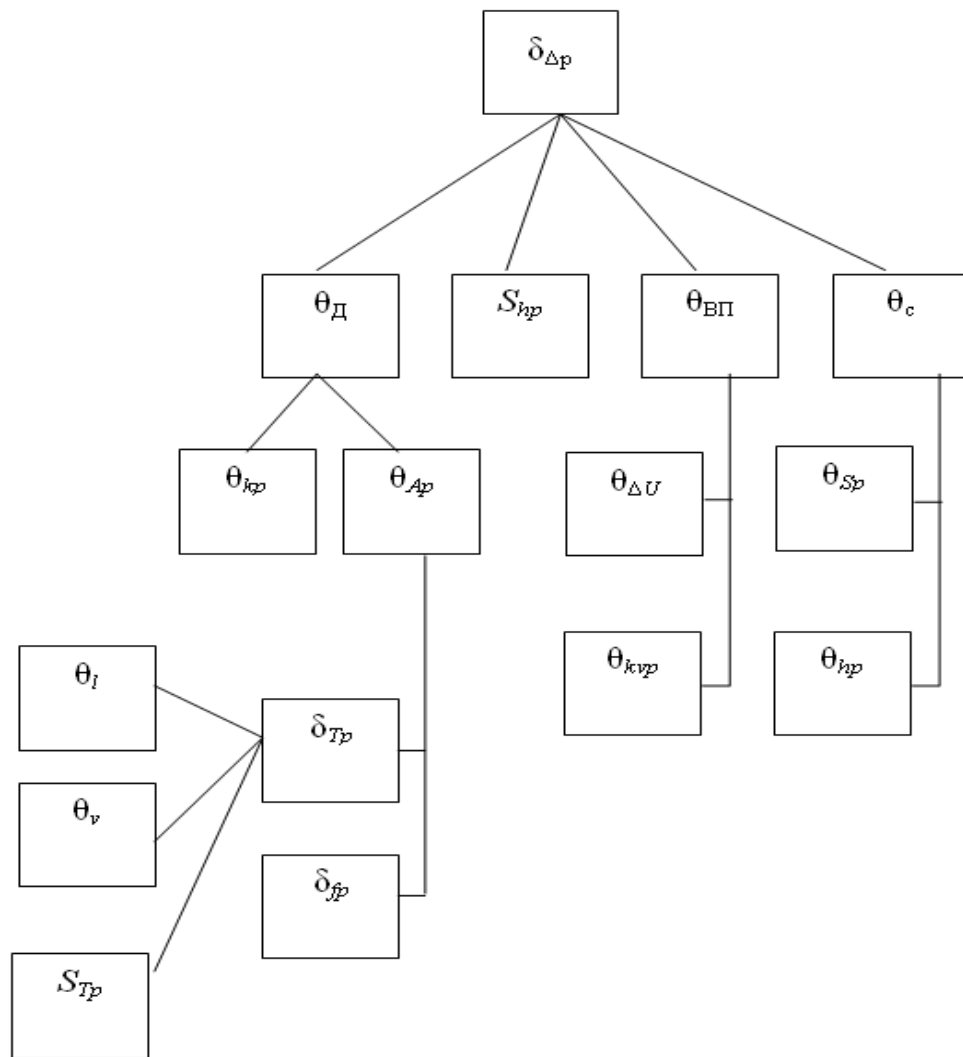


Рисунок 3.5 – Метрологічна модель швидкодіючого манометра

Основними складовими похибок є вплив трьох блоків: давача, вимірювача амплітуди пульсацій і реєструючого приладу, які позначені θ_D , $\theta_{ВП}$, θ_C відповідно. Оскільки ці складові залежать від технічних даних приладів, то можна вважати, що вони відносяться до числа НСП. Так як вимірювання пульсацій тиску не є статичними вимірюваннями, то кожен з блоків манометра має динамічні похибки [6].

Застосування електронного диференціального вольтметра, для частот до 150 Гц дозволяє не враховувати його динамічну похибку, бо електронний прилад на цих частотах її не має. При цьому необхідно врахувати динамічну

похибку θ_{Ap} перетворювача тиску, а аналогічними складовими похибки інших приладів можна знехтувати, бо вони є несуттєвими.

Аналіз кожної із складових НСП здійснимо на базі формул (3.21), (3.22). Із (3.21) видно, що похибка вимірювання числових значень параметрів D і U_0 визначається границею основної допустимої похибки θ_{kp} (рис. 3.5) використовуваного коефіцієнта перетворення (співвідношення U_0 до D) давача тиску, яка згідно його МХ визначається вибраним діапазоном вимірювання D і значенням вихідного сигналу U_0 давача.

