

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій  
(повна назва)

Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Розробка методики калібрування витратоміра

(тема)

Виконав: студент II курсу, групи ЗЯМ-22-1

Макаренко Д.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 152 Метрологія та

інформаційно-вимірювальна техніка

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Забезпечення якості»

(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Дегтярьов О. В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_

(підпис)

Захаров І. П.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій  
 Кафедра Інформаційно-вимірювальних технологій  
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
 Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
 (код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна  
 Освітня програма Забезпечення якості  
 (повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_

(підпис)

«\_\_\_\_\_» січня 2024 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Макаренко Дмитру Володимировичу  
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка методики калібрування витратоміра затверджена наказом по університету від 01 вересня 2023 р. № 1294 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10 січня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Об'єкт випробувань: тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В».

Нормативне забезпечення: ДСТУ 7156:2010 «Витратоміри тахометричні кулькові. Методика повірки (калібрування)».

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

- 1) Огляд витратомірів та їх методи роботи
- 2) Методики та принципи калібрування засобів вимірювальної техніки
- 3) Розробка методики калібрування тахометричного (кулькового) витратоміра

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 5.1 Назва кваліфікаційної роботи. 5.2 Мета та задачі роботи. 5.3 Аналіз вимог законодавства. 5.4 Огляд чинних нормативних документів. 5.5 Огляд витратомірів. 5.5.1 Витратоміри механічної дії. 5.5.2

Витратоміри на основі хвильових явищ. 5.5.3 Електромагнітні витратоміри. 5.5.4 Міткові витратоміри. 5.6 Методики та принципи калібрування ЗВТ. 5.7 Розробка методики калібрування тахометричного кулькового витратоміра. 5.7.1 Засоби, умови та безпеки, щодо калібрування. 5.7.2 Процедури проведення калібрування. 5.7.3 Калібрування об'єкту дослідження. 5.8 Результати калібрування та контроль основної похибки вимірювання. 5.9 Висновки роботи. 5.10 Апробація кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	доцент Дегтярьов Олександр Валентинович		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	01.09.23	
2	Збір матеріалів для дослідження	01.09.23-21.09.23	
3	Розробка 1 розділу	21.09.23-04.11.23	
4	Розробка 2 розділу	04.11.23-21.11.23	
5	Розробка 3 розділу	21.11.23-15.12.23	
6	Оформлення атестаційної роботи	15.12.23-10.01.24	
7	Надання роботи на кафедрі	10.01.24	

Дата видачі завдання 01 вересня 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ доцент Дегтярьов О. В.

(підпис)

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить: 81 стор., 28 рис., 6 табл., 2 додатки та 24 джерела.

ЗАСОБИ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ, КАЛІБРУВАННЯ, ВИТРАТОМІР, ВИТРАТОМІРИ МЕХАНІЧНОЇ ДІЇ, ВИТРАТОМІРИ НА ОСНОВІ ХВИЛЬОВИХ ЯВИЩ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИТРАТОМІРИ, МІТКОВІ ВИТРАТОМІРИ, ТАХОМЕТРИЧНИЙ КУЛЬКОВИЙ ВИТРАТОМІР, РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ТАХОМЕТРИЧНОГО КУЛЬКОВОГО ВИТРАТОМІРА.

Об'єкт дослідження – тахометричний кульковий витратомір.

Мета дослідження – розробка методики калібрування тахометричного (кулькового) витратоміра.

Результатом кваліфікаційної роботи стане: аналіз вимог законодавства, щодо метрологічної діяльності на території України; огляд нормативних документів, які визначають вимоги до витратомірів в сфері законодавчо регульованої метрології; огляд та принципи роботи витратомірів; огляд принципів та методик калібрування засобів вимірювальної техніки. А остаточним результатом буде – розробка методики калібрування тахометричного кулькового витратоміра та на основі розробленої методики проведення калібрування тахометричної кулькової витратомірної установки типу «САТУРН-40В».

## ABSTRACT

The explanatory note for the graduation thesis contains: 81 pages, 28 figures, 6 tables, 2 additions and reference list for 24 items.

MEANS OF MEASURING TECHNIQUES, CALIBRATION, FLOW METER, FLOW METERS OF MECHANICAL ACTION, FLOW METERS BASED ON WAVE PHENOMENA, ELECTROMAGNETIC FLOW METERS, LABEL FLOW METERS, TACHOMETRICAL BALL FLOW METER, DEVELOPMENT OF CALIBRATION METHODS OF TACHOMETRICAL BALL FLOW METER.

The object of research - tachometric ball flow meter.

The work purpose - development of the tachometric (ball) flowmeter calibration method.

The result of the qualification work will be: analysis of the requirements of the legislation regarding metrological activity on the territory of Ukraine; review of regulatory documents that determine the requirements for flow meters in the field of legally regulated metrology; overview and principles of operation of flowmeters; review of the principles and methods of calibration of measuring equipment. And the final result will be the development of a method of calibrating a tachometric ball flowmeter and, based on the developed method of calibrating a tachometric ball flowmeter of the SATURN-40V type.

## ЗМІСТ

Перелік скорочень та умовних позначень.....	8
Вступ.....	9
1 Огляд витратомірів та їх методи роботи.....	11
1.1 Аналіз вимог законодавства.....	11
1.2 Огляд чинних нормативних документів.....	13
1.3 Витратоміри механічної дії.....	15
1.3.1 Манометричні витратоміри.....	16
1.3.2 Витратоміри обтікання.....	19
1.3.3 Витратоміри змінного рівня.....	25
1.3.4 Тахометричні витратоміри.....	27
1.3.5 Осцилюючі витратоміри.....	32
1.3.6 Інерційні витратоміри.....	34
1.4 Витратоміри на основі хвильових явищ.....	36
1.4.1 Ультразвукові (акустичні) витратоміри.....	36
1.4.2 Оптичні витратоміри.....	39
1.5 Електромагнітні витратоміри.....	39
1.6 Міткові витратоміри.....	41
1.6.1 Іонізаційні витратоміри.....	42
1.6.2 Теплові витратоміри.....	44
1.6.3 Концентраційні витратоміри.....	45
2 Методики та принципи калібрування засобів вимірювальної техніки.....	47
2.1 Основні положення при калібруванні ЗВТ.....	50
2.2 Організація та порядок калібрування ЗВТ.....	55

3 Розробка методики калібрування тахометричного (кулькового) витратоміра.....	57
3.1 Процедури та засоби калібрування.....	57
3.2 Вимоги щодо безпеки, умови та підготовка до калібрування.....	59
3.3 Процедури проведення калібрування.....	61
3.3.1 Зовнішній огляд.....	61
3.3.2 Перевірка опору та електричної міцності ізоляції.....	62
3.3.3 Перевірка герметичності та міцності корпусу витратоміра.....	63
3.3.4 Основне випробування.....	64
3.3.5 Контроль основної похибки.....	64
3.4 Калібрування витратоміра.....	66
3.4.1 Зовнішній огляд витратоміра.....	67
3.4.2 Перевірка опору та електричної міцності витратоміра.....	68
3.4.3 Перевірка герметичності та міцності корпусу витратоміра.....	69
3.4.4 Основне випробування витратоміра.....	70
3.4.5 Контроль основної похибки витратоміра.....	71
Висновки.....	74
Перелік посилань.....	75
Додаток А.....	78
Додаток Б.....	80

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗЄВ – Забезпечення єдності вимірювань

FIA – Міжнародна автомобільна організація

СЗРМ – сфера законодавчо регульованої метрології

ЗВТ – Засоби вимірювальної техніки

ТР – Технічний регламент

НД – нормативний документ

ISO – Міжнародна організація із стандартизації (International Organization for Standardization)

ВЗПТ – витратоміри змінного перепаду тиску

САГ – струменевий автогенератор

ОКГ – оптичний квантовий генератор (лазер)

ЕРС – електрорушійна сила

ДІВ – джерело іонізаційного випромінювання

## ВСТУП

Основною складовою розвитку людства в науково-технічній галузі є забезпечення єдності вимірювань (далі – ЗЄВ). Саме цей аспект визначає розвиток соціально-економічної політики будь-якої розвиненої країни (в тому числі й України). Ще це допомагає забезпечити безпеку різних держав та, зокрема, їх громадян; також ЗЄВ сприяє підвищенню якості товарів та їх конкурентоспроможності. Постійне підтримання рівня якості товарного виробництва, належна оптимізація технічних процесів та досягнення енергетичної безпеки України – це лише декілька напрямків розвитку та підтримування функціонування держави під час війни.

Прилади для вимірювання витрати (вони же – витратоміри) застосовуються майже завжди, коли необхідно визначити кількість речовини, яка пройшла через поперечний переріз трубопроводу за одиницю часу, в потоках рідин (води, нафти тощо), газоподібних речовин або якихось інших речовин (суспензій та пульп). Набагато більше витратомірів, в сучасній промисловості, використовуються для визначення витрат рідин, трохи менше приладів існує для визначення витрати потоків газу. Зазвичай, щоб виміряти кількість витрати тієї чи іншої речовини, витратоміри об'єднують з лічильниками, або лічильники є вже частиною системи приладів, разом із витратоміром, що визначає витрату.

За вимірюваною величиною, витратоміри можна розділити на дві категорії: об'ємні та масові витратоміри. До масових витратомірів можна віднести деякі механічні, а саме інерційні (гіроскопічний та витратомір Коріоліса), та деякі міткові витратоміри, а саме теплові (термоанемометричні та калориметричні). До об'ємних відносяться наступні прилади: механічні (витратоміри з тілом обтікання та манометричні, тахометричні та осцилюючі); усі витратоміри на основі хвильових явищ (оптичні та

акустичні); електромагнітні; міткові прилади (лише іонізаційні). Тому буде доцільним оглянути усі наведені вище витратоміри, в цій дипломній роботі.

Витратоміри використовуються в багатьох галузях: хімічній, будівельній (автоматизація будівель), харчовій промисловості, при видобутку та реалізація природних копалин та багато іншого. Витратоміри використовуються навіть в «Формулі 1», Міжнародна автомобільна організація (англ. FIA), яка займається організацією перегонів, змушує команди, які приймають участь в перегонах, використовувати витратоміри у двигунах своїх автомобілей, для вимірювання кількості витрати пального.

Витратоміри, лічильники та інші системи для вимірювання витрат речовин застосовуються в сфері законодавчо регульованої метрології (далі – СЗРМ), вони підлягають оцінці відповідності під час випуску з виробництва і калібруванні (повірці) після ремонту та під час експлуатації.

Тому в цій кваліфікаційній роботі об'єктом роботи є витратомір тахометричний (кульковий), а метою роботи – розробка методики калібрування цього приладу. Для досягнення цієї мети були поставлені та послідовно розв'язані наступні завдання:

- Огляд витратомірів та їх методи роботи;
- Методики та принципи калібрування засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ);
- Розробка методики калібрування тахометричного (кулькового) витратоміра.

## 1 ОГЛЯД ВИТРАТОМІРІВ ТА ЇХ МЕТОДИ РОБОТИ

### 1.1 Аналіз вимог законодавства

ЗСВ визначається законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» вимоги якого обов'язково стосуються законодавчо регульованої сфери. Цей закон регулює відносини, що виникають в процесі провадженні метрологічної діяльності, щодо яких з метою забезпечення єдності вимірювань та простежуваності здійснюється державне регулювання стосовно вимірювань, одиниць вимірювання та ЗВТ [1].

У сфері законодавчо регульованої метрології застосовуються ЗВТ, які відповідають вимогам щодо точності, регламентованих для тих засобів, у встановлених умовах їх експлуатації. Законодавчо регульовані ЗВТ дозволяється застосовувати, випускати з виробництва, ремонту та в продаж і видавати напрокат лише за умови їх відповідності цьому закону чи іншим нормативно-правовим актам, які містять вимоги до цих ЗВТ. До них відносяться також й усі типи витратомірів, які використовуються у таких галузях [1]:

- забезпечення захисту життя та охорони здоров'я громадян;
- контроль стану навколишнього природного середовища;
- контроль безпеки умов праці;
- контроль безпеки дорожнього руху та технічного стану транспортних засобів;
- топографо-геодезичні, картографічні та гідрометеорологічні роботи, роботи із землеустрою;
- торговельно-комерційні операції та розрахунки між покупцем (споживачем) і продавцем (постачальником, виробником, виконавцем), у тому числі під час надання транспортних, побутових, комунальних, електронних комунікаційних послуг, послуг поштового зв'язку, постачання та/або споживання енергетичних і

матеріальних ресурсів (електричної і теплової енергії, газу, води, нафтопродуктів тощо);

- та інші.

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки» встановлює суттєві вимоги до ЗВТ та стосується лічильників води, лічильників газу та пристроїв перетворення об'єму, лічильників активної електричної енергії, теплолічильників, вимірювальних систем для безперервного і динамічного вимірювання кількості рідин, крім води, автоматичних зважувальних приладів, таксометрів, матеріальних мір, приладів для вимірювання розмірів та аналізаторів вихлопних газів [2]. Таким чином, цей технічний регламент може стосуватися й витратомірів.

До суттєвих вимог відносяться: допустимі похибки; кліматичні умови навколишнього середовища; зовнішні механічні, електромагнітні та інші впливові умови; основні правила для випробувань і визначення похибок; вологість навколишнього середовища; відтворюваність і повторюваність; поріг реагування та чутливості; довговічність, надійність, придатність; захист від несанкціонованого втручання; інформація, нанесена на засіб вимірювальної техніки або така, яка його супроводжує; показання; подальша обробка даних з метою проведення торговельної операції; оцінка відповідності [2].

Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки» встановлює вимоги, яким повинні відповідати ЗВТ, які призначені для застосування у сфері законодавчо регульованої метрології, коли вони надаються на ринку та/або вводяться в експлуатацію для виконання завдань, пов'язаних з вимірюваннями [3].

Згідно з цим Технічним регламентом (далі – ТР), ЗВТ повинні відповідати суттєвим вимогами, установленим цим технічним регламентом та у відповідних національних стандартах та технічних специфікаціях для

певних ЗВТ. Ці суттєві вимоги – загальні вимоги, допустимі похибки, кліматичні умови навколишнього середовища, зовнішні механічні умови, інші впливові величини (такі як: коливання напруги, коливання частоти напруги живлення, частотні електромагнітні поля джерела живлення, або будь-яка інша величина, яка може вплинути значною мірою на точність ЗВТ), основні правила для випробувань і визначення похибок та багато іншого.

ЗВТ можуть бути надані на ринку та/або введені в експлуатацію тільки у разі, коли вони відповідають вимогам цього ТР.

## 1.2 Огляд чинних нормативних документів

Наразі в Україні є, приблизно, чотири десятки стандартів (ДСТУ), що відповідають витратомірам в той чи іншій формі, більшість із яких гармонізовані з європейських стандартів. Тому буде доцільно оглянути основні нормативні документи, що характеризують та визначають роботу витратомірів.

Одним з основних та найважливіших нормативних документів, щодо витратомірів, є ДСТУ ISO 4006:2009 «Вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах. Словник термінів і познач» [4]. Цей стандарт установлює основні і загальні терміни щодо вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах, таких як: загальні терміни в механіці рідин; невизначеності; загальні терміни, що стосуються пристроїв; прилади для диференційного тиску; вимірювання критичної витрати; методи за швидкістю та площею; трасувальні методи; електромагнітні методи; звукувальні та об'ємні методи; методи нестабільності; ультразвукові методи; методи змінної області; лічильники та інші. Щодо електромагнітних витратомірів, цей нормативний документ встановлює наступні визначення: електромагнітний витратомір та його складові - первинний пристрій, вторинний пристрій, вимірювальна труба;

вимірювальні електроди; магнітне поле; сигнал електрода; сигнал потоку; квадратурна напруга; синфазна напруга; опорний сигнал.

ДСТУ 7266:2012 встановлює загальні технічні умови до електромагнітних, швидкісних та вихрових витратомірів [5].

Також одним із чинних документів є ДСТУ 7156:2010 «Витратоміри тахометричні кулькові. Методика повірки (калібрування)». Саме його було взято за основу для написання цього диплому. Згідно цього стандарту, він поширюється на витратоміри які відповідають ДСТУ 7266:2012 і встановлює методи й засоби їх первинної та періодичної повірок [6].

До інших чинних нормативних документів (далі – НД), які стосуються і визначають, в той чи іншій мірі, роботу різних витратомірів можна віднести:

- ДСТУ ISO 11631:2013 «Вимірювання витрати плинного середовища. Методи визначення характеристик витратоміра» (ISO 11631:1998, IDT);
- ДСТУ ISO 14511:2009 «Вимірювання витрати плинного середовища в закритих трубопроводах. Теплові масові витратоміри» (ISO 14511:2001, IDT);
- ДСТУ ISO 6817:2006 «Витратоміри електропровідної рідини в закритих трубопроводах. Метод вимірювання із застосуванням електромагнітних витратомірів» (ISO 6817:1992, IDT).
- ДСТУ ISO 12764:2021 «Вимірювання потоку плинного середовища в закритих каналах. Вимірювання витрати із застосуванням вихрових витратомірів з тілом обтікання, установлених у заповнених каналах круглого перерізу» (ISO 12764:2017, IDT);
- ДСТУ ISO 10790:2021 «Вимірювання потоку плинного середовища в закритих каналах. Указівки щодо обирання, установлювання та застосування коріолісових витратомірів (вимірення масової витрати, густини та об'ємної витрати)» (ISO 10790:2015, IDT);
- та багато інших.

У переліках національних стандартів, відповідність яким надає презумпцію відповідності ЗВТ суттєвим вимогам ТР законодавчо регульованих ЗВТ та ТР ЗВТ не містять окремі стандарти на всі види витратомірів, в тому числі, і електромагнітних. Тому обов'язковим є відповідність положенням цих технічних регламентів. Однак, у цій дипломній роботі також будемо керуватися й розглянутими вище гармонізованими національними стандартами.

### 1.3 Витратоміри механічної дії

Розвиток витратометрії, і витратомірів у тому числі, почався, ще близько 100-го року нашої ери (далі – н.е.), коли давньогрецькій філософ Герон Олександрійський запропонував «об'ємний спосіб вимірювання витрати води». Він сформулював цю ідею як: «витрата води дорівнює площі перерізу, помноженої на швидкість».

Ще з давніх часів, наші попередники, вже тоді намагалися розробити прилади, що вимірювали би кількість витрати тієї чи іншої речовини. Саме так з'явилися одні із перших і простих витратомірів – вони базувалися на законах та принципах механічної фізики, і отримали назву, із методів їх роботи, – витратоміри механічної дії.

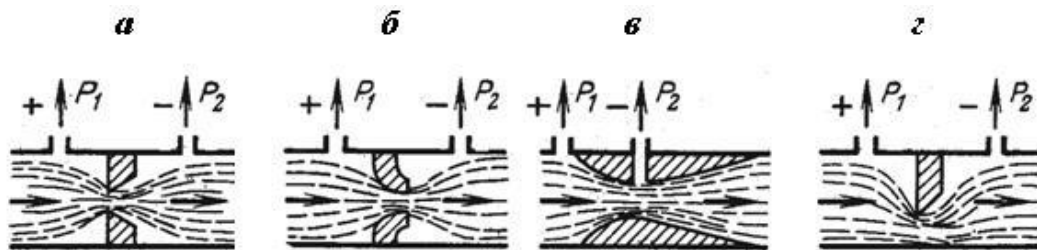
До витратомірів механічної дії відносяться наступні прилади: манометричні витратоміри; витратоміри обтікання; витратоміри змінного рівня; тахометричні витратоміри; осцилюючі витратоміри; інерційні витратоміри. Більшість із цих груп витратомірів поділяються на інші підгрупи.

Тому в цій дипломній роботі, щоб оглянути весь розряд витратомірів механічної дії, потрібно окремо розглянути кожен групу із цих пристроїв.

### 1.3.1 Манометричні витратоміри

Витратоміри зі змінним перепадом тиску (далі - ВЗПТ) також відомі, як манометричні витратоміри. Ці пристрої використовуються для контролю витрат рідини та газів, і вони дозволяють вимірювати великі витрати при високому внутрішньому тиску в трубопроводах. Залежно від конструкції та принципу дії, манометричні витратоміри можна розділити на наступні прилади: витратоміри на основі звужуючих пристроїв; витратоміри на основі гідравлічних опорів; відцентрові витратоміри; струминні витратоміри; осереднена напірна трубка. Тому при огляді принципу роботи манометричного витратоміра, слід оглянути декілька цих розділів.

Принцип дії витратомірів на основі звужувальних пристроїв, ґрунтується на перепаді тиску через спеціальний звужувальний прилад, встановлений у трубопроводі. До спеціальних звужувальних пристроїв можна віднести: нормальну діафрагму, сопло, трубу Вентурі та сегментні діафрагми.



**Рис. Види звужувальних пристроїв:  
 а – нормальна діафрагма; б – сопло; в – труба Вентурі;  
 з – сегментна діафрагма.**

Рисунок 1.1 – Різновиди звужувальних пристроїв

Належної точності контролю можна досягти лише за допомогою стандартних звужувальних пристроїв (нормальних діафрагм, сопел і трубок Вентурі), виготовлених з високою точністю зі спеціальних металів (сталей). Нормальні діафрагми використовуються для чистих рідин і газів, тоді як

сопла і трубки Вентурі рекомендуються для контролю потоку суспензій, пульп та інших сумішей.

Труба Вентурі (або трубка Вентурі) – це пристрій для звуження поперечного перерізу потоку, з конічною вхідною частиною (конфузором), проміжною циліндричною частиною (горловиною) і вихідною конічною частиною (дифузором). Перед вхідним конусом, зазвичай, розміщується додаткове циліндричне сопло. Труби Вентурі засновані на ефекті Вентурі (цей ефект, як і пристрій названі на честь італійського вченого Джованні Вентурі) – суть цього ефекту полягає в явищі падіння тиску при проходженні потоку рідини або газу через звуження у трубі. На малюнку 2 зображена конструкція труби Вентурі, де: 1 – камери вимірювання тиску; 2 – вхідний конус (конфузор); 3 – циліндрична частина (горловина); 4 – вихідна конусна частина (дифузор).

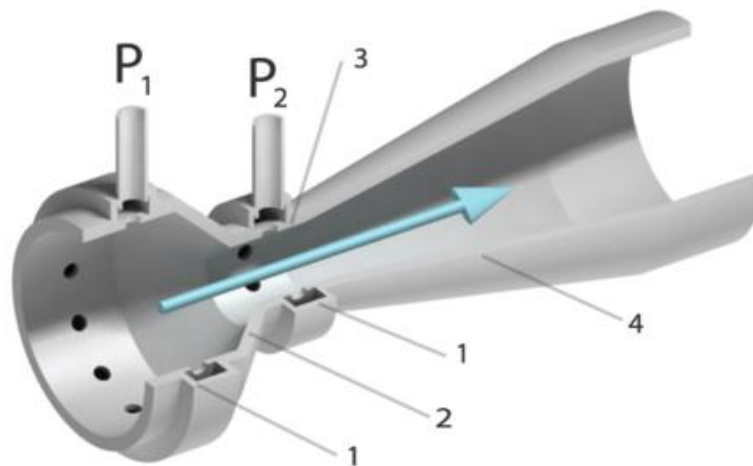
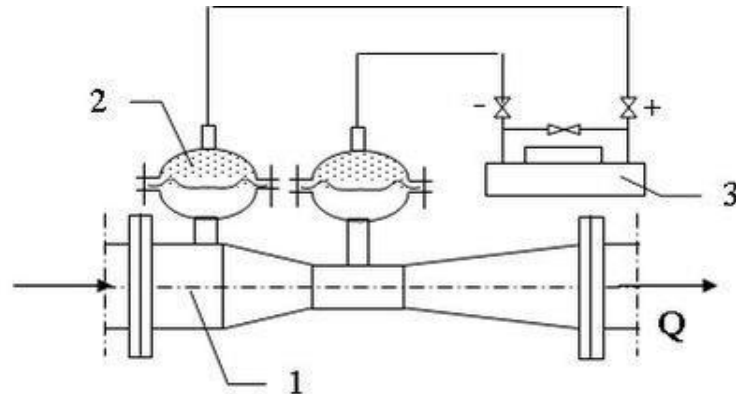


Рисунок 1.2 – Конструкція труби Вентурі

У витратомірах, що використовують трубки Вентурі, тиск контролюється за допомогою розділювальної посудини (позначеної цифрою 2 на рисунку 3), це робиться для того, щоб запобігти потраплянню твердої фази технологічного середовища в порожнину дифманометра (позначений цифрою 3 на малюнку 3). Верхня і нижня порожнини сепараційних посудин розділені релаксаційною мембраною, а верхня порожнина і порожнина

дифманометра (приладу для вимірювання тиску) заповнені дистильованою водою.

На малюнку 3 зображено витратомір з трубою Вентурі, де: 1- труба Вентурі; 2 – розділювальні посудини; 3 – дифманометр.



**Рис. Витратомір з трубою Вентурі:  
1 – труба Вентурі; 2 – розділювальні посудини;  
3 – дифманометр.**

Рисунок 1.3 – Схема витратоміра з трубою Вентурі

Перевагами витратомірів з використанням звужувальних пристроїв є те, метод може бути реалізований без застосування складних мікропроцесорних пристроїв, можливе вимірювання витрати рідин і газів при малих швидкостях потоку (0,1-0,5 м/с), вони мають високу стійкість до забрудненого вимірюваного середовища. Недоліками таких приладів є те, що вони вимагають великих зусиль при монтажі, мають малий діапазон вимірювання витрати (1:3) і низьку точність, а ще мають великий перепад тиску в звужельному пристрої, що призводить до додаткових витрат на експлуатацію насосів.

До манометричних витратомірів, поміж лічильників на основі звужувальних пристроїв, також відносяться: витратоміри на основі гідравлічних опорів, струменеві витратоміри, відцентрові витратоміри.

Струменеві витратоміри використовуються для вимірювання швидкості та витрати потоку. Основним елементом перетворювачів таких приладів є струмінь рідини або газу, що витікає. Саме тому їх називають струминними.

Ці витратоміри дозволяють вимірювати невелику витрату газу, оскільки мають низький поріг чутливості. Принцип роботи полягає у вимірюванні частоти перемикання струменевого автогенератора (далі - САГ), що пропорційна швидкості витрати газу (чи іншої речовини) [9]. Отже, цей метод подібний до вихрового із тілом обтікання, тому що в обох випадках забезпечується створення аеродинамічного генератора коливань.

На малюнку 4 зображено схему перетворювача витратоміра з відхиленням струменя, що витікає; де номери 1 – це трубка соплового отвору, а номери 2 та 3 – це приймальні трубки. P1 та P2 – тиски, створенні струменем.

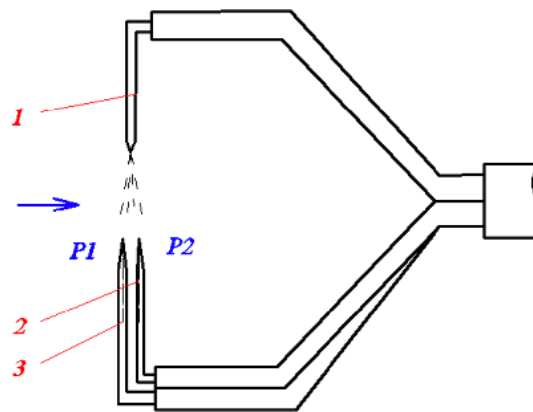


Рисунок 1.4 - Схема перетворювача витратоміра з відхиленням струменя, що витікає

### 1.3.2 Витратоміри обтікання

Витратоміри обтікання (витратоміри зі змінною площею) – це прилади для вимірювання витрати, у яких вимірювальний потік проходить через зазор (як правило, кільцеподібний) між двома елементами. Ці елементи розташовані таким чином, що динамічні сили потоку переміщують один елемент (тіло обтікання) відносно іншого, протидіючи силам (ваги або пружності), таким чином, що площа поперечного перерізу зазору зростає зі зростанням витрати. В цьому і полягає принцип роботи витратомірів обтікання. Показами цього витратоміра можуть бути як зміна величини

зміщення рухомого елемента відносно положення при відсутності течії, так і зміна перепаду тиску між обома сторонами змінної площі [8].

Найпоширеніший тип витратомірів обтікання - це витратоміри постійного перепаду; інші – витратоміри змінного тиску.

Принцип роботи витратомірів постійного перепаду тиску заснований на тому, що вертикальне переміщення поплавка (поршня) залежить від швидкості потоку, що, в свою чергу, змінює площу прохідного перерізу приладу, так щоб перепад тиску між двома сторонами поплавка (поршня) залишався постійним.

До витратомірів постійного перепаду тиску належать: ротаметри, поплавкові та поршневі витратоміри. Тому в цій дипломній роботі корисно буде коротко описати кожен із цих приладів окремо.

Першим із пристроїв, що буде оглядатися стане – ротаметр. Ротаметр представляє з себе вертикально розміщену довгу конічну трубку, всередині якої під дією низхідного потоку рухається поплавок. Поплавок рухається до тих пір, поки площа круглого отвору між поплавком і внутрішньою поверхнею конічної трубки не стане такого розміру, що перепад тиску між протилежними поверхнями поплавка буде дорівнювати розрахунковому перепаду тиску. В цьому випадку сили, що діють на поплавок врівноважуються і поплавок встановлюється на висоті, що відповідає постійній швидкості потоку. Тому для визначення витрати, за допомогою ротаметра, необхідно виміряти висоту, на якій поплавок зупинився. Бо як відомо, швидкість потоку прямопропорційна до кількості витрати у трубопроводі.

На рисунку 6 показано принцип роботи ротаметра та шкалу, на якій можна точно виміряти швидкість потоку. Зазвичай у верхній частині поплавка вирізається похилий (шпонковий) паз, який дозволяє поплавку обертатися навколо власної осі. Коли поплавок обертається, він розташовується в центрі трубки і не контактує зі стінками, це підвищує точність вимірювання.

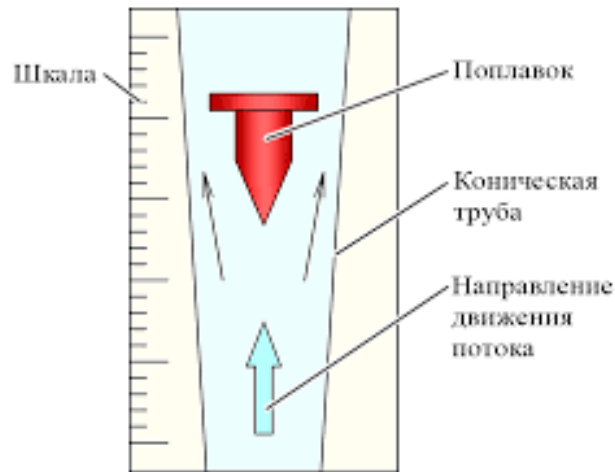


Рисунок 1.5 – Принцип дії ротаметра

Перевагами ротаметра є те, що вони прості за конструкцією, надійні у використанні та мають широкий діапазон вимірювання. Недоліками таких приладів є те, що вони повинні бути встановленні вертикально, висота поплавкового індикатора залежить від щільності та в'язкості середовища, такі конструкції складно використовувати в автоматизованому обладнанні, оскільки потрібне візуальне зчитування показників, а оптично можна зчитувати лише прозорі рідини.

Наступним приладом в групі витратомірів постійного перепаду тиску є витратомір поплавкового типу. Поплавковий витратомір постійного перепаду тиску складається (рис.7) з поплавка 1 та конічного сідла 2 в корпусі приладу (рис.7). Конічне сідло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра. Різниця полягає в тому, що довжина і діаметр сідла приблизно рівні, а тоді як у ротаметрів довжина конічної трубки значно більша за її діаметр. Поплавок цих приладів з'єднаний жорстким стержнем із залізним сердечником або магнітом для дистанційної передачі сигналу. Хід поплавка не перевищує 40-70 мм. У комплектах з вторинними вимірювальними перетворювачами диференціально-трансформаторного типу, де основна похибка редукції становить  $\pm 2,5\%$ .

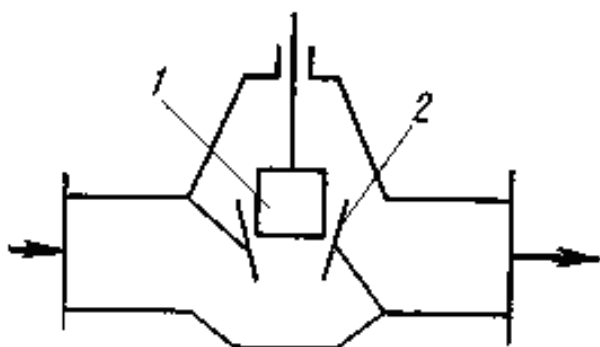


Рисунок 1.6 – Структурна схема поплавкового витратоміра

Перевагою поплавкових витратомірів є відносно проста конструкція. Недоліками є відносно низький робочий тиск (до 6,27 МПа) і відносно висока похибка вимірювання (від верхньої межі вимірювання).

Іншим приладом, що належить до групи витратомірів постійного перепаду тиску, є поршневий витратомір. У поршковому витратомірі (рис. 8) чутливим елементом є поршень 1, що рухається у втулці 2, під дією перепаду тиску. Втулка має вхід 5 і вихід 4, яка являє собою діафрагму змінного перерізу. Поршень за допомогою штока з'єднаний з сердечником передавального перетворювача 3. Речовина, що вимірюється, протікає під поршнем, піднімається і виводиться через отвір у втулці. Чим вище швидкість потоку, тим вище піднімається поршень, відкриваючи все більшу частину отворів у гільзі. Перепад тиску на поршні залишається постійним.