Формування сигналу диференціального вольтметра, який пропорційний різниці напруг давача тиску і джерела опорної напруги, здійснюється з похибкою $\theta_{\Delta U}$, а його підсилення диференціальним вольтметром – з похибкою θ_{KVP} . Числові значення цих складових похибки можна визначити згідно інструкції з експлуатації до диференціального вольтметра у відповідності до вибраних його параметрів настройки [22].

Похибка отриманих осцилограм визначається особливостями роботи каскаду підсилення самописця θ_{Sp} (визначається вибраною чутливістю самописця S_p) і пристроєм реєстрації значення вимірюваного параметра самописцем θ_{hp} . Крім того, на точність отриманих значень пульсацій впливає СКВ випадкової похибки S_{hp} [21].

З формули (3.22) очевидно є залежність точності розрахунку коефіцієнта A_p від похибки визначення частоти пульсацій тиску δ_{fp} і від похибки визначення чисельного значення постійної часу δ_{Tp} . Ці похибки вже є результуючими, бо враховують як НСП, так і СКВ. Методика визначення похибки δ_{fp} розглядається в [21], а складові похибки δ_{Tp} визначалися з врахуванням застосовуваних технічних засобів і методики визначення сталої часу. Цими складовими були НСП визначення швидкості руху стрічки самописця θ_v і НСП вимірювання довжини осцилограми θ_l , при якій відхилення вказівника самописця досягало 0,632 свого усталеного значення. Враховуючи складність експериментального визначення цього відхилення вказівника, цей

процес здійснювався багаторазово і тому його необхідно оцінювати як СКВ випадкової похибки визначення сталої часу S_{Tp} [6].

Таким чином, похибку вимірювання амплітуди пульсацій тиску на базі непрямих вимірювань при нелінійній залежності вимірюваної величини від аргументів D , S_p , h_p , U_o , A_p , K_{vp} , які входять в (3.21). При цьому, враховуючи що параметри D і U_o характеризують параметри настроювання діапазону давача тиску, а співвідношення U_o до D є коефіцієнтом перетворення K_p перетворювача тиску, то вираз (3.21) можна подати:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \frac{S_p \cdot h_p}{K_p \cdot A_p \cdot K_{vp}} \quad (3.23)$$

Далі із врахуванням алгоритму сумування складових похибки при непрямих вимірюваннях [6] можна записати таку формулу для визначення НСП амплітуди пульсацій тиску:

$$\theta_{\Delta p} = K \cdot \sqrt{\theta_{kp}^2 + \theta_{Ap}^2 + \theta_{Sp}^2 + \theta_{hp}^2 + \theta_{Kvp}^2 + \theta_{\Delta U}^2}, \quad (3.24)$$

де $\theta_{\Delta p}$ – НСП розрахунку амплітуди пульсацій; K – поправковий коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю і кількістю складових НСП; θ_{kp} , θ_{Ap} , θ_{Sp} , θ_{hp} , θ_{Kvp} – НСП визначення всіх складових, що входять в (3.23); $\theta_{\Delta U}$ – НСП різницевого сигналу перетворювача тиску і задавача опорної напруги.

Числові значення всіх складових НСП із (3.24) методично обґрунтовані і розраховані в [21], кількісне значення якої становить $\theta_{\Delta p} = \pm 3,01\%$.

Для обчислення СКВ випадкової похибки визначення амплітуди пульсацій тиску з осцилограми S_{hp} можна скористатися результатами досліджень з [21]. Вони обґрунтовують, що відхилення вказівника самописця на 3 мм спричиняє виникнення похибки, яка відповідає похибці θ_D використовуваного давача тиску ($\pm 0,06\%$). Тому приймаючи точність візуального відліку в межах півподілки міліметрової шкали отримуємо пропорційне зменшення значення похибки, тобто:

$$S_{\Delta p} = S_{hp} = \frac{0,5}{3} \cdot \theta_{\Delta} = \pm 0,01\%, \quad (3.25)$$

Обчислене відношення $\theta_{\Delta p}/S_{hp}=300$ вказує, що воно перевищує значення восьми із стандарту. Тому за похибку вимірювань амплітуди пульсацій тиску можна прийняти НСП $\theta_{\Delta p}$, яка становить $\theta_{\Delta p}=\pm 3,0\%$.

Згідно поставлених умов при дослідженні еталонних установок такий результат проведеного метрологічного аналізу в повній мірі задовольняє умовам вимірювального контролю технологічних параметрів нестационарних процесів еталонних установок.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Важливість метрологічних досліджень у сфері охорони праці

Згідно із Законом України «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний організувати атестацію робочих місць та за її підсумками вжити заходів щодо усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів. Також він зобов'язаний забезпечити проведення медичних оглядів працівників, зайнятих на важких роботах та роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці. Крім того, за результатами атестації робочих місць складаються списки виробництв, робіт, професій, посад та показників, зайнятість у яких дає право на пенсію за віком на пільгових умовах.