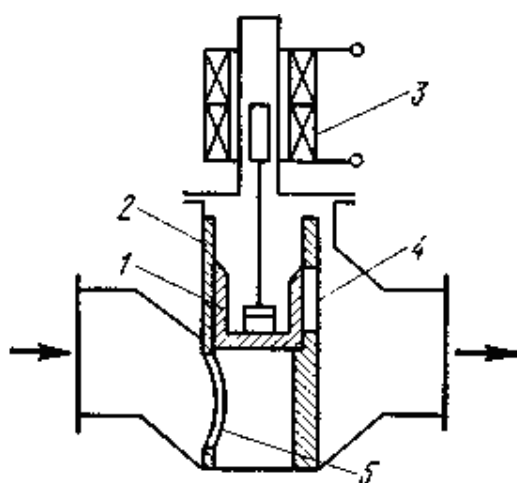


Рисунок 1.7 – Структурна схема поршневого витратоміра

До переваг поршневих витратомірів можна віднести легкість перемикання на різні діапазон вимірювання шляхом зміни маси вантажу, що діє на поршень, і можливість вимірювання витрати рідин, що містять механічні домішки.

Інша група витратомірів обтікання - це витратоміри зі змінним перепадом тиску. До цієї групи відносяться поплавково-пружинні витратоміри і пластинчасті витратоміри. Принцип дії цих витратомірів заснований на русі тіла обтікання, що характеризується величиною тиску або сили, прикладеної до тіла потоку і врівноваженої силою від динамічного тиску потоку на тіло, яка є функцією втрати маси. До цієї групи витратомірів відносяться прилади, в яких сил закриття отвору, забезпечується пружиною, а не силою тяжіння, і витратомір може бути встановлений горизонтально (поплавково-пружинні витратоміри), а також ті витратоміри, в яких витрата визначається кутом повороту лопаті або величиною сили реакції, врівноваженої тиском потоку (пластинчасті витратоміри).

Поплавково-пружинні витратоміри – це пристрої з поплавком або поршнем, прикріпленим до пружини, де динамічний тиск потоку долає вагу рухомого елемента, а також силу пружності пружини. Застосування таких конструкцій дуже різноманітне і може бути як вертикальним (рис. 9), так і горизонтальним (рис.10).

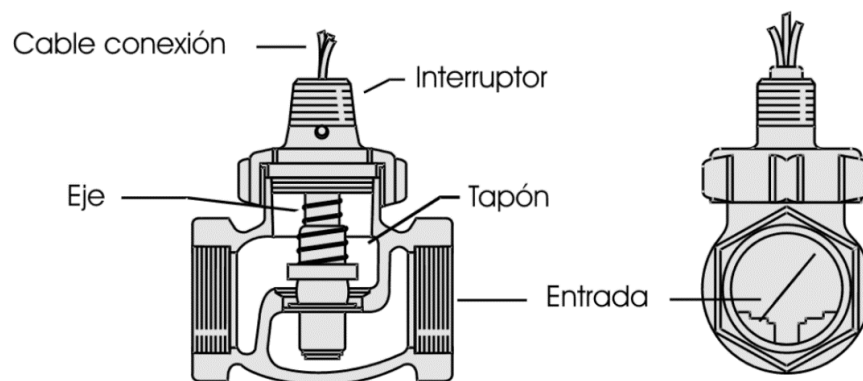


Рисунок 1.8 – Поплавково-пружинний витратомір з вертикально розміщеним поплавцем

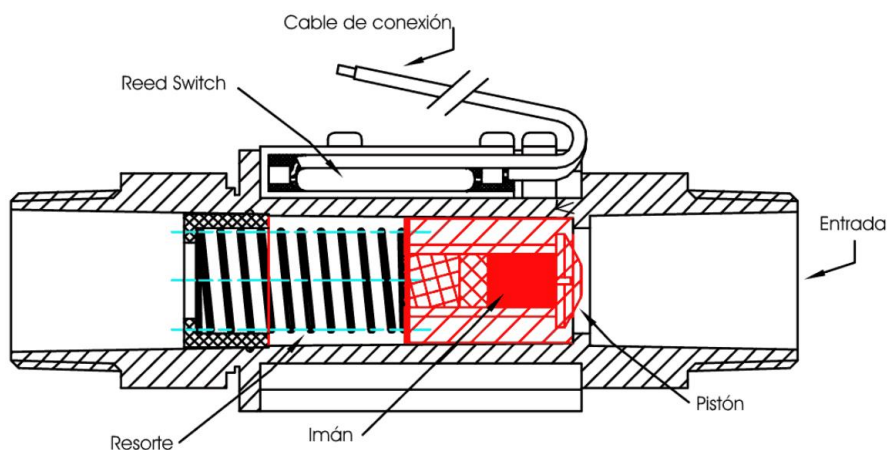


Рисунок 1.9 – Попларково-пружинний витратомір з горизонтально розміщеним поплавцем

До переваг поплавково-пружинних витратомірів можна віднести можливість значного розширення максимального діапазону вимірювання та легкість переходу на інші діапазони вимірювання шляхом заміни пружини.

Пластинчастий витратомір (рис.11) – це така конструкція, яка реалізується шляхом підвішування на трубопроводі лопаті, яка сприймає гідродинамічний тиск рідини чи газу. Витрата такого пристрою вимірюється за кутом повороту лопаті або за величиною сили реакції, яка стабілізує тиск потоку. Залежно від типу сили протидії, витратоміри можна розділити на витратоміри з вантажним і з пружинним балансуванням, а також на компенсаційні: з пневматичним чи електромагнітним зрівноваженням.

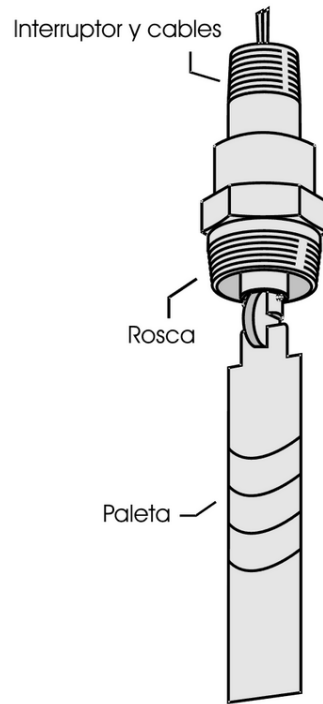


Рисунок 1.10 – Пластинчастий витратомір

Перевагами цього типу витратомірів є широкий діапазон вимірювань (1:20), здатність працювати з потоком в обох напрямках, можливість вимірювати високі витрати навіть при високих температурах і в жорстких умовах експлуатації, а також мають відмінні динамічні характеристики. До недоліків слід віднести: потенційну вібрацію внаслідок утворення вихорів, боротьба з якими ускладнює конструкцію.

### 1.3.3 Витратоміри змінного рівня

Так звані витратоміри змінного рівня реалізують відому залежність витрати рідини, від висоти. Принцип дії таких приладів заснований на залежності між витратою і висотою рівня рідини в посудині, через яку рідина безперервно вливається і виливається через отвори в днищі або бічних стінках посудини.

Посудина є відкритою, якщо рідина тече по трубі у відкритий контейнер, або закритою, якщо посудина, в яку тече рідина, знаходиться під

тиском. Витратоміри можуть мати повністю або частково затоплений отвір. В першому випадку отвір, як правило, круглий і розташований на дні посудини (іноді отвір може бути розташований внизу бічної стінки). У другому випадку отвір для витоку знаходиться на боковій стінці посудини і має форму щілини. З цієї причини такі витратоміри також називають щілинними витратомірами. Посудина, в якій знаходиться отвір для витоку, може бути рухомою або нерухомою, як у випадку з більшістю витратомірів цього типу. В останньому випадку вага посудини завжди вимірюється по відношенню до висоти посудини і, таким чином, до витрати рідини.

Витратоміри зі змінним рівнем (зазвичай щілинні) використовуються для безперервного вимірювання витрати агресивних рідин, пульп, суспензій, стічних вод, забруднених рідин і газорідних сумішей (нафтогазових сумішей).

На малюнку 12 зображено структурну схему щілинного витратоміра, де: а – загальна схема щілинного витратоміра; б – прямокутний пульпозлив; в – пропорційний пульпозлив; 1 – живильний патрубков; 2 – витратомірний бак; 3 – перегородка заспокоювання; 4 – перегородка з щілиною витоку; ДР – датчик рівня; ВП – вторинний реєструючий прилад.

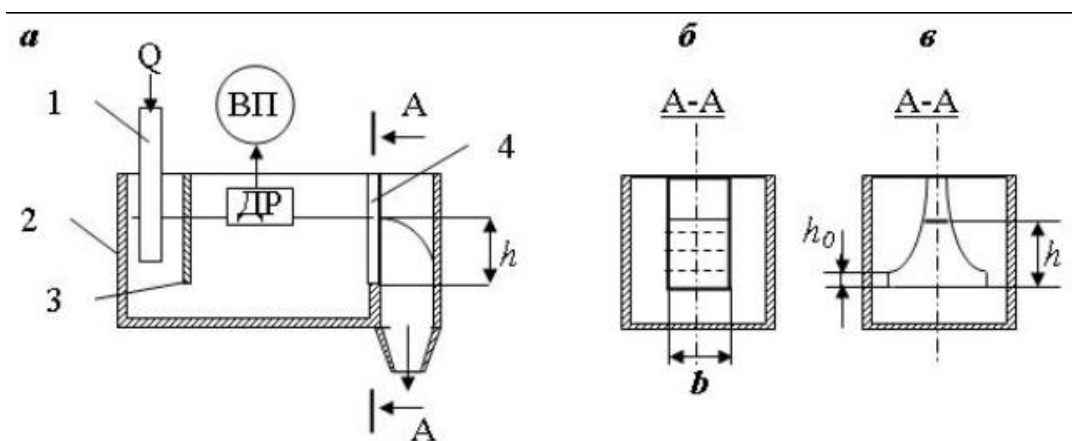


Рисунок 1.11 – Структурна схема щілинного витратоміра

### 1.3.4 Тахометричні витратоміри

Тахометричні витратоміри – це прилади з рухомим елементом (здебільшого обертовий), швидкість якого пропорційна об'ємній витраті. Принцип дії тахометричного витратоміра заснований на вимірюванні швидкості обертання або підрахунку кількості обертів крильчатки або турбіни, розміщеної в потоці. Різниця між крильчаткою і турбіною полягає в тому, що вісь обертання крильчатки перпендикулярна до напрямку потоку, в той час як вісь обертання турбіни паралельна напрямку потоку.

Тахометричні витратоміри можна поділити на: швидкісні (турбінні та кулькові); роторно-кулькові; камерні (інші назви: діафрагмові або мембрані). Тому, в цій роботі, слід розглянути кожен з них окремо.

Турбінні тахометричні витратоміри (рис. 13) використовуються для вимірювання витрати рідин у широкому діапазоні в'язкості, відкалібровані відповідно до в'язкості. Вимірювання поширюється на загальний об'єм рідини, що протікає через заданий поперечний переріз.

Механіка сучасних турбінних витратомірів полягає в тому, що вони вимірюють швидкість рідини (або пари чи газу), що протікає через трубопровід. На шляху рідини (що протікає всередині витратоміра) розміщується рухоме колесо (ротор), а швидкість обертання ротора пропорційна швидкості потоку. Швидкість обертання лопатей ротора вимірюється індуктивним датчиком. Коли струм протікає через обмотки, тоді генерується електромагнітне поле, яке посилюється металевим осереддям. Коли лопоті турбінного колеса потрапляють в електромагнітне поле індуктивного датчика, це поле посилюється, в результаті чого виникає електромагнітний імпульс, який передається по телекомунікаційній лінії на вторинний прилад (лічильник). Частота напруги, яка відображається на вторинному приладі, пропорційна швидкості потоку (витраті) вимірюваного середовища.

На рисунку 13 зображено загальну будову сучасного турбінного витратоміра, де: 1 – корпус; 2 – калібрований канал; 3 – гідравлічну турбіну; 4 – підшипникові опори; 5 – магнітні вставки; 6 – турбулізуючий елемент; 7 – стяжні хомути; 8 – трубопровід; 9 – геркон; 10 - джерело живлення; 11 – вторинний пристрій (лічильник).

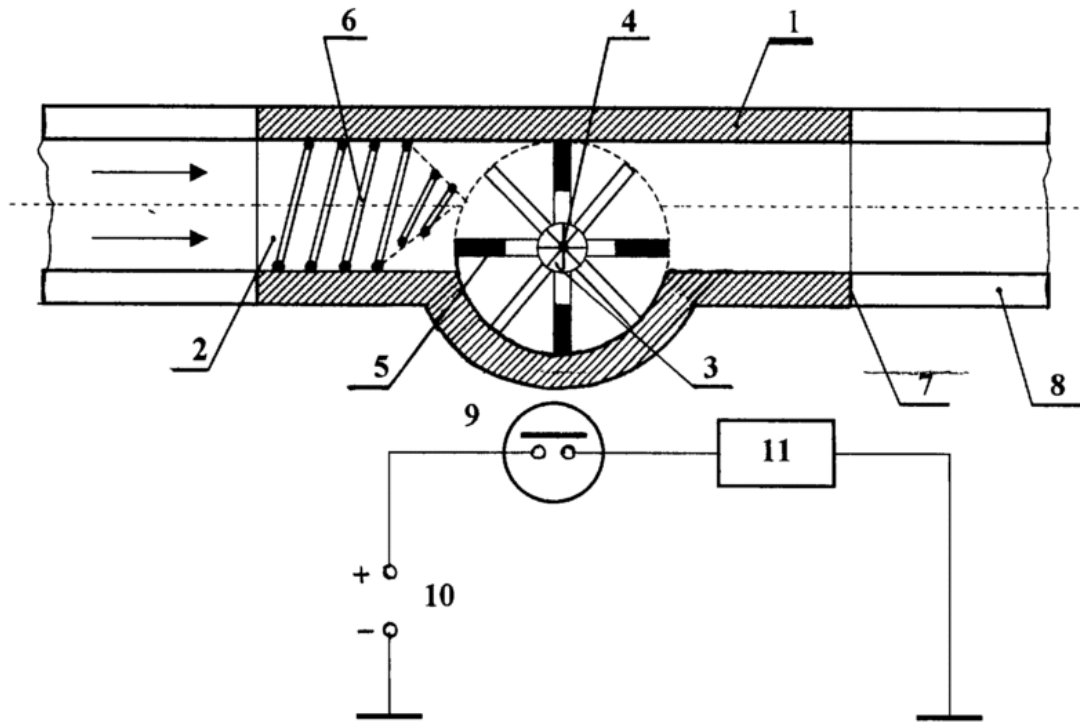


Рисунок 1.12 – Загальна будова сучасного турбінного витратоміра

Тахометричні турбінні витратоміри є одними з найчутливіших приладів для вимірювання втрат рідини. Похибка цих приладів становить приблизно 0,5-1%.

До переваг приладів даного типу можна віднести: простоту конструкції; високу чутливість; можливість вимірювання великих і малих витрат. Істотними недоліками цього типу є: швидке зношування; високий опір; необхідність індивідуального калібрування з використанням градуйованих одиниць вимірювання витрати.

Кульковими витратомірами - це тахометричні витратоміри з кулькою в якості рухомого елемента, яка безперервно рухається по колу. Кулька приводиться в рух гвинтовим напрямним апаратом, який закручує потік, чи

тангенціальним потоком вимірювальної речовини. Принципова схема кулькового витратоміра для великих і малих витрат показана на рисунку 14.

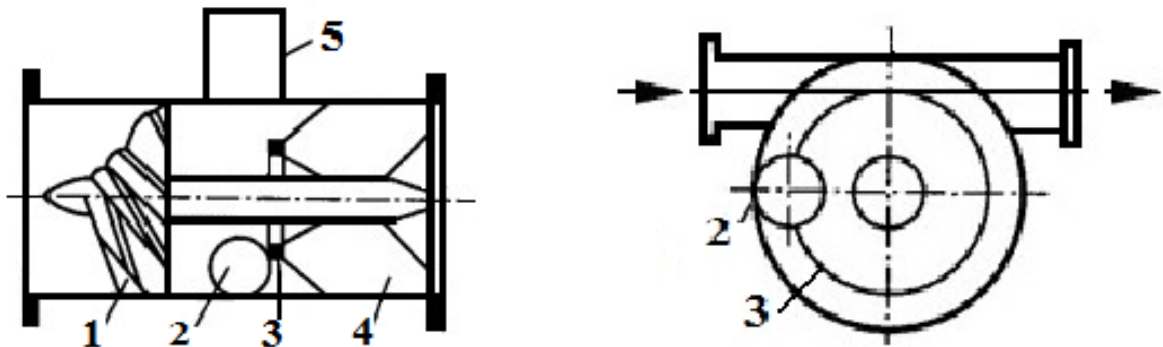


Рисунок 1.13 – Схеми кулькових витратомірів для велики і невеликих витрат

У першій схемі на малюнку 14, потік рідини, що обертається в гвинтовому напрямку формують формуювачем 1, переміщує кульку 2 по колу. Переміщенню кульки вздовж труби перешкоджає обмежувальне кільце 3, за яким знаходиться струменевий випрамляч 4, що вирівнює обертаний потік. Кулька притискається до внутрішньої поверхні труби відцентровими силами, а до обмежувального кільця – осьовою складовою швидкості потоку. Це означає, що кулька подолати сили в'язкого тертя рідини, а також сили тертя об поверхню труби і обмежувального кільця. В результаті центральна швидкість кульки відстає від відповідної кругової швидкості рідини чи іншої речовини. Це необхідно враховувати при розрахунку витратоміра. На зовнішній стороні немагнітного корпусу витратоміра розташований тахометричний перетворювач 5 для перетворення частоти обертання кульки в частотний електричний сигнал, який використовується для визначення швидкості потоку.

Друга схема на рисунку 14 показує протитечійну конструкцію кулькового витратоміра, що застосовується для малих витрат. У цій конструкції немає спеціального елемента, що формує потік, а круговий рух кульки спричинений тангенціальним потоком вимірюваної рідини. Частота, з якою кулька обертається по колу, виробляє вихідний сигнал, який визначає

швидкість потоку. Цей метод також включає в себе обмежувальне кільце, яке не перешкоджає переміщенню кульки вздовж труби.

Перевагою кулькових витратомірів є те, що вони можуть вимірювати високі та середні витрати. До недоліків можна віднести: опір рухомих частин і негнучкість умов вимірювання.

Роторно-кулькові витратоміри є відносно новими і менш поширеними. У цих витратомірах, на відміну від кулькових, чутливий елемент обертається навколо своєї осі під впливом потоку вимірюваної рідини, а не рухається по колу. Перевагами цих приладів є простота конструкції і можливість вимірювання витрати рідин, що містять механічні домішки. Однак вони мають наступні недоліки: чутливий рухомий елемент може застрягти в отворі вздовж осі потоку і припинити своє обертання; збільшення амплітуди коливань рухомого елемента, що призводить до ударів об стінки вимірювальної камери; складність із забезпечення достовірності перетворення частоти обертання рухомого елемента в частотний вихідний сигнал.

Камерними називають тахометричні витратоміри, що мають один або кілька рухливих елементів, які вимірюють заданий об'єм рідини або газу під час їхнього руху. Зазвичай ці рухомі частини рухаються безперервно зі швидкістю, пропорційною об'ємній витраті, і тому вони належать до об'ємних витратомірів.

Камерні витратоміри доступні в різних конструкціях. Для рідин застосовують прилади з овальними шестернями, барабанні лопатеві, поршневі, перекидні та інші. Для вимірювання великих кількостей газу в основному використовують ротаційні витратоміри, а барабанні використовуються для лабораторних вимірювань та вимірювань невеликих кількостей газу.

В цій дипломній роботі розглянемо найпоширеніший камерний витратомір – з овальними шестернями. На малюнку 15 а) зображено схему витратоміра з овальними шестернями. Він складається з двох однакових

овальних шестерень 1 та 2, що знаходяться в зачепленні і обертаються в протилежні сторони під дією перепаду тиску рідини, що протікає через корпус 3. Обидві шестерні знаходяться в безперервному зачепленні і при обертанні шестерні обкатуються своїми бічними поверхнями.

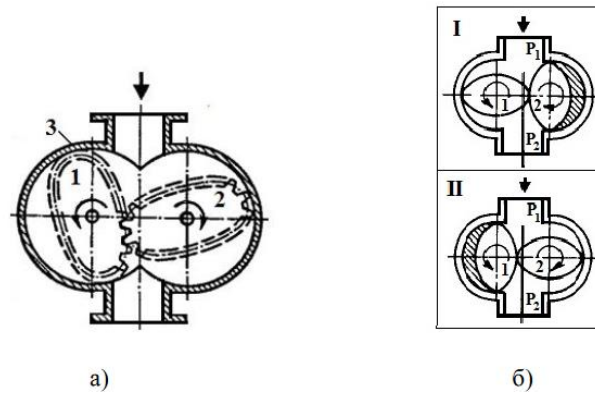


Рисунок 1.14 – Схема витратоміра з овальними шестернями

Зазор між вершинами зубців шестерень і між стінкою камери і поверхнею шестерень повинен бути мінімальним, щоб вимірювана рідина не текла безпосередньо від входу до виходу витратоміра. Різниця тисків  $P_1 - P_2$  в трубі ( $P_1$ - тиск рідини до витратоміра,  $P_2$ - тиск після витратоміра) призводить до виникнення сили, яка і обертає шестерні.

Коли рідина проходить через витратомір, вона втрачає частину своєї енергії, що призводить до обертання еліптичної шестерні. Залежно від положення шестерень відносно входу потоку рідини, кожна шестерня поперемінно є ведучою або веденою. У положенні I (рис.15 б) перепад тиску створює крутий момент на овальній шестерні 2, що змушує цю шестерню обертатися за годинниковою стрілкою, а шестерню 1 змусить обертатися проти годинникової стрілки. В цьому положенні шестерня 2 відсікає певну кількість рідини. В положенні II все буде навпаки, ніж у положенні I. За один оберт шестерні відсікають чотири об'єми рідини, сума яких дорівнює об'єму вимірювальної камери.

До переваг камерних витратомірів можна віднести: широкий діапазон параметрів; можливість вимірювання конкретних об'ємів; похибка показань не перевищує 0,5%.

### 1.3.5 Осцилюючі витратоміри

Осцилюючі витратоміри – це прилади, для вимірювання витрати (швидкості потоку), принцип дії яких заснований на підрахунку вихрових «доріжок Кармана» (на честь дослідника Теодора фон Кармана). До таких витратомірів відносяться прилади вихрового типу, принцип дії яких базується на «ефекті Кармана». Згідно з яким, при проходженні нерухомого твердого об'єкта через керований потік середовища, тоді за об'єктом утворюється вихрова траєкторія, що складається з вихорів, які по чергово відриваються від протилежних сторін тіла. Тому, хоча в цій дипломній роботі аналізуються осцилюючі витратоміри, доцільно також розглянути вихрові витратоміри.

Частота утворення і зриву вихорів за тілом пропорційна швидкості потоку та розміру тіла обікання. Якщо характерний розмір тіла постійний, то частота пропорційна швидкості потоку, а значить і об'ємній витраті. Тіла обікання можуть мати різну форму, наприклад: трикутну, трапецеподібну, круглу чи прямокутну тощо.

Залежно від методу, який використовується для визначення частоти вихорів, такі витратоміри можна розділити на: вихрові прилади і вихро-акустичні. Розглянемо кожен з них окремо.

Вихрові витратоміри, що використовують п'єзоелектричні датчики, створюють вихровий рух, розміщуючи на шляху потоку рідини, газу або пари тіло обікання, як правило, з трапецевидним або трикутним перетином. Такі витратоміри складається з двох основних компонентів: первинного перетворювача і вторинного перетворювача (електронного блоку обробки сигналу). При цьому первинний перетворювач включає в себе вихровий

перетворювач (тіло обтікання) і пристрій детектування вихорів (датчик/сенсор). Датчик або сенсор встановлюється позаду або всередині корпусу потоку для виявлення вихорів. У таких витратомірах можуть використовуватися різні варіанти перетворення вихрових коливань потоку у вихідний сигнал.

У вихровому витратомірі, показаному на малюнку 16, частоти генерації вихорів визначається за допомогою двох п'єзоелектричних перетворювачів, які реєструють коливання тиску в області формування вихорів. У корпусі проточної частини давача розміщені первинні перетворювачі об'ємної витрати, надлишкового тиску і температури.

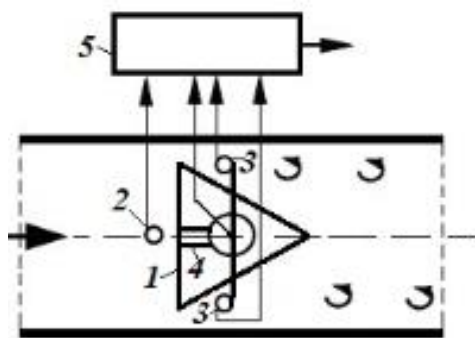


Рисунок 1.15 – Схема вихрового витратоміра з п'єзоелектричними перетворювачами

На малюнку вище: 1 – тіло обтікання; 2 – перетворювач надлишкового тиску; 3 - п'єзоелектричні перетворювачі пульсацій тиску; 4 – термодатчик; 5 – мікропроцесорний пристрій та приклад промислового витратоміра.

До переваг вихрових витратомірів можна віднести те, що в них відсутні рухомі частини усередині трубопроводу, і вони надають можливість вимірювання витрат забруднених та агресивних потоків рідини, пари та газу. Недоліками цих витратомірів можна відзначити значні втрати тиску, та непридатність до вимірювання потоків, що рухаються з малою швидкістю.

У вихроакустичних витратомірах в якості тіла обтікання застосовується призма трапецеподібного перерізу, а для виявлення вихорів використовують

ультразвуковій пристрої. Схема вихроакустичного витратоміра показана на малюнку 17, де: 1 – тіло обтікання; 2 – п'єзовипромінювач; 3 – п'єзоприймач; 4 – генератор; 5 – фазовий детектор; 6 – електронний блок.

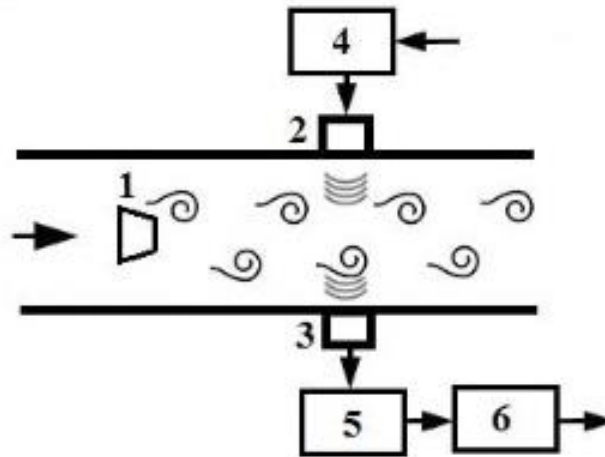


Рисунок 1.16 – Схема вихроакустичного витратоміра

Завдяки високій точності цього типу приладів, вони також можуть застосовуватися для вимірювання малих витрат. Однак залежність точності вимірювань температури середовища (особливо, у випадку, газів) і вплив механічних і газових забруднень на процес вимірювання, обмежують сферу застосування цих витратомірів, до чистих рідин і невеликої кількості газів.

### 1.3.6 Інерційні витратоміри

Інерційними витратомірами, також відомий як силовий витратомір, - це прилад, який прикладає до потоку постійну силову дію у відповідь на масову втрату потоку і вимірює параметри, що характеризують величину цієї дії (або ефекту від дії). Прискорення потоку відбувається в процесі зміни його початкового руху. Залежно від характеру цієї зміни і результуючого прискорення, інерційні витратоміри можна розділити на: коріолісові, гіроскопічні та турбосилові. Розглянемо лише два витратоміри із цієї групи, а саме – коріолісовий та гіроскопічний.

Витратомір Коріоліса (названий на честь фізика Гаспара Каріоліса) – це прилади, в яких під дією сили, пропорційної масовій витраті, в перетворювачі виникає прискорення Коріоліса. Прискорення Коріоліса (обертальне прискорення) – це частка повного прискорення об'єкта, яка виникає, коли об'єкт рухається в системі відліку, що обертається. Сили Коріоліса виникають у коливальних системах, коли рідина або газ рухаються в напрямку або проти осі коливань.

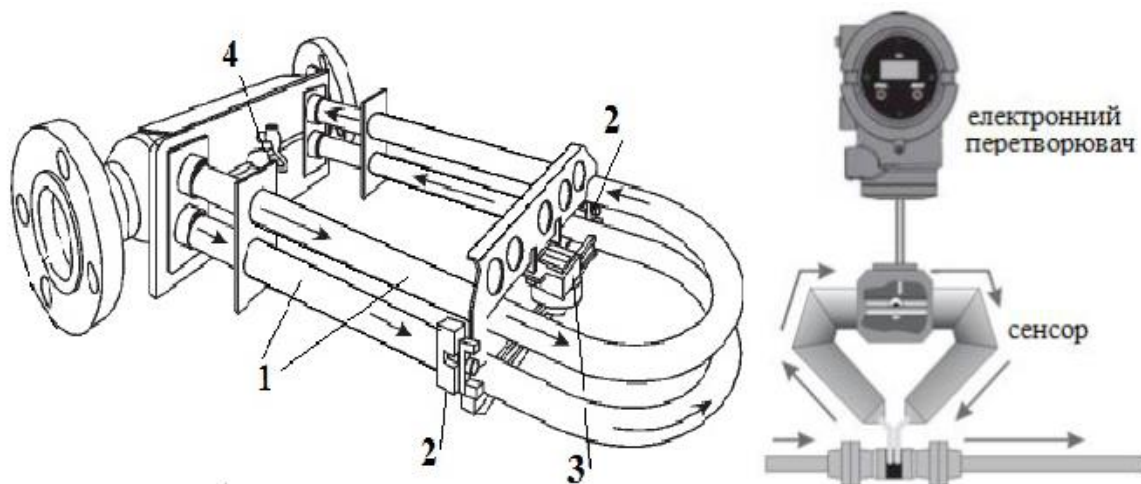


Рисунок 1.17 – Схема витратоміра Коріоліса

На малюнку 18 зображено схему витратоміра Коріоліса, де: 1 – вимірювальні трубки; 2 – детектор швидкості; 3 задавальна котушка; 4 – термодатчик.

Основними перевагами витратомірів Коріоліса є те, що вони забезпечують високоточне вимірювання параметрів протягом тривалого періоду часу, можуть працювати незалежно від напрямку потоку, надійно працюють в умовах вібрації (коливань) трубопроводу, і не потребують періодичного перекалібрування та регулярного технічного обслуговування.

Гіроскопічними витратоміри – це пристрої, які генерують залежні від потоку гіроскопічні моменти і здійснюють вимірювання під дією зовнішніх сил. Первинний перетворювач такого приладу складається з круглої або

іншої форми закільцованох ділянок труби, яка обертає провідний вал з постійною кутовою швидкістю навколо осі.

#### 1.4 Витратоміри на основі хвильових явищ

Хвильові витратоміри – це пристрої, які використовують хвильові явища для вимірювання витрати. Ці витратоміри можна розділити на дві підгрупи: ультразвукові (акустичні) та оптичні. Тому в цій дипломній роботі, доцільно розглянути кожен з цих двох підгруп окремо.

##### 1.4.1 Ультразвукові (акустичні) витратоміри

Ультразвукові витратоміри – це пристрої, які використовують акустичні коливання для вимірювання витрати рідини або газу (більшість акустичних витратомірів використовують ультразвуковий діапазон). Принцип їх дії базується на вимірюванні певних ефектів, пов'язаних з потоком, які виникають при проходженні акустичних (ультразвукових) коливань через потік рідини або газу. Дані прилади можна розділити на наступні групи: витратоміри, засновані на русі акустичних коливань у рухомому середовищі; витратоміри, засновані на ефекті Доплера (названого на честь фізика Крістіана Доплера).

Найпоширенішим витратоміром цієї групи є пристрій, який вимірює різницю в часі між акустичними коливаннями в напрямку потоку і в протилежному напрямку також. Рідше зустрічаються витратоміри, які направляють акустичні коливання перпендикулярно потоку і вимірюють ступінь відхилення коливань від початкового напрямку. Прилади, засновані на ефекті Доплера, в першу чергу, призначені для вимірювання локальних швидкостей потоку, що прямопропорційно вимірюванню витрати.

Ультразвукові витратоміри з вимірюванням різниці часу проходження акустичних коливань, принцип роботи таких приладів засновано на

вимірюванні різниці часу проходження ультразвукових (акустичних) коливань за потоком і проти нього. На малюнку 19 можна побачити схему ультразвукового витратоміра з вимірюванням різниці часу, де: джерела випромінювання ( $B_{1,2}$ ) і приймачі ( $\Pi_{1,2}$ ) ультразвуку (п'єзоелементи) встановлені зі зміщенням – на відстані  $L$  одне від одного.