В свою чергу атестація робочих місць, окрім іншого, передбачає гігієнічне дослідження факторів виробничого середовища, важкості й напруженості трудового процесу на робочому місці. Зазначені дослідження нерозривно пов'язані з вимірюваннями [23].

Діяльність, пов'язана з вимірюваннями, з контролем безпеки умов праці, належить до сфери законодавчо регульованої метрології.

Таким чином прослідковується нерозривний прямий зв'язок метрологічних досліджень та охорони праці.

Не слід також забувати, що належним чином повірені прилади, а також діагностування та контроль якості приладів та пристроїв створюють безпечні умови для їх експлуатації у майбутньому.

Окрім цього, в умовах сьогодення при пошуку нових способів підвищення ефективності економічної діяльності будь-якого підприємства (компанії) важливим фактором стає безпека на виробництві.

Високий рівень травматизму приносить для компаній безліч прихованих втрат, таких як: низька продуктивність, висока плинність кадрів, простої та пошкодження обладнання та інші, не кажучи вже про поламані людські долі.

У зв'язку з цим безліч передових компаній по всьому світу шукають шляхи досягнення нульового рівня аварійності та травматизму.

Практика показує, що, впроваджуючи передові системи менеджменту, побудовані за принципом міжнародного стандарту ISO 45001, а також нарощуючи систему контролів та аудитів - багатьом вдається досягти зниження частоти травматизму. Але далі ці інструменти перестають працювати. Такий рівень травматизму вважається досить низьким, і це означає, що за сумарного відпрацювання 60 млн. чол.ч. відбудеться 30 випадків травмування працівників і відповідно до піраміди травматизму Герберта Хейнріха можна спрогнозувати, що один випадок може закінчитися смертельним результатом.



1 - кількість серйозних травм; 30 - кількість назначних травм; 300 - інциденти без травми

Рисунок 4.1 – Піраміда травматизму (закон Хейнріха):

Також, Хейнріх визначив принципи виявлення та виправлення умов, що призводять до пригод, задовго до того, як нещасний випадок справді станеться. Надалі ці принципи були закладені в ризик-орієнтованому підході управління безпекою.

Однак, при впровадженні ризик-орієнтованого підходу часто не вдається досягти більшого ефекту. Практика показує, що ефективність суттєво залежить від способу вирішення трьох важливих завдань:

1. Здійснити перехід від запізнюваних ключових показників ефективності (КПЕ), таких як кількість травм до випереджальних, таких як кількість випадків

ризикованої поведінки, кількість випадків виявлення небезпечних умов на робочих місцях, зокрема застосування метрологічних досліджень, та ін.

2 Впровадити процес виявлення та реєстрації джерел небезпеки, оцінки та управління ризиками. Так, згідно з дослідженнями, проведеними компанією ConocoPhillips Marine в основі 1-го випадку зі смертельним наслідком (30 випадків травматизму працівників), може бути близько 30 000 випадків ризикованої поведінки.

3. Забезпечити швидку реакцію та виправлення небезпечної поведінки та небезпечних умов, що є головним ключем розвитку культури безпеки працівників.

4.2 Аналіз потенційних небезпек та шкідливих факторів виробничого середовища

Співробітники шкідливих професій включають загальних інженерів та операторів цехів, що працюють в умовах високого шуму та високої вібрації. У поєднанні з конкретною ситуацією їхньої роботи висувають вимоги та пропозиції щодо способу праці та відпочинку, освітлення та вентиляції місця тощо.

Основними причинами травм працівників є:

- недотримання вимог і правил техніки безпеки при монтажі, налаштуванні і експлуатації системи контролю екологічних параметрів;
- пошкодження ізоляції проводки, поява напруги на корпусах електрообладнання при відсутності захисного заземлення і занулення;
- поява напруги на відключених струмопровідних частинах, де працюють люди, внаслідок помилкового ввімкнення;
- пристрій, який виконує роботу, запускається несподівано.

Основними заходами для запобігання нещасним випадкам є:

- дотримання працівниками вимог техніки безпеки;
- виконання всіх робіт згідно регламентів;

- захисне заземлення і занулення насосних агрегатів.

Метеорологічні умови на виробництві в основному визначаються кліматичними та географічними особливостями місцевості. Шкідливі виробничі фактори: підвищення або зниження температури в робочій зоні, підвищений шум і вібрація у виробничому приміщенні.

Розвиток техніки, ріст потужності і швидкохідності машин, механізація виробничих процесів призводить до збільшення вібрації і шуму.

Порогом чутливості називається максимальна сила звуку, яка відчувається людиною з нормальним слухом.

При великій гучності шум може мати шкідливий вплив на нервову систему людини та її органи слуху, що призводить до роздратування, втоми, порушення концентрації уваги, зниження працездатності та глухоти. Це може призвести до нещасних випадків і значно знизити продуктивність.