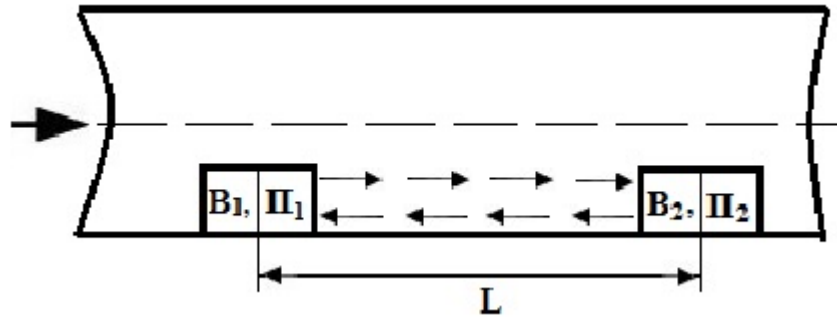


Рисунок 1.18 – Схема ультразвукового витратоміра з вимірюванням різниці часу

Існує також кілька методів вимірювання різниці в часі в таких витратомірах: фазовий метод (фазові витратоміри), де вимірюється різниця між зсувами фаз акустичних коливань перед і після потоку; частотний метод (частотні витратоміри), який вимірює різницю між частотою повторення коротких імпульсів акустичних коливань, до потоку і після нього; і нарешті, останній метод - за кількістю акустичних каналів вимірювання (променів), цей метод включає в себе: одноканальні (однопроменеві), двоканальні (двопроменеві) і багатоканальні (багатопробеневі).

Ультразвукові витратоміри з вертикальним (перпендикулярним) напрямком акустичних коливань, засновані на вимірюванні зміщення потоком ультразвукових хвиль, спрямованих перпендикулярно до напрямку потоку контрольованої речовини. Величина зміщення акустичної хвилі від перпендикулярного напрямку залежить від швидкості потоку контрольованої речовини. Принципова схема ультразвукового витратоміра, що випромінює акустичні коливання перпендикулярно до осі труби, по якій протікає контрольована речовина, показано на малюнку 20. На тому ж рисунку:

а – схема витратоміра за одним приймальним п'єзоелементом; б – схема з двома приймальними п'єзоелементами; 1 - генератор; 2 – випромінювальний п'єзоелемент; 3,5 – приймальні п'єзоелементи; 4 – підсилювач.

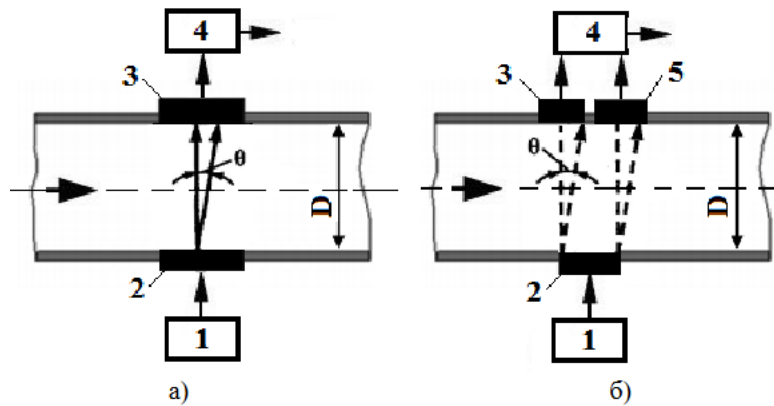


Рисунок 1.19 – Схема ультразвукового витратоміра з перпендикулярним випромінюванням

Витратоміри на основі ефекту Доплера, такі прилади використовують ефект Доплера. Він полягає у зміні частоти при відбитті хвиль від рухомого об'єкту (частинок потоку). Зміна частоти відбитого сигналу дозволяє вимірювати витрату, яка пропорційна швидкості потоку. Об'єктами, що відбивають сигнал детектування в потоці рідини, є різні домішки, включення і бульбашки (рідини чи газу), а витратомір відстежує їх швидкість.

Принципова схема доплерівського ультразвукового витратоміра зображена на малюнку 21. Доплерівський ультразвуковий витратомір має передавальний п'єзоелемент 1, який випромінює гармонійний ультразвуковий сигнал у вимірювальне середовище. Приймальний п'єзоелемент 2 приймає сигнал, відбитий від неоднорідності потоку з доплерівським зсувом частоти.

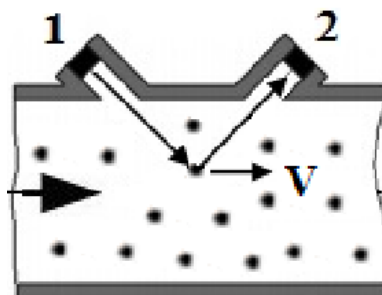


Рисунок 1.20 – Принципова схема доплерівського ультразвукового витратоміра

#### 1.4.2 Оптичні витратоміри

Оптичні витратоміри (також їх звать - лазерними) – це прилади, принцип дії яких заснований на залежності витрати від певних оптичних ефектів у потоці. Їх можна розділити на кілька типів:

- Доплерівські оптичні витратоміри, засновані на вимірюванні різниці частот, що виникає при відбитті оптичного променя від рухомих частинок у потоці;
- Витратоміри на основі ефекту Фізо-Френеля (названі на честь двох фізиків – Луї Фізо і Огюстена Френеля), які вимірюють певні параметри (зсуви в інтерференційній смузі або зсуви частот світла), пов'язані із залежністю швидкості світла в рухомому прозорому об'єкті дослідження, від швидкості того ж об'єкта;
- Витратоміри засновані на спеціальних оптичних ефектах. Наприклад, властивості оптичного волокна залежать від швидкості потоку навколишнього середовища.

Оптичні витратоміри також називають лазерними, оскільки їх розвиток став можливим після створення потужних оптичних квантових генераторів (ОКГ). Лазерні витратоміри мають багато інших переваг: вони точні, швидкі, чутливі і не контактують з вимірюваним середовищем. Вони використовуються тільки для оптично-прозорих рідин (наприклад: вода, спирт, деякі кислоти та багато іншого).

#### 1.5 Електромагнітні витратоміри

Електромагнітні витратомір – це пристрої, принцип дії яких ґрунтується на законі електромагнітної індукції (закон Фарадея); при русі

провідника в магнітному полі створюється електрорушійну силу (далі - ЕРС), пропорційна швидкості провідника. Напрямок струму, що генерується в провіднику, перпендикулярний до напрямку руху провідника і до силових ліній магнітного поля. В електромагнітному витратомірі провідником є електропровідна рідина (електроліт), яка протікає в трубопроводі між полюсами магніту і впоперек магнітного поля, створеного магнітом. Для визначення витрати в такому витратомірі необхідно визначити ЕРС, пропорційну швидкості електроліту.

Принципова схема електромагнітного витратоміра наведена на малюнку 22, де: а – витратомір з постійним магнітом; б – з електромагнітом; в – об'ємне зображення витратоміру; 1 – трубопровід; 2 – електромагніт; 3 – електроди; 4 – вимірювальний прилад.

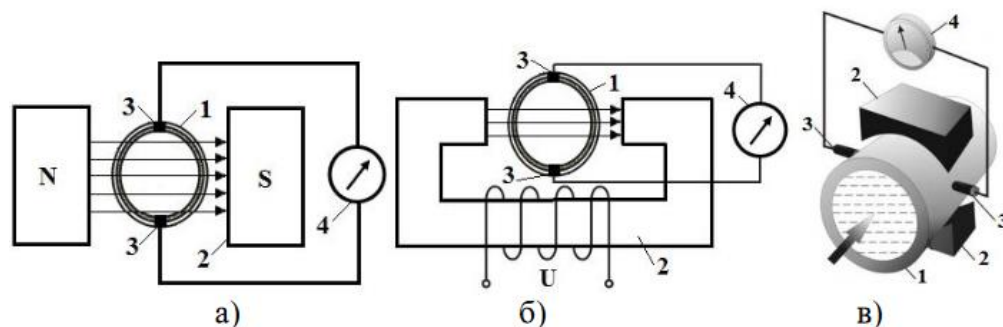


Рисунок 1.21 – Принципова схема електромагнітного витратоміра

У таких витратомірах ділянку трубопроводу 1 (перпендикулярно до напрямку магнітних силових ліній) з потоком контрольованої рідини яка виготовлена з немагнітного матеріалу і всередині покрита електроізоляційним матеріалом (наприклад: емаль, склопластик, фторпластик тощо), розміщується між полюсами магніту 2 (а) або електромагніту 2 (б). Два електроди 3 встановлюються в стінку трубопроводу (труба з висотою, що дорівнює її внутрішньому діаметру), на одній ділянці перпендикулярно до напрямку потоку рідини, так і до напрямку Високочутливий вимірювальний прилад 4 (потенціометр або мілівольтметр) з'єднується з

електродом за допомогою з'єднувального провідника. Шкала витратоміра відображається в одиницях витрати або в одиницях швидкості.

Електромагнітні витратоміри мають такі основні переваги: лінійність шкали; можливість використання в трубах будь-якого діаметру; висока точність, що не залежить від температури, в'язкості та густини рідини; висока швидкодія (це особливо важливо при використанні у високошвидкісних системах вимірювання та контролю витрати); можливість вимірювання витрат агресивних середовищ з високою в'язкістю та абразивних рідин; та багато інших. Однак електромагнітні витратоміри не підходять для вимірювання витрати газів, парів, і діелектричних рідин (спиртів та нафтопродуктів).

### 1.6 Міткові витратоміри

Мітковими витратомірами - це прилади засновані на вимірюванні часу проходження характерних частинок (міток) в потоці на контрольованій ділянці шляху. Мітки в потоці, зазвичай, створюються штучно. Мітки можуть бути: іонізуючими, тепловими, радіоактивними, фізико-хімічними, ядерними або магнітними. Залежно від мітки, витратоміри також бувають іонізаційними, тепловими, концентраційними або іншими. Більшість міткових витратомірів спрацьовують при введенні стороннього індикатора (газового індикатора при вимірюванні витрати газу, або розчину солі при вимірюванні витрати рідини), в той час як деякі інші прилади, цього типу, формують мітку в самому потоці, без введення сторонньої речовини.

Принцип дії міткових витратомірів базується на вимірюванні швидкості мітки або її положенні при проходженні між двома фіксованими поперечними перерізами потоку (детекторами). Міткові витратоміри мають один або два детектора мітки.

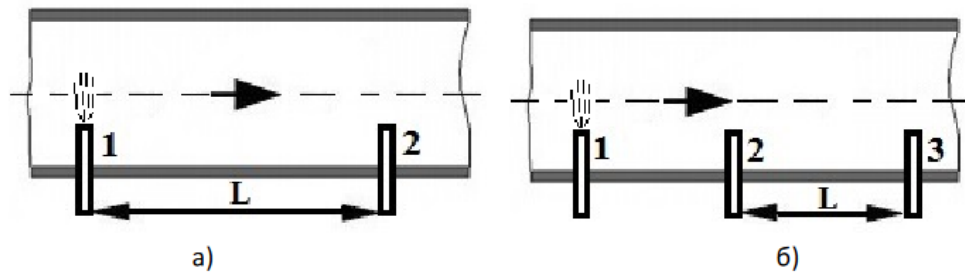


Рисунок 1.22 – Схеми міткових витратомірів

На малюнку 23 зображено схеми міткових витратомірів, де: а – витратомір з одним детектором; б – з двома детекторами; 1 – місце ведення мітки; 2,3 – детектори. У першому випадку (рис. 23 а) контрольною відстанню  $L$  є відстань від місця ведення мітки 1 до детектора 2, у другому (рис. 23 б) – відстань між двома детекторами 2 і 3.

За принципом дії міткові витратоміри можна розділити на іонізаційні, теплові та концентраційні. Тому в цій роботі є доречним розглянути всі три типи приладів більш детально.

### 1.6.1 Іонізаційні витратоміри

Іонізаційними витратоміри називаються пристрої або цілі вимірювальні системи, засновані на вимірюванні залежних від потоку ефектів, що виникають внаслідок безперервної або переривчастої іонізації потоків газів, або, рідше, рідин. Ці витратоміри можна розділити на дві основні групи приладів:

- Прилади, які вимірюють залежний від потоку іонізаційний струм між електродами, що виникає в результаті безперервної штучної іонізації потоку газу або рідини за допомогою радіоактивного випромінювання або електричного поля;
- Пристрої для вимірювання часу проходження іонізаційних міток у фіксованому перерізі потоку в залежності від витрати в результаті

періодичної іонізації іонізуючим випромінюванням або електричним розрядом.

Витратоміри для радіоактивної іонізації газових потоків – це прилади, які використовують радіоактивне випромінювання в якості іонізуючого агента. Джерело іонізаційного випромінювання (далі-ДІВ)(радіоактивне джерело), що виробляє альфа- або бета-промені, може бути встановлене всередині або зовні труби. Це випромінювання іонізує потік газу, що рухається по трубі.

Але існують і інші іонізаційні витратоміри, в яких іонізатором виступає іншим випромінюванням (електричне, магнітне та інше).

У промисловості використовують іонізаційні витратоміри двох типів. У першому випадку ДІВ та електроди розташовані на фіксованій відстані вздовж осі труби з одного боку (рис. 24 а), а іонізаційний струм протікає вздовж осі труби. У другому випадку ДІВ і приймальні електроди знаходяться на протилежних сторонах труби, саме тому іонізаційний струм тече поперек труби, а не вздовж неї (рис. 24 б).

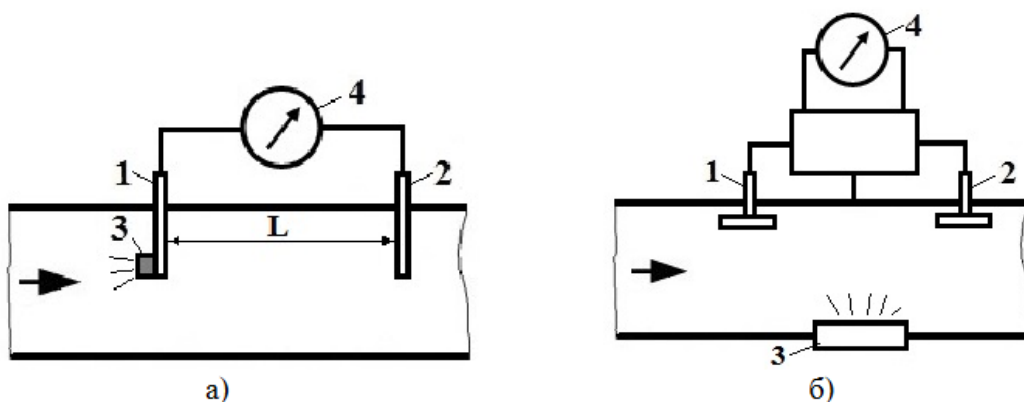


Рисунок 1.23 – Схеми іонізаційних витратомірів

На малюнку 24 зображені принципові схеми іонізаційних витратомірів, де: 1 і 2 електроди; 3 – джерело випромінювання; 4 – лічильник.

До недоліків таких витратомірів можна віднести відносно великі похиби (близько 5%), і в основному вони використовуються для вимірювання швидкості газу.

### 1.6.2 Теплові витратоміри

Теплові витратоміри – це такі пристрої, принцип дії яких заснований на вимірюванні залежного від витрати впливу тепла на потік або на об'єкти, що контактують з потоком. Вони зазвичай використовуються для вимірювання витрати газу і рідше для вимірювання витрати рідини. Теплові витратоміри розрізняють за способом нагріву (електричний нагрів, індукційний нагрів та нагрів в електромагнітному полі), розташуванням нагрівача (зовнішній або внутрішній) і характером функціонального зв'язку між витратою і вимірюваним сигналом.

Теплові витратоміри, за характером теплової взаємодії з потоком, можна розділити на калориметричні та термоанемометричні. Тому потрібно детальніше оглянути ці два витратоміри в цій дипломній роботі.

Термоанемометричні теплові витратоміри (або термоанемометри) вимірюють витрату, використовуючи залежність між швидкістю потоку і тепловіддачею чутливого елемента, розміщеного в потоці і нагрітого струмом. На малюнку 25 показана схема термоанемометру, де  $R_H$  – нагрівальний терморезистор (нагрівається струмом).

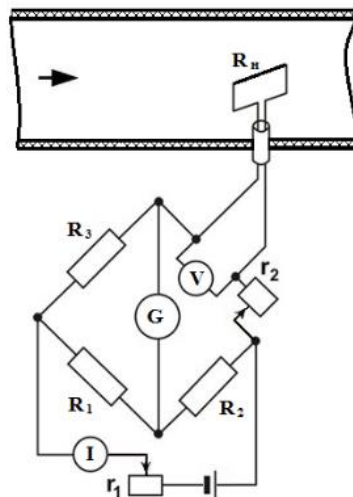


Рисунок 1.24 – Схема термоанемометричного теплового витратоміра

Перевагами цього обладнання є: швидкість, широкий діапазон вимірювання швидкості. Недоліками же є: крихкість приладу, часте закипання та досить часта заміна шкали градуювання.

Калориметричні теплові витратоміри засновані на нагріванні або охолодженні потоку зовнішнім джерелом енергії, що створює різницю температур в потоці, яка використовується для визначення швидкості потоку. Схема калориметричного витратоміра подана на малюнку 26, де: 1 – трубопровід; 2 – нагрівач; 3 – термоперетворювачі;  $t_{1,2}$  – температури.

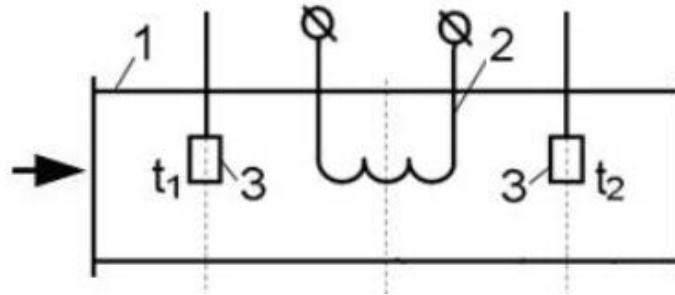


Рисунок 1.25 – Схема калориметричного теплового витратоміра

Основна перевага калориметричних витратомірів полягає в тому, що вони можуть вимірювати втрату маси газу без вимірювання тиску і густини.

### 1.6.3 Концентраційні витратоміри

Концентраційні витратоміри засновані на залежності швидкості потоку від коефіцієнта розведення індикаторної речовини, введеної в потік. Іноді їх називають витратомірами, які засновані на методі щеплення, на сольовому методі, на методі зміщування тощо. У минулому ці прилади використовувалися для вимірювання витрати води, а в якості індикатора слугував сольовий розчин, після чого почали застосовувати інші індикаторні речовини, такі як радіоізотопи.

В даний час в промисловості використовуються і реалізуються два типи концентраційних витратомірів: один тип вимірює швидкість потоку шляхом безперервного впорскування індикатора (час впорскування кілька хвили); а інший – шляхом впорскування фіксованої кількості індикатора за короткий проміжок часу (залпом). Тому в цій дипломній роботі необхідно детально розглянути ці прилади.

Принцип дії концентраційних витратомірів безперервного впорскування полягає у вимірюванні коефіцієнта розведення або кратності індикатора після його змішування з вимірюваною речовиною. Для точного вимірювання низьких концентрацій, в залежності від індикатора, використовують різні методи, включаючи: хімічне титрування, колориметричний, флуоресцентний, рефракційний, інтерферометричний, кондуктометричний.

Принципова схема концентраційного витратоміра з безперервним введенням індикатора показана на малюнку 27, де: 1 – трубопровід; 2 – посудина; 3 – насос дозатора; кондуктометричний перетворювач; 5 – лічильник; 6 – вимірювальний блок.

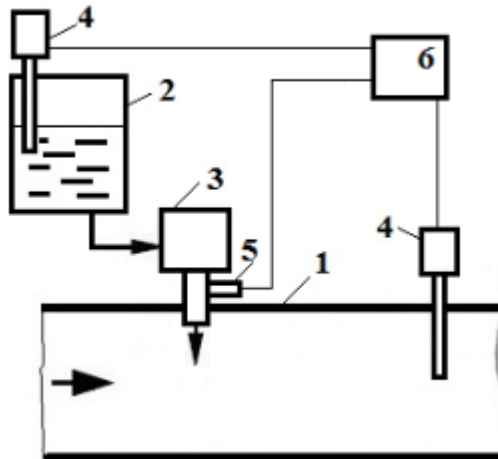


Рисунок 1.26 – Принципова схема концентраційного витратоміра (з безперервним впорскуванням індикатора)

Концентраційні витратоміри з короткочасним (залповим) впорскування речовини індикатора. Принцип дії таких приладів такий самий, як і в попередніх, але введення індикатора тут відбувається не безперервно, а майже миттєве (залпово). Відома кількість індикатора вводиться в вимірювальний потік з великою швидкістю.

Перевагами такого методу є коротший час вимірювання і менша втрата індикатора, що важливо, коли витрата вимірюваної речовини велика. Цей метод можна використовувати для вимірювань, які не вимагають високої точності.

## 2 МЕТОДИКИ ТА ПРИНЦИПИ КАЛІБРУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Еталоним документом у галузі технічного виробництва, експлуатації різних приладів, повірки засобів вимірювальної техніки та їх калібруванні є Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Згідно цього Закону, калібрування – це сукупність операцій, за допомогою яких за заданих умов на першому етапі встановлюється співвідношення між значенням величини, що забезпечується еталонами з притаманними їм невизначеностями вимірювань, та відповідними показами з пов'язаними з ними невизначеностями вимірювань, а на другому етапі ця інформація використовується для встановлення співвідношення для отримання результату вимірювання з показу [1].

Великі підприємства використовують тисячі різних вимірювальних приладів для проведення вимірювань під час контролю та випробувань продукції. Тому забезпечення єдності вимірювань залишається основним завданням метрологічної діяльності на будь-якому виробництві як основа для досягнення необхідної точності та надійності результатів вимірювань.

Серед усіх метрологічних операцій, що виконуються на підприємстві, метрологічна повірка засобів вимірювальної техніки займає особливе місце. Згідно ДСТУ ISO 10012:2005: Метрологічне підтвердження – це сукупність операцій, необхідних для гарантування того, що вимірювальне обладнання відповідає вимогам щодо його використання за призначенням [20]. На національному та міжнародному рівнях метрологічна повірка засобів вимірювальної техніки включає специфічні метрологічні завдання повірки та калібрування ЗВТ. Використаний у ISO 10012 термін «верифікація» (від англійського «verification») також включає в себе перевірку відповідності вимогам встановленим до ЗВТ. Ці вимоги можуть бути визначені в

нормативних документах (технічних регламентах), стандартах і технічних умовах на продукцію, експлуатаційних документах на засоби вимірювальної техніки, описах процесів, методиках вимірювань та випробувань.

Як правило, калібрування засобів вимірювальної техніки здійснюється метрологічною установою, яка виконує калібрування відповідно до законодавства України про калібрування ЗВТ [1]:

- науковими метрологічними центрами;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями (згідно ДСТУ 2681-94, калібрувальна лабораторія – це лабораторія або інша організаційна структура підприємства або організації, що виконує калібрування [21]), акредитованими національним органом України з акредитації;
- метрологічними центрами, калібрувальними лабораторіями, які мають документально підтверджену простежуваність своїх еталонів до національних еталонів, еталонів інших держав або міжнародних еталонів відповідних одиниць вимірювання.

В окремих випадках калібрування може проводитися на стороні замовника (підприємства, організації – власника ЗВТ).

У кожному з вищезазначених випадків, нехай то калібрувальна лабораторія або випробувальна лабораторія підприємства чи організації, в одному локальному просторі повинні бути розташовані:

1. засіб вимірювальної техніки, що підлягає калібруванню;
2. еталони;
3. допоміжне обладнання;
4. персонал калібрувальної лабораторії, який відповідає за повну процедуру калібрування (включаючи підключення обладнання та систем), оброблення результатів та інше метрологічне забезпечення, а також відповідає за всю процедуру калібрування.

Схема проведення калібрування наведена на рисунку 2.1.

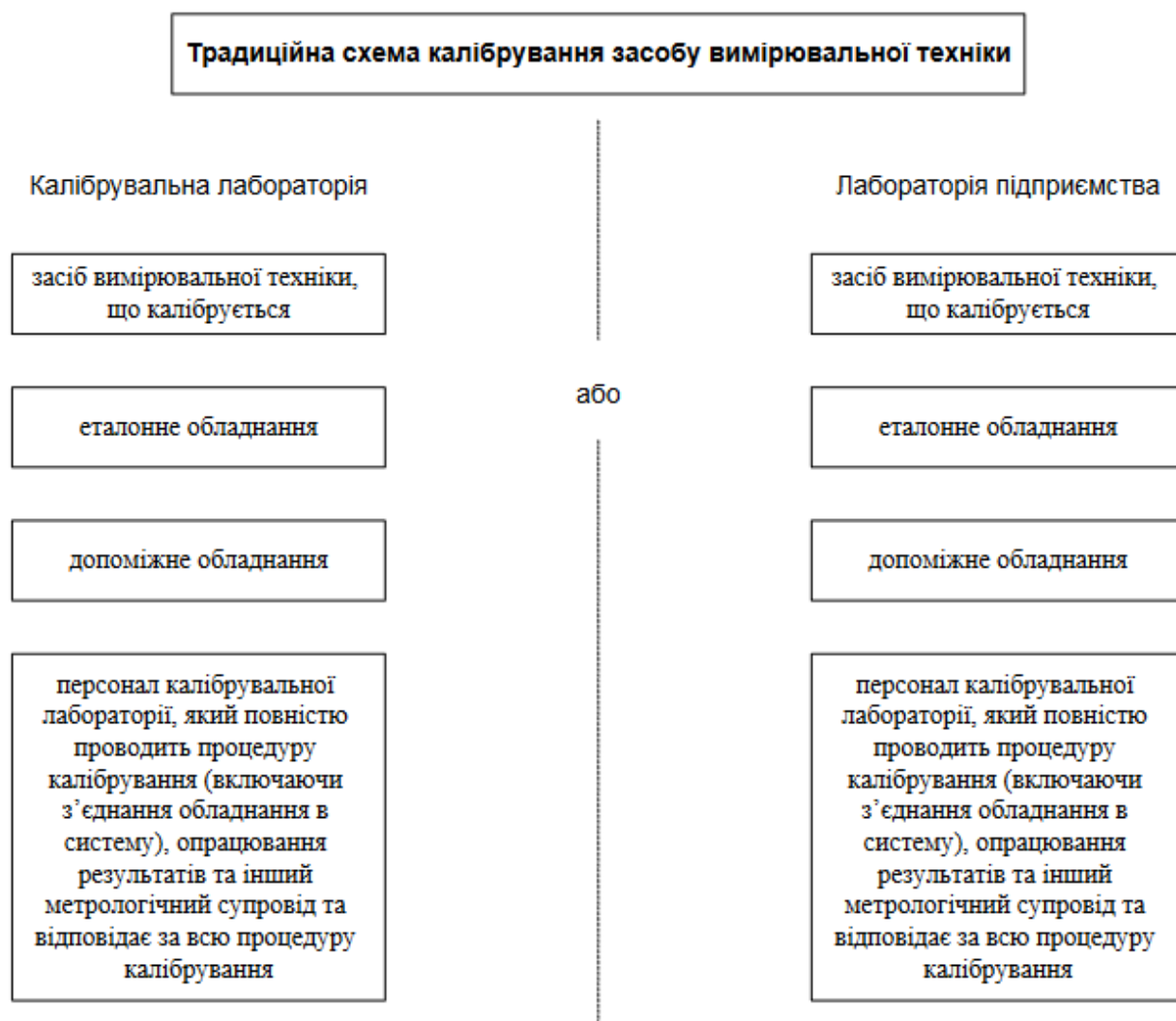


Рисунок 2.1 – Традиційна схема калібрування ЗВТ

Згідно вимоги Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» - калібрування засобів вимірювальної техніки та оформлення його результатів проводяться відповідно до національних стандартів, гармонізованих з відповідними міжнародними та європейськими стандартами, та документів, прийнятих міжнародними та регіональними організаціями з метрології [1]. Але, на жаль, на сьогоднішній день такої методології не було розроблено. Тому постачальники послуг з калібрування розробили власні методики калібрування на основі відповідних методів повірки, модернізували їх для калібрування та доповнили розділом з оцінювання невизначеності.

Однак існують НД, які визначають основні положення, організацію і процедури проведення калібрування засобів вимірювальної техніки та оформлення результатів калібрування. Наприклад, ДСТУ 3989-2000 «Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів». Тому в цій дипломній роботі буде доречно розглянути основні положення, організацію, процедури проведення та документування результатів при калібруванні ЗВТ.

## 2.1 Основні положення при калібруванні ЗВТ.

Загальні положення щодо калібрування засобів вимірювальної техніки охоплюють ряд моментів, які необхідно оглянути.

Калібрування засобів вимірювальної техніки виконується: під час випуску з виробництва; після ремонту; під час експлуатації. Калібрування ЗВТ під час випуску з виробництва виконується для перевірки метрологічних характеристик. Водночас, калібрування засобів вимірювальної техніки після ремонту та під час експлуатації запроваджують з метою визначення або перевірки метрологічних характеристик цих самих засобів (залежно від вимог користувача ЗВТ).

Типові засоби вимірювальної техніки, що внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки, допущених до застосування в Україні і не підлягають державному метрологічному нагляду, підлягають калібруванню в процесі виробництва (точніше - випуску з нього). Крім того, якщо ці ЗВТ підлягають метрологічній атестації, їх калібрування після виходу з виробництва не проводиться.

Калібрування засобів вимірювальної техніки, що використовуються для власних потреб підприємств, організацій та громадян – суб'єктів

господарювання (підприємницької діяльності), проводиться на замовлення користувачів цих ЗВТ під час експлуатації та після ремонту. При цьому засоби вимірювальної техніки, призначені для продажу або передачі в оренду, повинні мати чинне свідоцтво про калібрування (півірку) або позначку калібрувального тавра на вимогу покупця чи користувача, який купує цей прилад або бере його напрокат.

Калібрування засобів вимірювальної техніки для інших підприємств, організацій і для громадян – суб'єктів господарювання можуть проводити наступні інстанції:

- Національний науковий метрологічний центр Держстандарту України (далі - Метрологічний центр) акредитований на право проведення калібрування (півірки) ЗВТ відповідно до галузі акредитації;
- Регіональні організації Держспоживстандарту України (далі – регіональні організації), акредитовані на право проведення калібрування (півірки) ЗВТ, згідно з галуззю акредитації;
- Метрологічні інстанції центральних органів виконавчої влади, підприємств та організацій, акредитованих на право проведення калібрування (півірки) ЗВТ відповідно до галузі акредитації;
- Калібрувальні лабораторії метрологічних служб або інших структурних підрозділів підприємств та організацій, акредитовані на право проведення калібрування ЗВТ для інших підприємств, організацій і громадян – суб'єктів господарювання, згідно з галуззю акредитації;
- Калібрувальні лабораторії іноземних виробників, акредитовані на рівень калібрування засобів вимірювальної техніки, що постачаються в Україну.

Науковці, які мають доступ (або зберігають їх) до національних та вторинних приладів відтворення фізичних величин (еталонів); національно

уповноважені повірники; центральні органи виконавчої влади; повірники акредитованих метрологічних установ та організацій; фахівці акредитованих калібрувальних лабораторій, уповноважених на виконання калібрування (повірки) – лише ці особи або органи мають право на калібрування засобів вимірювальної техніки, для будь-яких інших підприємств, організацій і для громадян – суб'єктів господарювання.

Калібрування засобів вимірювальної техніки для власних потреб можуть здійснювати фахівці калібрувальних лабораторій метрологічних інститутів або інших структурних підрозділів підприємств і організацій, яким доручено виконання цих робіт. Водночас, фахівці акредитованих калібрувальних лабораторій мають право проводити калібрування ЗВТ, якщо вони атестовані (акредитовані) на право проведення калібрування або повірки. Самі фахівці та спеціалісти акредитуються на право виконання калібрувань комісією, створеною за наказом керівника підприємства (організації), якому належить калібрувальна лабораторія.

Калібрування засобів вимірювальної техніки буває наступних типів:

1. Первинне;
2. Періодичне;
3. Позачергове.

Розглянемо вищевказані види калібрування більш детально.

Первинне калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться тільки під час випуску з виробництва і під час ремонту.

Періодичне калібрування застосовується для засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації або призначені для продажу та прокату. Періодичне калібрування ЗВТ виконують до закінчення міжкалібрувального інтервалу (згідно ДСТУ 3989-2000, міжкалібрувальний інтервал – це проміжок часу між двома послідовними калібруваннями, протягом якого метрологічні характеристики ЗВТ перебувають у нормованих

допусках, встановлених під час державних приймальних випробувань або метрологічної атестації [22]) встановлюється користувачем з урахуванням рекомендованого значення цього інтервалу, отриманого під час затвердження типу ЗВТ чи метрологічної атестації таким чином, щоб визначені або проконтрольовані метрологічні характеристики зберігалися протягом цього проміжку часу.

Позачергове калібрування засобів вимірювальної техніки виконують до закінчення міжповірочного інтервалу за рішенням користувача, коли необхідно забезпечити відповідність відкаліброваних ЗВТ. Також, позачергове калібрування проводиться в наступних випадках:

- пошкодження калібрувальних міток (тавро) або втрата свідоцтва про калібрування даного засобу вимірювальної техніки;
- пройшло більше половини міжкалібрувального інтервалу засобу вимірювальної техніки, що використовується як складова частина, або ЗВТ, що надсилається виробником користувачеві (споживачу);
- якщо засіб вимірювальної техніки вводиться в експлуатацію після тривалого зберігання.

Необхідність калібрування засобу вимірювальної техніки перед його експлуатацією визначає користувач цього ЗВТ з урахуванням вимог експлуатаційних документів.

Форми та розміри калібрувальних тавр (клейм) калібрувальних лабораторій, акредитованих Держстандартом України на право проведення калібрування для інших підприємств та організацій, порядок їх зберігання, обліку та використання встановлено у відповідному НД, а саме ДСТУ 3968-2000 «Метрологія. Тавра повірочні та калібрувальні. Правила виготовлення, застосування і зберігання. Зі зміною №1 (ІПС №5-2002)». Форми та розміри калібрувальних тавр, порядок їх виготовлення, зберігання, обліку та

застосування калібрувальними лабораторіями, що калібрують ЗВТ для власних потреб, визначаються в галузевих НД або в стандартах підприємств.