Основні потенційні небезпеки та шкідливості приведені в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Аналіз потенційних небезпек виробничих факторів

Виробничий об'єкт	Небезпечний фактор (технологічна операція)	Фактичне значення	Нормативне значення	Характер дії на людину
Повітрорудувка дзвонової установки	Вібрація	73 дБ $f_{с.г.}=63\text{Гц}$	76 дБ $f_{с.г.}=63\text{Гц}$	Швидка втомлюваність, біль в суглобах
	Шум	80 дБ $f_{с.г.}=63\text{Гц}$	94 дБ $f_{с.г.}=63\text{Гц}$	Втрата слуху, головний біль, втомлюваність
	Електричний струм	$I=75\text{A}$ $U=380\text{V}$	$I=0.1\text{A}$ $U=42\text{V}$	Зупинка дихання, зупинка серця

Вібрація і механічна вібрація характеризуються дозвуковими періодичними коливаннями. У багатьох випадках шум і вібрація надходять від одного джерела одночасно.

Для боротьби з шумом і вібрацією проводяться захисні заходи при будівництві об'єкта (з використанням звукопоглинальних матеріалів), особливо при будівництві операторів і розподільних щитів, при проектуванні та експлуатації (усунення або ослаблення шуму на джерелі).

4.3 Забезпечення нормальних умов праці

Для нормального теплового самопочуття людини важливо забезпечити певне співвідношення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, тобто певні мікрокліматичні умови.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [24] у виробничих приміщеннях та робочих місцях з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ) та ПК мають забезпечуватись оптимальні значення параметрів мікроклімату (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Нормовані параметри мікроклімату для приміщень з ВДТ та ПК

Пора року	Категорія робіт	Температура повітря, °С не більше	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	легка-1а	22 - 24	40 - 60	0,1
Теплий	легка-1а	23 - 25	40 - 60	0,1

Для забезпечення оптимальних умов мікроклімату в будь-який час року в приміщеннях, де розташовані комп'ютеризовані робочі місця, необхідно встановлювати кондиціонери, які автоматично підтримують задані параметри мікроклімату.

Характеристики вентиляції наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Характеристика вентиляції

Приміщення	Тип вентиляції	Вентиляційне обладнання	Кратність повітрообміну, 1/год
Метрологічний центр	Штучна	Витяжний вентилятор EFP636X	5

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ВДТ і ПК визначені ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37. Київ, 1999. [25] (табл. 4.5).

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні, звукоеквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ									
	в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Рівні звуку, еквівалентні і рівні звуку, дБА/дБАек в.
Оператори в залах обробки інформації на ЕОМ та оператори комп'ютерного набору	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

Допустимі параметри напруженості електромагнітного поля (ДСанПіН 3.3.2-007-98) [24] наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Допустимі параметри напруженості електромагнітного поля

Види поля	Допустимі параметри поля		Допустима поверхнева щільність потоку енергії (інтенсивність потоку енергії), Вт/кв. м
	за електричною складовою (E), В/м	за магнітною складовою (H), А/м	
Напруженість електромагнітного поля			
60 кГц до 3 МГц	50	5	
3 МГц до 30 МГц	20	-	
30 МГц до 50 МГц	10	0,3	
50 МГц до 300 МГц	5	-	
300 МГц до 300 ГГц	-	-	10 Вт/кв. м

Робота користувачів комп'ютера характеризується високою напругою аналізатора зору, тому вкрай важливо забезпечити розумне освітлення на робочому місці..

Оптимізація кількісних і якісних показників освітлення відіграє важливу роль у забезпеченні максимально комфортних умов для візуальної роботи [29]. При продовженні використання ВДТ рівень освітленості на робочому місці має бути трохи нижчим. Це пов'язано з тим, що рівень виділення зменшує контраст фону та об'єктів, що відображаються на екрані, і збільшує ймовірність відображення від добре освітлених вертикальних поверхонь на екрані ВДТ. Крім того, через мікроскопічні нерівності скляної поверхні екрану і розсіювання світла на осілих на ньому частинках пилу може виникнути так звана яскравість завіси. У той же час низький рівень освітлення зменшує яскравість на периферії поля зору. Це, в свою чергу, підвищує інтенсивність процесу перекалібрування, тим самим прискорюючи розвиток втоми візуального аналізатора користувача.

Відповідно ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. Київ : Мінрегіон України, 2018. [27] освітлення у приміщеннях з ВДТ має бути суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним. Природне освітлення повинно бути боковим, бажано

одностороннім. Для уникнення засліплюючої дії сонячних променів найкраще, коли світлові отвори (вікна) зорієнтовані на північ чи північний схід. Коефіцієнт природної освітленості (КПО) повинен бути не нижче 1,5%.

Характеристику освітленості приведено в таблиці 4.7. Для зменшення впливу шкідливих чинників використовують засоби індивідуального захисту (табл. 4.8).