Результати калібрування реєструють відповідно до положень ДСТУ 3989.

Позитивний результат калібрування засобу вимірювальної техніки засвідчують нанесенням калібрувального тавра (тільки в разі контролю метрологічних характеристик) та/або свідоцтва про калібрування за формою, наведеною у додатку А, та, за потреби, записом у відповідному розділі експлуатаційних документів. Порядок засвідчення позитивного результату калібрування ЗВТ і місце нанесення калібрувального клейма зазначають у методиці калібрування. У разі перевірки метрологічних характеристик дані, отримані під час калібрування, зазначають на зворотному боці свідоцтва або в додатку до свідоцтва. Під час визначення метрологічних характеристик ЗВТ за певних умов у свідоцтві або додатку до нього завжди зазначають значення отриманих метрологічних характеристик та ці самі умови.

Однак, якщо в результаті калібрування засіб вимірювальної техніки визнано непридатним до застосування, то свідоцтво вилучають, а попереднє тавро анулюють або роблять відповідний запис в експлуатаційних документах. На вимогу користувача ЗВТ видається довідка про непридатність до застосування, приклад якого наведений у додатку Б.

Калібрування засобів вимірювальної техніки проводиться відповідно до методики калібрування. Методика калібрування може бути викладена в окремому документі або в інших відповідних розділах експлуатаційних документів. Такі методики калібрування повинні бути затверджені та прийняті згідно з процедурами підготовки відповідних нормативних документів. За відсутності методики калібрування під час калібрування ЗВТ можна застосовувати відповідний метод повірки.

## 2.2 Організація та порядок калібрування ЗВТ

Перелік засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації та потребують калібрування (повірки), складається метрологічним оператором (особа яка уповноважена проводити метрологічний нагляд в цій компанії) підприємства або організації за поданням підрозділів – користувачів ЗВТ і затверджує керівник цього підприємства (організації). Метрологічний оператор підприємства/організації також складає графік проведення періодичних калібрувань ЗВТ із зазначенням підрозділів підприємства/організації, в яких повинні проводитися калібрування.

Засоби вимірювальної техніки повинні подаватися на калібрування в ідеальному стані, разом з необхідними допоміжними обладнанням, експлуатаційною документацією, останнім свідоцтвом про калібрування або свідоцтвом про виконання вимірювань(на вимогу калібрувальної лабораторії) та, за необхідності, з іншими документами, що визначають особливі умови застосування ЗВТ (наприклад: методика виконання вимірювань або заявка, в якій зазначені ці умови).

Засоби вимірювальної техніки можуть бути відкалібровані лише:

- у стаціонарних і пересувних повірочних та калібрувальних лабораторіях;
- на місцях виготовлення, ремонту або експлуатації засобів вимірювальної техніки.

Первинному калібруванню (або повірці) підлягають усі засоби вимірювальної техніки, зняті з виробництва. Необхідність проведення первинного калібрування після ремонту ЗВТ визначає користувач.

Також допускається проведення вибіркового калібрування засобів вимірювальної техніки, якщо це передбачено методикою калібрування або

півірки. Позитивні результати вибіркового калібрування поширюються на всі ЗВТ із партії, поданої на калібрування. Вказівки щодо дій у разі отримання негативних результатів вибіркового калібрування має бути наведено у методиці калібрування.

На підставі аналізу результатів калібрування засобу вимірювальної техніки калібрувальна лабораторія, що його калібрувала, може запропонувати змінити міжкалібрувальний інтервал, який було рекомендовано: під час затвердження типу; під час метрологічної атестації; або користувачем. Остаточне рішення про зміну міжкалібрувального інтервалу приймає користувач ЗВТ.

Якщо засоби вимірювальної техніки призначені для вимірювання (відтворення розміру) кількох фізичних величин і він має кілька діапазонів вимірювання, але його використовують для відтворення розміру (вимірювання) меншої кількості фізичних величин або не у всіх діапазонах, або лише в окремій частині діапазону вимірювання, то за рішенням користувача цього ЗВТ провадять калібрування лише стосовно зазначених фізичних величин та діапазонів (частин діапазонів). При цьому на цей засіб вимірювальної техніки повинно бути нанесено чіткий напис або умовне позначення, які визначають особливості його застосування. Відповідний запис потрібно зробити в експлуатаційних документах та у свідоцтві про калібрування.

### 3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КАЛІБРУВАННЯ ТАХОМЕТРИЧНОГО (КУЛЬКОВОГО) ВИТРАТОМІРА

Як і було сказано в другому розділі цієї роботи, якщо при калібруванні засобу вимірювальної техніки відсутня вже затверджена методика калібрування цього приладу, то фахівець може розробити власну методику спираючись на відповідні методики повірки даного пристрою. Тому розробка методики калібрування тахометричного (кулькового) витратоміра ґрунтується на відповідному нормативному документі (методиці повірки), а саме, ДСТУ 7156:2010 «Витратоміри тахометричні кулькові. Методика повірки (калібрування)».

#### 3.1 Процедури та засоби калібрування

Згідно ДСТУ 7156:2010, під час проведення калібрування (повірки) витратомірів тахометричних кулькових мають бути виконані наступні операції [6]:

1. Зовнішній огляд пристрою;
2. Перевірка опору та міцності електричної ізоляції;
3. Перевірка міцності та герметичності корпусу кулькового перетворювача витрати;
4. Тестові випробування;
5. Контроль основної похибки.

При первинному калібруванні кулькового витратоміра виконуються всі перераховані вище дії. А при періодичному калібруванні виконуються всі операції, за виключенням перевірки міцності та герметичності корпусу кулькового витратоміра.

Якщо одна з процедур калібрування не вдалася, то подальше калібрування витратоміра припиняється.

Під час проведення калібрування або повірки тахометричних кулькових витратомірів, обов'язково, мають бути застосовані засоби для калібрування. Ці засоби мають бути повірені чи атестовані у відповідному порядку і мати чинні свідоцтва про повірку чи атестацію. До цих засобів калібрування можна віднести:

- установка для перевірки електричної міцності ізоляції УПУ-1М;
- гідравлічний прес зі статичним тиском (діапазон вимірювань якого від 0 МПа до 25 МПа);
- еталонні витратомірні установки згідно з ДСТУ 4403:2005 (діапазон вимірювання від  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{год}$  до  $1,0 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{год}$ , границі допустимої відносної похибки не більше ніж  $\pm 0,3 \%$ );
- набір манометрів (діапазон вимірювання від 0 МПа до 16 МПа, клас точності - 0,6);
- ампервольтметр (діапазон вимірювання від 0 мА до 10 мА, клас точності – 0,1);
- ампервольтметр типу М-502 (діапазон вимірювання від 0 В до 1,5 В, клас точності – 0,1);
- ампервольтметр змінного струму (діапазон вимірювань якого від 0 В до 300 В, клас точності – 0,5);
- термометр лабораторний типу ТЛ (з діапазоном вимірювання від  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , ціна поділки –  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ );
- психрометр аспіраційний типу М 54;
- трансформатор лабораторний типу ЛАТР-1М;
- мегаомметр типу М 4100/1;
- джерело змінного струму напругою  $(220 \pm 4,4) \text{ В}$  та частотою  $(50 \pm 5) \text{ Гц}$ .

Також допускається використання інших засобів для калібрування з характеристиками не гіршими за перераховані вище.

### 3.2 Вимоги щодо безпеки, умови та підготовка до калібрування

При виконанні калібрування або повірки необхідно дотримуватися правил безпеки, зазначених в інструкціях з експлуатації витратоміра та допоміжних пристроїв калібрування. Монтаж і демонтаж витратоміра необхідно проводити відповідно до вказівок, які зазначені в експлуатаційній документації і тільки при вимкненому живленні та за відсутності води у вимірювальній ділянці трубопроводу. Вхідні та вихідні ланцюги живлення всіх пристроїв для калібрування повинні бути ізольовані від джерел живлення. Робочий тиск, що подається на установку для калібрування або повірки, не повинен перевищувати номінальний тиск витратоміра, який калібрується. Калібрування витратомірів доручається особам, які мають кваліфікаційну групу з техніки безпеки не нижче II рівня та вивчили експлуатаційну документацію на витратомір і допоміжний калібрувальний інструмент, що застосовується при калібруванні.

Під час проведення калібрування тахометричного кулькового витратоміра мають бути дотримані наступні умови:

- температура води: від 15 °С до 25 °С;
- температура навколишнього повітря: від 15 °С до 25 °С;
- відносна вологість навколишнього повітря: від 30 % до 80 %;
- атмосферний тиск: від 84 кПа до 106,7 кПа;
- змінення температури води протягом процесу калібрування не повинно перевищувати  $\pm 5$  °С;
- змінення температури повітря протягом калібрування не повинно перевищувати  $\pm 2$  °С;
- відхилення від номінального значення напруги живлення не повинно перевищувати  $\pm 2$  %;

- відхилення від номінального значення частоти живлення не повинно перевищувати  $\pm 2$  %;
- відсутність електричних та магнітних полів (окрім земного), а також вібрації, трясіння й ударів, що впливають на роботу витратоміра;
- робоче положення – відповідно до настанови з експлуатації витратоміра.

Вимірювальна рідина – вода (також можливе калібрування з іншою реальною рідиною). Температура води вимірюється безпосередньо в резервуарі для води на початку і в кінці калібрування (повірки). Електричний опір зовнішнього навантаження стандартизованого перетворювача встановлюється на рівні:  $(1,25 \pm 0,05)$  кОм для витратомірів з вихідним сигналом від нуля до 5 мА і менше; не більше ніж 100 Ом для витратомірів з вихідним сигналом від нуля до 100 мВ. Значення електричного опору зовнішнього навантаження для конкретного витратоміра з вихідним сигналом від нуля до 100 мВ встановлюють відповідно до його настанови наведеної в експлуатаційному документі. Підключення витратоміра до вимірювальної ділянки трубопроводу калібрувальної установки здійснюється згідно з інструкцією по експлуатації.

Перед початком калібрування необхідно виконати наступні операції:

- підготувати калібрувальну установку до роботи, а установку для перевірки міцності ізоляції та допоміжні засоби калібрування відповідно до їх експлуатаційних документів;
- перевірити напругу та частоту джерела живлення;
- встановити витратомір у вимірювальну секцію калібрувального пристрою відповідно до настанов зазначених в експлуатаційних документах на витратомір та калібрувальний пристрій;
- заземлити первинну сторону витратоміра та корпус нормуючого перетворювача;

- перевірити герметичність з'єднання витратоміра з трубопроводом подавання води під номінальним тиском у вимірювальну ділянку установки за відкритого запірною пристрою перед витратоміром і закритого пристрою після нього;
- встановити значення навантаження відповідно до значень наведених вище.

### 3.3 Процедури проведення калібрування

#### 3.3.1 Зовнішній огляд

Під час зовнішнього огляду тахометричних кулькових витратомірів, які випускаються з виробництва та після ремонту, повинно бути встановлено відповідність їх зовнішнього вигляду до вимог зазначених у ДСТУ 7266:2012 та технічним документам до них.

Під час зовнішнього огляду витратомірів, які перебувають в експлуатації перевіряють наступні пункти:

- відповідність комплекту згідно з його експлуатаційними документами;
- стан покриву;
- маркування, яке відповідає вимогам ДСТУ 7266:2012;
- відсутність механічних ушкоджень, які перешкоджають використанню витратоміра;
- наявність та цілісність пломб і відбитків, за допомогою яких контролюють доступ до регулювальних пристроїв та блоків.

Витратоміри, які не пройшли зовнішній огляд, до подальшого калібрування і експлуатації на допускаються. На вимогу користувача, цього прилада, видається довідка про непридатність (приклад наведено в додатку Б).

### 3.3.2 Перевірка опору та електричної міцності ізоляції

Перевірка опору ізоляції та електричної міцності ізоляції витратоміра проводять відповідно до ДСТУ 7266:2012.

Вимоги до ізоляції поширюються на електричні ланцюги приладів, доступ до яких можливий без розтину (демонтажу) виробів. Ізоляція електричних ланцюгів виробів щодо корпусу і між собою залежно від номінальної напруги ланцюга та умов випробувань повинна витримуватися протягом 1 хвилини, дія випробувальної напруги практично синусоїдальної форми повинна знаходитися в діапазоні від 45 до 65 ГЦ, наведеної в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дозволені значення електричної міцності ізоляції витратоміра

Номінальна напруга ланцюга $U_{\text{НОМ}}$ , В		випробувальна напруга (середнє квадратичне значення), кВ	
		ланцюгів із робочою ізоляцією	
постійна напруга (середнє квадратичне значення)	змішана напруга (пікове значення)	нормальні умови	при верхньому значенні відносної вологості (=80%)
до 60	до 85	0,5	0,3
60 - 130	85 - 184	1	0,6
130 - 250	184 - 354	1,5	0,9
250 - 660	354 - 933	2,0	1,5
660 - 1000	933 - 1400	3,0	1,8
1000 - 1500	1400 - 2100	4,0	2,5
1500 - 2000	2100 - 2800	5,0	3,5
2000 - 7000	2800 - 9800	$2U_{\text{НОМ}} + 1$	$1,4U_{\text{НОМ}} + 0,7$
7000 - 30000	9800 - 42000	$1,3U_{\text{НОМ}} + 6$	$U_{\text{НОМ}} + 4$
30000+	42000+	$1,1U_{\text{НОМ}} + 15$	$0,95U_{\text{НОМ}} + 12$

Мінімально допустимий електричний опір ізоляції ланцюгів номінальної напруги до 500 В встановлюють у стандартах або в експлуатаційних документах на прилади конкретних груп (видів), виходячи з даних зазначених у таблиці 3.2, залежно від умов випробувань.

Таблиця 3.2 – Мінімально допустимі значення електричного опору

Умови випробувань	Мінімально допустимі значення електричного опору ізоляції, МОм
нормальні умови	20; 40; 100; 500; 1000
при верхньому значенні температури робочих умов	5; 10; 20; 50; 200
При верхньому значенні відносної вологості робочих умов	1; 2; 5; 7; 50

Мінімально допустимий опір ізоляції ланцюгів з номінальною напругою вище 500 В визначають множенням значень, зазначених у таблиці 3.2, на коефіцієнт, що дорівнює відношенню номінальної напруги ланцюга до 500 В.

### 3.3.3 Перевірка герметичності та міцності корпусу витратоміра

Перевірку герметичності та міцності корпусу тахометричного кулькового витратоміра проводять створенням гідравлічним пресом у його робочій порожнині тиску вимірювальної рідини, який у 1,5 рази перевищує робочий тиск, зазначений в експлуатаційних документах витратоміра.

Результати перевірки на відповідність приладу, щодо герметичності та міцності його корпусу, є задовільними, якщо після витримання протягом 15 хвилин у місцях з'єднання і в самому корпусі не спостерігається

запотівання, краплепадіння або протікання води. Зниження тиску за показниками манометра не допускається.

У разі випуску з виробництва чи після ремонту герметичність витратомірів підтверджує акт виробника (підприємства чи організації) або інстанція, яка здійснювала ремонт цього приладу.

### 3.3.4 Основне випробування

Перед проведенням основного випробування із калібрування тахометричного кулькового витратоміра, нормувальний перетворювач витратоміра прогривають за номінальної напруги живлення не менше ніж 15 хвилин.

Основне ж випробування тахометричного кулькового витратоміра полягає в тому що крізь нього пропускають не менше трьох разів води за значення витрати, яка відповідає верхній границі вимірювання. Під час вимірювання витрати стрілка вимірювального приладу, в даному випадку – витратоміра тахометричного кулькового, (вхідний сигнал) має переміщуватися повільно.

### 3.3.5 Контроль основної похибки

Контроль основної похибки витратоміра проводять за трьох значень об'ємної витрати води, які відповідають – 30%, 50% та 100% верхньої границі вимірювання витратоміра, а для витратомірів з верхньою границею вимірювання  $0,1 \text{ м}^3/\text{год}$  та менше – 50%, 75% та 100%. Також допускається

здійснювати контроль основної похибки витратоміра на значення об'ємної витрати, які відповідають робочому режиму в системі.

Основну похибку калібрування визначають звіренням показів досліджуваного витратоміра з показниками еталонного засобу вимірювання витрати за умов, які відповідають діапазону дозволених умов наведених у розділі 3.2 цієї роботи.

Контролюють основну похибку витратоміра в наступний спосіб:

- 1) Пристроєм для регулювання витрати встановити значення об'ємної витрати, яка відповідає 30% верхньої границі вимірювання витратоміра, а для витратомірів з верхньою границею вимірювання  $0,1 \text{ м}^3/\text{год}$  та менше – 50%. Значення витрати визначають за допомогою еталонної витратомірної установки, не менше трьох разів.
- 2) За сталого значення вхідного сигналу зняти покази витратоміра.

Основна похибка тахометричного кулькового витратоміра може бути виражена як відносна так і зведена. Зведену похибку витратоміра  $\gamma$ , у відсотках, визначають за такою формулою:

$$\gamma = \pm \left( \frac{Q}{Q_{\max}} - \frac{N}{N_{\max}} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де  $Q$  – значення об'ємної витрати за еталонною витратомірною установкою, яке відповідає значенню  $N$  вихідного сигналу витратоміра,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$Q_{\max}$  – максимальне значення об'ємної витрати за еталонною витратомірною установкою, яке відповідає максимальному значенню вихідного сигналу витратоміра,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$N$  – значення вихідного сигналу витратоміра, мА або мВ, залежно від виду вихідного сигналу витратоміра;

$N_{max}$  – максимальне значення вихідного сигналу витратоміра, мА або мВ, залежно від виду вихідного сигналу витратоміра.

Відносну похибку витратоміра  $\delta$ , у відсотках, визначають за наступною формулою:

$$\delta = \left[ 1 - \left( \frac{Q_{max}}{N_{max}} - \frac{Q_{min}}{N_{min}} \right) \cdot \frac{N}{Q} \right] \cdot 100, \quad (2)$$

де  $Q_{min}$  – мінімальне значення об'ємної витрати за еталонною витратомірною установкою, яке відповідає мінімальному значенню вихідного сигналу витратоміра, м<sup>3</sup>/год;

$N_{min}$  – мінімальне значення вихідного сигналу витратоміра, мА або мВ, залежно від виду вихідного сигналу витратоміра.

Результати контролю похибки калібрування є задовільними, якщо максимальне отримане значення основної похибки під час кожної об'ємної витрати не перевищує значень, зазначених в експлуатаційних документах на витратомір.

### 3.4 Калібрування витратміра

Калібруванню підлягає тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В», який наведено на малюнку 3.1. Порядок проведення калібрування цього перетворювача витрати описана в розділі 3.3 цієї роботи. Перед початком проведення калібрування були підготовані допоміжні засоби калібрування, наведенні в розділі 3.1 цієї роботи. Також перед початком проведення процедури калібрування були дотримані вимоги, щодо безпеки, та умови, щодо калібрування тахометричних кулькових витратомірів, наведені у розділі 3.2 цієї роботи.



Рисунок 3.1 – Тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В»

#### 3.4.1 Зовнішній огляд витратоміра

Під час зовнішнього огляду кулькового витратоміра типу «САТУРН-40В», використовувалися органолептичні показники експерта-метролога (зоровий огляд на наявні ушкодження корпусу та тактильні відчуття). В процесі зовнішнього огляду експертом було встановлено відповідність наступних пунктів до вимог зазначених у ДСТУ 7266:2012. Пункти які були перевірені:

- 1) Комплектація витратоміра відповідає вимогам встановлених в експлуатаційних документах на цей пристрій.

- 2) Стан покриву досліджуваного приладу відповідає нормам.
- 3) На витратомірі вказано маркування, відповідно до ДСТУ 7266:2012.
- 4) На приладі не виявлено механічних ушкоджень, які б могли заважати використанню цього пристрою.
- 5) На корпусі калібруємого витратоміра в наявності пломби та відбитки тавр, всі вони знаходяться у повній цілісності.

Кульковий витратомір типу «САТУРН-40В» пройшов процедуру зовнішнього огляду, тому переходимо до наступної операції з калібрування цього пристрою.

#### 3.4.2 Перевірка опору та електричної міцності витратоміра

В ході цієї процедури калібрування, тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В» фахівець встановлює відповідність опору та електричної міцності приладу. Для цього він проводить вимірювання, використовуючи деякі допоміжні пристрої для калібрування, а саме: установка для перевірки міцності ізоляції типу УПУ-1М; ампервольтметр з діапазоном вимірювань від 0 мА до 10 мА, з класом точності – 0,1; ампервольтметр типу М-502 з діапазоном вимірювання від 0 В до 1,5 В, з класом точності - 0,1; ампервольтметр змінного струму з діапазоном вимірювання від 0 В до 300 В, з класом точності – 0,5; трансформатор лабораторний типу ЛАТР-1М; джерело змінного струму напругою  $(220 \pm 4,4)$  В та частотою  $(50 \pm 5)$  Гц.

В процесі калібрування встановлюється відповідність отриманих значень до допустимих норм зазначених в таблицях 3.1 та 3.2 у розділі 3.3.2.

Вимірювання електричної міцності ізоляції витратоміра відбувалося за нормальних умов, та при двох різних напругах. В першому випадку, за умови

постійної напруги (рахується середнє квадратичне значення), випробувальна напруга становила 1,5 кВ. В другому випадку, при умові змішаної напруги (до уваги приймається пікове значення), випробувальна напруга становила 2 кВ. Можна зробити висновок, що отримані значення відповідають допустимим нормам.

Вимірювання електричного опору витратоміра відбувалося за нормальних умов. Значення електричного опору становило 100 МОм, що відповідає мінімально допустимому значенню електричного опору.

Таблиця 3.3 – Результати калібрування опору та електричної ізоляції

Електрична міцність ізоляції, кВ		Електричний опір, МОм
Постійна напруга	Змішана напруга	
1,5	2	100

Тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В» пройшов перевірку електричного опору та ізоляції витратоміра відповідно до норм, які зазначені в експлуатаційному документі, що додається до приладу.

#### 3.4.3 Перевірка герметичності та міцності корпусу витратоміра

При перевірці герметичності та міцності корпусу витратоміра типу «САТУРН-40В» експерт-метролог, за допомогою допоміжного засобу калібрування – гідравлічного пресу зі статичним тиском в діапазоні від 0 МПа до 25 МПа, створює у робочій порожнині витратоміра тиск, що у 1,5 рази перевищує робочий тиск та витримує цей тиск протягом 15 хвилин.

Робочий тиск калібруємого витратоміра – 12МПа, а завдяки гідравлічному пресу, в робочій порожнині витратоміра, створюється тиск, який дорівнює – 18 МПа.

Після витримування тиску у розмірі 18 МПа в робочій порожнині витратоміра, протягом 15 хвилин, у місцях з'єднання і в самому корпусі, не спостерігалось - запотівання, краплепадіння та протікання води. Тому можна зробити висновок, що результат перевірки герметичності та міцності корпусу його корпусу, є задовільним.

Тахометричний кульковий витратомір типу САТУРН-40В» пройшов перевірку герметичності та міцності корпусу.

#### 3.4.4 Основне випробування витратоміра

Перед початком цього етапу калібрування нормувальний перетворювач витратоміра було прогріто за номінальної на пруги живлення протягом 20 хвилин.

Під час основного випробування, крізь витратомір, шість разів пропустили воду за значення витрати, яка відповідає верхній границі вимірювання –  $100 \text{ м}^3/\text{год}$ . Протягом процесу вимірювання стрілка тахометричного кулькового витратоміра переміщувалась повільно.

Основне випробування проводилося із залученням еталонної витратомірної установки з діапазоном вимірювання від  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{год}$  до  $1,0 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{год}$ , та границями допустимої відносної похибки не більше ніж  $\pm 0,3 \%$ .

Тахометричний кульковий витратомір типу «САТУРН-40В» отримав задовільний результат під час основного випробування. Переходимо до наступного етапу калібрування – контролю основної похибки.

### 3.4.5 Контроль основної похибки витратоміра

Контроль основної похибки тахометричного кулькового витратоміра проводять за трьох значень об'ємної витрати води, які відповідають – 30%, 50%, та 100% від верхньої границі вимірювання витратоміра.

Таблиця 3.4 – Контроль основної похибки об'ємної витрати води

Границя вимірювання витратоміра, %	Значення витрати, м <sup>3</sup> /год
30%	47,4
50%	79
100%	158

Основна похибка тахометричного кулькового витратоміра може бути виражена як відносна так і зведена.

Розрахуємо зведену похибку за формулою 1, неведену у розділі 3.3.5 цієї роботи. Вхідні данні для розрахунку похибки:  $Q_1 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $Q_2 = 50 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $Q_3 = 100 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $Q_{max} = 150 \text{ м}^3/\text{год}$ ;  $N_1 = 12$ ;  $N_2 = 27$ ;  $N_3 = 61$ ;  $N_{max} = 95$ .

$$\gamma_1 = \pm \left( \frac{Q_1}{Q_{max}} - \frac{N_1}{N_{max}} \right) \cdot 100 = \pm \left( \frac{30}{150} - \frac{12}{95} \right) \cdot 100 = \pm (0,2 - 0,126) \cdot 100 \\ = \pm 0,074 \cdot 100 = \pm 7,4\%;$$

$$\gamma_2 = \pm \left( \frac{Q_2}{Q_{max}} - \frac{N_2}{N_{max}} \right) \cdot 100 = \pm \left( \frac{50}{150} - \frac{27}{95} \right) \cdot 100 = \pm (0,333 - 0,284) \cdot 100 \\ = \pm 0,049 \cdot 100 = \pm 4,9\%;$$

$$\gamma_3 = \pm \left( \frac{Q_2}{Q_{max}} - \frac{N_2}{N_{max}} \right) \cdot 100 = \pm \left( \frac{100}{150} - \frac{61}{95} \right) \cdot 100 = \pm (0,667 - 0,642) \cdot 100 \\ = \pm 0,025 \cdot 100 = \pm 2,5\%.$$

Таблиця 3.5 – Результати зведеної похибки при граничних умовах

Границя вимірювання витратоміра, %	Значення витрати, м <sup>3</sup> /год	Зведена похибка ( $\gamma$ ), %
30%	30	$\pm 7,4\%$
50%	50	$\pm 4,9\%$
100%	100	$\pm 2,5\%$

Далі розрахуємо відносну похибку тахометричного кулькового витратоміра типу «САТУРН-40В». Відносна похибка визначається за формулою 2, наведеною у розділі 3.3.5 цієї дипломної роботи. Вхідні данні для розрахунків:

$$Q_1 = 4 \text{ м}^3/\text{год}; Q_2 = 40 \text{ м}^3/\text{год}; \\ Q_3 = 125 \text{ м}^3/\text{год}; Q_{min} = 1 \text{ м}^3/\text{год}; Q_{max} = 158 \text{ м}^3/\text{год}; N_1 = 3; \\ N_2 = 29.894; N_3 = 93.25; N_{min} = 3; N_{max} = 95.$$

$$\delta_1 = \left[ 1 - \left( \frac{Q_{max}}{N_{max}} - \frac{Q_{min}}{N_{min}} \right) \cdot \frac{N_1}{Q_1} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \left( \frac{158}{95} - \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{3}{4} \right] \cdot 100 \\ = [1 - (1,663 - 0,333) \cdot 0,75] \cdot 100 = [1 - 1,33 \cdot 0,75] \cdot 100 \\ = [1 - 0,9975] \cdot 100 = 0,0025 \cdot 100 = \pm 0,25\%;$$

$$\delta_2 = \left[ 1 - \left( \frac{Q_{max}}{N_{max}} - \frac{Q_{min}}{N_{min}} \right) \cdot \frac{N_2}{Q_2} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \left( \frac{150}{95} - \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{29.894}{40} \right] \cdot 100 \\ = [1 - (1,663 - 0,333) \cdot 0,7474] \cdot 100 = [1 - 1,33 \cdot 0,7474] \cdot 100 \\ = [1 - 0,994] \cdot 100 = 0,006 \cdot 100 = \pm 0,6\%;$$

$$\delta_3 = \left[ 1 - \left( \frac{Q_{max}}{N_{max}} - \frac{Q_{min}}{N_{min}} \right) \cdot \frac{N_3}{Q_3} \right] \cdot 100 = \left[ 1 - \left( \frac{150}{95} - \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{93.25}{125} \right] \cdot 100 \\ = [1 - (1,663 - 0,333) \cdot 0,8] \cdot 100 = [1 - 1,33 \cdot 0,746] \cdot 100 \\ = [1 - 0,99218] \cdot 100 = 0,00782 \cdot 100 = \pm 0,78\%.$$

Таблиця 3.6 – Результати відносної похибки при граничних умовах

Значення витрати, м <sup>3</sup> /год	Зведена похибка ( $\delta$ ), %
4	$\pm 0,25\%$
40	$\pm 0,6\%$
125	$\pm 0,78\%$

Результат контролю похибки калібрування тахометричного кулькового витратоміра типу «САТУРН-40В» є задовільним, тому що максимальне отримане значення основної похибки під час деяких об'ємних витрат не перевищує значення, які зазначені в експлуатаційних документах на цей витратомір.

## ВИСНОВКИ

В цій кваліфікаційній роботі було розглянуто актуальні питання, щодо калібрування витратомірів. Також було розглянуто наступні питання:

- аналіз вимог законодавства, щодо проведення метрологічної діяльності на території України;
- огляд чинних нормативних документів, які визначають відповідність цих витратомірів до вимог зазначених в них (згідно законодавчо регульованої метрології);
- було оглянуто багато витратомірів 4-х основних груп: витратоміри механічної дії; витратоміри на основі хвильових явищ; електромагнітні витратоміри; та міткові витратоміри;
- також було оглянуті принципи та методики із калібрування засобів вимірювальної техніки;
- була розроблена методика калібрування тахометричного кулькового витратоміра;
- та згідно розробленої методики було відкалібрована тахометрична кулькова витратомірна установка типу «САТУРН-40В».

В процесі цієї кваліфікаційної роботи було вивчено об'єкт дослідження – тахометричний кульковий витратомір, та виконана мета роботи – було розроблено методику калібрування тахометричного кулькового витратоміра.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. «Про метрологію та метрологічну діяльність»: Закон України від 05.06.2014р. №1314-VII.
2. «Про затвердження Технічного регламенту засобів вимірювальної техніки»: Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 р. №163.
3. «Про затвердження Технічного регламенту законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки»: Постанова Кабінету Міністрів України від 13.01.2016 р. №94.
4. ДСТУ ISO 4006:2009. «Вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах. Словник термінів і познач» (ISO 4006:1991, IDT), 76 с.
5. ДСТУ 7266:2012. «Витратоміри швидкісні, вихрові та електромагнітні. Загальні технічні умови.» 13 с.
6. ДСТУ 7156:2010. «Витратоміри тахометричні кулькові. Методика повірки (калібрування)».
7. «Мала гірнича енциклопедія» у 3 т.; за редакцією В.С.Білецького: Донбас, 2004 – 640 с.
8. ДСТУ ISO 4006:2009 «Вимірювання витрати та кількості плинного середовища в закритих трубопроводах. Словник термінів і познач» (ISO 4006:1991, IDT).
9. ДСТУ-Н 5018:2008 «Метрологія. Системи для вимірювання витрати, об'єму та маси води автоматизовані. Типова програма державної метрологічної атестації методики виконання вимірювання»
10. «Основи автоматизації гірничого виробництва»; Папушин Ю.Л., Білецький В.С. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
11. «Метрологія та технологічні вимірювання в хімічній промисловості» Ч. 1; Й.І.Стенцель, В.В.Тіщук – Луганськ: Східноукраїнський державний ун-т, 2000. – 263 с.

12. «Сучасні датчики. Довідник»; Дж. Фрайден – Москва: Техносфера, 2005. – 592 с.
13. «Техніка вимірювання тиску, витрати, кількості та рівня рідини, газу та пари: Навчальний посібник для технікумів»; К.І. Хансуваров, В.Г. Цейтлін – М.: Видавництво стандартів, 1990. – 287 с.
14. «Тахометричні лічильники та витратоміри. Пристрій, принцип дії, типи та види тахометричних лічильників та витратомірів»; [Електроний ресурс]: [http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika\\_527.html](http://www.eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_527.html).
15. «Вихрові вимірювальні прилади»; Кіясбейлі А.Ш., Перельштейн М. Е. – М.: Машинобудування, 1978. – 152 с.
16. «Витратоміри та лічильники кількості. Довідник» 4-те вид.; Кремлівський П.П. – Л.: Машинобудування, 1989. – 701 с.
17. ДСТУ ISO 10790:2009 «Вимірювання витрати рідини в закритих трубопроводах. Настанови щодо вибирання, монтажу та застосування коріолісових витратомірів».
18. «Нормування витратомірів змінного перепаду тиску»; Пістун Є.П., Лесовой Л.В. – Львів: Видавництво ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. – 576 с.
19. «Промислові засоби автоматизації. Вимірювальні пристрої» Ч. 1; Бабіченко А.К., Тошинський В.І. та ін. – Х.: ООО «Роми», 2001.
20. ДСТУ ISO 10012:2005. «Системи керування вимірюванням. Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання» (ISO 10012:2003, IDT).
21. ДСТУ 2681-94 «Метрологія. Терміни та визначення».
22. ДСТУ 3989-2000 «Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів».

23. ДСТУ 3968-2000 «Метрологія. Тавра повірочні та калібрувальні. Правила виготовлення, застосування і зберігання. Зі зміною №1 (ПС №5-2002)».
24. ДСТУ 4403:2005 «Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювання об'ємної та масової витрати рідини й об'єму та маси рідини, що протікає по трубопроводу».