Таблиця 4.7 – Характеристика штучної освітленості робочих місць

Назва приміщення	Розряд зорової роботи	Освітленість, лк			Тип світильника
		Загальне освітлення	Аварійне освітлення (для продовження роботи)	Аварійне освітлення (для евакуації людей)	
Метрологічний центр	III, б	300	15	10	ЛПО36

Таблиця 4.8 – Засоби індивідуального захисту робітників

Шкідливий виробничий фактор	Призначення ЗІЗ	Назва ЗІЗ (марка, характеристика)	Професія працюючого
Випромінювання ВДТ	Захист очей	Захисний екран	Оператор ПК

4.4 Розрахунок природної вентиляції

Проведемо розрахунок вентиляції приміщення в якому буде проводитись повірка газових лічильників та інженер-метролог. Розміри повірочної лабораторії мають такі габарити: довжина 4 м, ширина 3 м, висота 3 м, кількість працюючих співробітників – 2, розмір квартирки – 0,28 м², розмір дверей – 1,89 м², висота від центру дверей до центру квартирки 2 м.

Об'єм робочого приміщення, що припадає на кожного працюючого складає:

$$L_1 = \frac{4 \cdot 3 \cdot 3}{2} = 18 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Якщо об'єм робочого приміщення, що припадає на кожного працюючого, менше 20 м^3 , необхідний повітрообмін повинен складати не менше $L' = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ на одну особу.

Обчислимо необхідний повітрообмін L_n за формулою:

$$L_n = L' \cdot n \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.1)$$

де n – кількість працюючих.

$$L_n = 30 \cdot 2 = 60 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Фактичний повітрообмін у відділі здійснюється за допомогою природної вентиляції як неорганізовано – через різні нещільності у віконних і дверних прорізах, так і організовано – через квартиру у віконному прорізі. Фактичний повітрообмін $L_\phi \text{ м}^3/\text{год}$, обчислюється за формулою [25]:

$$L_\phi = F_{\kappa\phi} \cdot V_n \cdot \mu \cdot 3600, \quad (4.2)$$

де $F_{\kappa\phi}$ – площа квартирки, через яку буде виходити повітря, м^2 ; V_n – швидкість виходу повітря через квартиру, $\text{м}/\text{с}$; μ – коефіцієнт витрати повітря в межах 0,3-0,8.

Швидкість виходу повітря через квартиру, можна розрахувати за формулою:

$$V = \sqrt{\frac{2g \cdot \Delta H_2}{\gamma_{\phi H}}}, \quad (4.3)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g=9,8 \text{ м}/\text{с}^2$; ΔH_2 – тепловий напір, під дією якого буде виходити повітря з квартирки, $\text{кг}/\text{м}^2$:

$$\Delta H_2 = h_2 \cdot (\gamma_z - \gamma_{\phi H}), \quad (4.4)$$

де h_2 – висота від площини рівних тисків до центру квартирки.

Її можна визначити з наступного співвідношення: відстані від площини рівних тисків до центрів нижніх і верхніх прорізів відповідно h_1 та h_2 , обернено пропорційні квадратам площ цих прорізів $S_{\phi\phi}$ та $F_{\kappa\phi}$, тобто

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{F_{\kappa\delta}^2}{S_{\delta\delta}^2} \quad (4.5)$$

З геометричних розмірів приміщення $h_1+h_2=h$, де h – висота між центрами нижніх та верхніх прорізів, і $h = 2$ м. Таким чином, з системи двох рівнянь з двома невідомими знаходимо h_2 .

$$h_1 = h - h_2 \quad (4.6)$$

$$\frac{h - h_2}{h_2} = \frac{F_{\kappa\delta}^2}{S_{\delta\delta}^2} \text{ звідси } h_2 = \frac{h \cdot S_{\delta\delta}^2}{F_{\kappa}^2 + S_{\delta\delta}^2} = \frac{2 \cdot 1,89^2}{0,28^2 + 1,89^2} = 1,96 \text{ м}$$

Об'ємна вага повітря визначається за формулою:

$$\gamma = 0,465 \cdot \frac{P_{\delta}}{T}, \quad (4.7)$$

де P_{δ} – барометричний тиск, мм рт. ст., в розрахунках береться таким: $P_{\delta}=750$ мм рт. ст.; T – температура повітря у градусах Кельвіна.

Для повітряної лабораторії, в якому виконується легка робота відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [24] для теплого періоду року, температура повітря повинна бути не вище $+28^{\circ}\text{C}$, або $T=301$ К, для холодного періоду року відповідно $t=17^{\circ}\text{C}$, або $T=290$ К. Для повітря зовні приміщення температура визначається за ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [27]:

1) для теплого періоду: $t=24^{\circ}\text{C}$, $T=297$ К;

Об'ємна вага повітря з зовні приміщення, кг/м^3 буде складати:

$$\gamma_z = 0,465 \cdot (750/297) = 1,174 \text{ кг/м}^3.$$

Об'ємна вага повітря з середини приміщення, кг/м^3 буде складати:

$$\gamma_{\text{вн}} = 0,465 \cdot (750/301) = 1,159 \text{ кг/м}^3.$$

ΔH_2 – тепловий напір, під дією якого буде виходити повітря з квартирки, кг/м^3 :

$$\Delta H_2 = 1,96 \cdot (1,174 - 1,159) = 0,0294 \text{ кг/м}^3.$$

V_n – швидкість виходу повітря через квартиру, м/с :

$$V_n = (2 \cdot 9,8 \cdot 0,0294 / 1,159)^{0,5} = 0,705 \text{ м/с}.$$

Фактичний повітрообмін L_{ϕ} , $\text{м}^3/\text{год}$, у приміщенні складе:

$$L_{\phi}=0,28 \cdot 0,705 \cdot 0,6 \cdot 3600=426 \text{ м}^3/\text{год.}$$

2) для холодного періоду: $t=-11^{\circ}\text{C}$, $T=262 \text{ К}$.

Об'ємна вага повітря з зовні приміщення, $\text{кг}/\text{м}^3$ буде складати:

$$\gamma_z=0,465 \cdot (750/262)=1,33 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Об'ємна вага повітря з середини приміщення, $\text{кг}/\text{м}^3$ буде складати:

$$\gamma_{вн}=0,465 \cdot (750/290)=1,2 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

ΔH_2 – Тепловий напір, під дією якого буде виходити повітря з квартирки, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\Delta H_2=1,96 \cdot (1,33-1,2)=0,2548 \text{ кг}/\text{м}^3$$

V_n – швидкість виходу повітря через квартиру, $\text{м}/\text{с}$:

$$V_n=(2 \cdot 9,8 \cdot 0,2548/1,2)^{0,5}=2,04 \text{ м}/\text{с}.$$

Фактичний повітрообмін L_{ϕ} , $\text{м}^3/\text{год}$, у приміщенні складе:

$$L_{\phi}=0,28 \cdot 2,04 \cdot 0,6 \cdot 3600=1233 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Визначивши фактичний повітрообмін і порівнявши його з необхідним, можна зробити висновок про ефективність природної вентиляції у лабораторії. У теплий період року фактичний повітрообмін перевищує необхідний ($426 \text{ м}^3/\text{год}$ проти $60 \text{ м}^3/\text{год}$). У холодному періоді року фактичний повітрообмін набагато перевищує необхідний ($1233 \text{ м}^3/\text{год}$ проти $60 \text{ м}^3/\text{год}$), що може викликати переохолодження працюючих. Для усунення цього недоліку можна рекомендувати скорочення часу провітрювання приміщення пропорційно перевищенню фактичного повітрообміну над необхідним:

Фактичний повітрообмін у холодний період року складає $1233 \text{ м}^3/\text{год}$. Необхідні $60 \text{ м}^3/\text{год}$ фактично можна досягти за:

$$\frac{60 \cdot 60}{1233} = 2,91 \text{ хв.}$$

Для ефективності роботи природної вентиляції взимку достатньо провітрювати приміщення повірочної лабораторії протягом $2,91 \text{ хв.}$, кожної години.

4.5 Розрахунок додаткового штучного освітлення

Розрахувати методом світлового потоку [26, 27] необхідну кількість світильників з лампами розжарювання для створення нормальних умов праці у виробничому приміщенні, де виконується робота з об'єктом розпізнавання до 3 мм, контраст об'єкту з фоном малий. Відомі наступні дані: потужність $P=100\text{Вт/м}$, світловий потік $\Phi_{\text{л}}=1350\text{лм}$, коефіцієнт запасу $K_3=0,5$, коеф. мін. освітл. $Z=1,15$, відбиття стелі=59, відбиття стін=30, дане приміщення має такі габаритні розміри: довжина $L=4\text{м}$, ширина $B=3\text{м}$, висота $H=3\text{м}$, відстань між підлогою і робочою поверхнею $h=0,75\text{м}$, відстань між стелею і світильником $h_1=0,2\text{м}$.

Розрахункове рівняння за яким можна визначити кількість світильників має вигляд:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{\Phi_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta} \quad (4.8)$$

Мінімальна освітленість що нормується E_n вибираємо з таблиці 5.1. $E_n=300$. Розрахуємо площу приміщення :

$$S=L \cdot B=12$$

Кількість ламп у світильнику $n=1$. Коефіцієнт використання світлового потоку η (в долях одиниці) вибираємо з таблиці 5.4 ($\eta=0,44$)

Розрахуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$H_p=H-h-h_1=2,05 \text{ м.}$$

Після цього знайдемо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{L \cdot B}{(L + B) \cdot H_p} = 0,8362.$$

Розрахуємо необхідну кількість ламп:

$$N = \frac{300 \cdot 12 \cdot 0,5 \cdot 1,15}{1350 \cdot 1 \cdot 0,44} = 10,455 \text{ шт.}$$

Для створення нормальних умов праці потрібно 10 світильників з лампами.

4.6 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях

Пожежна безпека - виключення ймовірності виникнення і розвитку пожежі та стану об'єктів, яким люди піддаються пожежній небезпеці, із заданою ймовірністю та охорона матеріальних цінностей.

Пожежна безпека на підприємстві досягається системами протипожежного захисту, що забезпечують неможливість пожежі за допомогою організаційно-технічних заходів, а також системами протипожежного захисту, призначеними для запобігання впливу небезпечних елементів.

Надзвичайні ситуації, залежно від джерела небезпеки, можуть бути природними, техногенними, соціально-політичними, військовими; залежно від масштабу - країна, регіон, місце та об'єкт.

У нафтогазовому середовищі можуть виникнути надзвичайні ситуації техногенного характеру: пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загроза, аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове зруйнування споруд та будівель, аварії на трубопроводах тощо.

Висновок

В даному розділі було висвітлено важливість метрологічних досліджень у сфері охорони праці. Також було розглянуто безпечні умови праці, які варто забезпечити працівникам метрологічних лабораторій. Було розраховано штучне освітлення яке показало, що створення нормальних умов праці у виробничому приміщенні необхідно 10 світильників.

Було здійснено розрахунок природної вентиляції, яка повинна забезпечити комфортні умови перебування на робочих місцях. Оскільки за нашими обчисленнями фактичний повітрообмін взимку перевищував необхідну норму, то для ефективності роботи природної вентиляції взимку, було пораховано з яким інтервалом необхідно здійснювати провітрювання лабораторії, де здійснюється повірка газових лічильників. Для того щоб, робочому персоналу було комфортно працювати на їхніх робочих місцях,

необхідно дотримуватись цих розрахунків, та всіх інших санітарно-гігієнічних норм, що передбачені Законодавством України.

ВИСНОВКИ

Дзвоніві установки є еталонними засобами і характеризуються достатньо високими метрологічними характеристиками. Але, сучасні методики опрацювання сигналів, які базуються на застосуванні кореляційного і спектрального аналізу, дозволяють виявити фактори, які опосередковано впливають на якість функціонування установок і які не можливо дослідити в процесі проектування установок.

Під час виконання бакалаврської роботи було встановлено що, пульсації тиску під дзвоном можуть характеризувати про рівномірність його опускання, плавність руху рухомих вузлів установки вздовж напрямних колон, зміну площі поперечного перерізу дзвону по його висоті.

Обґрунтовано доцільність розроблення технічного забезпечення для діагностування дзвонових витратовимірювальних установок.

Для цього розглянуто розроблене технічне забезпечення і інформаційні системи кореляційного і спектрального аналізів, які дозволяють здійснювати діагностування еталонних установок. Виконання цих умов сприяє більш детальному метрологічному дослідженню інформативних параметрів установок, зокрема миттєве значення витрати газу, тиск, температура.

Також було розглянуто безпечні умови праці, які варто забезпечити працівникам метрологічних лабораторій. Було розраховано штучне освітлення і природної вентиляції, яка повинна забезпечити комфортні умови перебування на робочих місцях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Облік природного газу: довідник / уклад.: М. П. Андріїшин, О. М. Карпаш, О. Є. Середюк [та ін.]; за ред. проф. С. А. Чеховського. Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2008. 180 с.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [від 05.06.2014р., № 1314-VII: у редакції від 01.05.2019 р.].
3. ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держстандарт України, 1995. 23 с. (Державний стандарт України).
4. Середюк О. Є., Чеховський С. А., Винничук А. Г. Техніко-метрологічні засади побудови діагностувальних установок для побутових лічильників газу. Нафтова і газова промисловість. 2006. № 6. С. 38–42.
5. Вошинський В. С., Середюк О. Є., Лютенко Т. В. Дослідження алгоритмів розрахунку похибки в еталонних установках об'єму та витрати газу. *Приладовий облік природного газу та метрологія*: Всеукр. семінар-нарада. Збірка доповідей м. Яремче, 16–19 грудня 2013 року, Київ: НАК “Нафтогаз України”. 2013. С. 15–21.
6. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості : навч. посіб. / С. А. Чеховський, І. С. Петришин, Н. М. Піндус, С. П. Ващишак, Л. А. Витвицька, М. А. Кононенко, О. Є. Середюк, В. М. Романів. За ред. проф. Чеховського С. А. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2010. 534 с.
7. Дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Б. І. Прудніков, О. Є. Середюк, Я. С. Федоришин: пат. 42275 С2 Україна, МПК 7 G01 F 25/00. № 2000127353; заявл. 20.12.00; опубл. 15.02.05, Бюл. № 2.
8. Домницький Р. Метрологічний центр НАК “Нафтогаз України”// Метрологія та прилади. – 2007. – №1. – С.14–19.
9. Дзвонова установка для градуювання та перевірки витратомірів і лічильників газу / Д. О. Середюк, А. Г. Винничук, О. Є. Середюк, С. А.

Чеховський: пат. 27563 U Україна, МПК (2006) G01 F 25/00. № u200705883; заявл. 29.05.07; опубл. 12.11.07, Бюл. № 18.

10. МДУ 025/03-2006. Метрологія. Установки повірочні дзвонового типу. Типова програма та методика державної метрологічної атестації. [Чинна від 2006-05-18]. Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2006. 47 с. (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Методика).

11. Вошинський В. С. Робочий еталон об'єму газу дзвонового типу РЕОВГ–02. *Методи та прилади контролю якості*. 2001. № 7. С. 128–129.

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

13. Пат. 35076 U Україна, МПК (2006) G 01 F 25/00. Робочий еталон об'єму і витрати газу дзвонового типу. / Середюк О.Є., Середюк Д.О. – заявл. 29.04.08; опубл. 26.08.08, Бюл. №16.

14. 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.

15. Вимірювання витрати та кількості газу: довідник / [М.П.Андрієшин, С.О.Канєвський, О.М.Карпаш, Я.С.Марчук, І.С.Петришин, А.А.Руднік, О.Є.Середюк, С.А.Чеховський]; за ред. О.М.Карпаша. – Івано-Франківськ: ПП «Сімик», 2004. – 160 с.

16. Середюк О.Є. Метрологічне забезпечення відтворення і передавання одиниць об'єму та об'ємної витрати природного газу: дис. ... доктора техн. наук: 05.01.02. – Івано-Франківськ, 2009. – 384 с.

17. 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.

18. Середюк О.Є. Математичне моделювання якісно-інформативних процесів дзвонових витратовимірювальних установок / О.Є. Середюк // *Методи та прилади контролю якості*. – 1997. – № 1. – С.29–34.
19. Середюк О.Є. Математичне моделювання похибки від непостійності тиску в дзвонових витратовимірювальних установках / О.Є. Середюк // *Методи та прилади контролю якості*. – 1998. – № 2. – С.23– 27.
20. Бабак В.П. Обробка сигналів: Підручник для студ. техн. спец. вузів / В.П.Бабак, В. С. Хандецький, Е.Шрюфер.–К.: Либідь, 1999. – 496 с.
21. Долішній Б.В. Метрологічні дослідження малоінерційного манометра для контролю нестаціонарних газових потоків / Б.В. Долішній, Ф.В. Козак, О.Є. Середюк // *Наук. вісник Івано-Франк. Націон. техн. ун-ту нафти і газу*. –2005. – №1(10). – С.92-97.
22. Долішній Б.В. Аналіз точності визначення частоти нестаціонарних коливань пульсуючих газових потоків / Б.В. Долішній, Ф.В. Козак, О.Є. Середюк // *Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ: держ. міжвід. наук.–техн. зб. / Івано-Франк. держ. техн. ун-т нафти і газу.– Івано-Франківськ, 2001. – С.135-140. – (Серія: Техн. кібернетика та електрифікація об’єктів паливно-енергетичного комплексу; вип.37 (т.6)).*
23. Чижик І. Проблеми метрологічної діяльності у сфері охорони праці. *Охорона праці і пожежна безпека*. №6, 2018. С.55-59.
24. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 42. Київ, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
25. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1999 № 37. Київ, 1999.
26. Жидецький В. Ц. Практикум із Охорони праці. Навчальний посібник // В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, В. М. Сторожук. – Львів “Афіша”, 2000. – 349 с.

27. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013.
28. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. URL: https://dnaop.com/html/2032/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.2.5-28-2006
29. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями»

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: Розроблення технічного забезпечення для діагностування еталонних установок дзвонового типу

Об'єм пояснювальної записки: 95 сторінок

Кількість графічного матеріалу: 6 аркушів

1. БР.МТ-07.00.00.001 Функціональна схема установки з пристроєм діагностування (формат А3)
2. БР.МТ-07.00.00.002 Алгоритми кореляційного і спектрального аналізів дзвонових установок (формат А3)
3. БР.МТ-07.00.00.003 Результати кореляційного аналізу дзвонових установок (формат А3)
4. БР.МТ-07.00.00.004 Результати спектрального аналізу дзвонових установок (формат А3)
5. БР.МТ-07.00.00.005 Структурна схема та алгоритм роботи малоінерційного манометра (формат А3)
6. БР.МТ-07.00.00.006 Метрологічна модель малоінерційного манометра (формат А3)

(Дата завершення роботи)

_____ Мислицький Т.Т
(ПІБ)