

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інженерії

Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту  
ступінь вищої освіти магістр

галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

на тему Розробка методики вимірювань витратомірів  
на машинобудівних підприємствах

Виконав: студент групи МВТ-22дм  
Шевцова С.В.  
(прізвище, та ініціали)



(підпис)

Керівник  
доц. Морнева М.О.  
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Завідувач кафедри  
доц. Руднів Є.С.  
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Рецензент  
доц. Шумакова Т.О.  
(прізвище, та ініціали)

(підпис)

Київ 2023р.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерії

Кафедра Електричної інженерії

Ступінь вищої освіти магістр

Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування  
(шифр і назва)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ЕІ**

доц. Руднев Є.С.

“      ”        2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Шевцовій Светлані Вікторівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Розробка методики вимірювань витратомірів на машинобудівних підприємствах»

керівник проекту доц. Морнева М.О.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 23.10.2023 року №564/15.23С

2. Строк подання студентом проекту 8.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту: Стандартні методики здійснення вимірювань, повірочні схеми, технічні умови, ДСТУ 1.5:2015, ДСТУ ГОСТ 2.610:2006, ГОСТ 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2005).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1. Аналіз існуючих засобів вимірювання витрат. 2. Дослідження залежності між витратами і перепадом тиску на звужувальному пристрої. 3. Аналіз методик вимірювань рідини та газів. 4. Розробка методики виконання вимірювань витрат. Висновки.

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

1. Методики вимірювань рідини та газів.

2. Вимірювання витрат за перепадом тиску.

3. Методика виконання вимірювань витрат

## 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1-4	доц. Морнева М.О.		

7. Дата видачі завдання 16.10.2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	20.10	
2	Аналіз існуючих засобів вимірювання витрат	27.10	
3	Дослідження залежності між витратами і перепадом тиску на звужувальному пристрої	10.11	
4	Аналіз методик вимірювань рідини та газів	17.11	
5	Розробка методики виконання вимірювань витрат	24.11	
6	Висновки	1.12	
7	Підготовка матеріалу до захисту	8.12	

Студент



(підпис)

Шевцова С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Морнева М.О.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота містить 68 сторінок, 2 таблиць, 14 рисунка, 2 додатка та 20 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

### **Актуальність теми**

Значення витратомірів рідини, газу і пари дуже велике. З розвитком промисловості вони набули великого значення. Завдяки таким вимірам, можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозно-паперової та багатьох інших галузях промисловості. Актуальність вимірювання витрати рідини, газу і пари полягає в необхідності максимальної економії енергетичних і водних ресурсів країни. Зниження похибки вимірювань хоча б на 1% може забезпечити багатомільйонний економічний ефект.

**Мета кваліфікаційної роботи** полягає у розробці методики вимірювань витратомірів .

**Об'єкт дослідження** – процес вимірювань витрат.

**Предмет дослідження** – методи і засоби вимірювання витрат.

Досягнення зазначеної мети вимагає постановки та вирішення наступних завдань:

- розглянути джерела щодо вимірювань витрати;
- визначити залежність між витратами і перепадом тиску на звужуючому пристрої;
- розглянути методику вимірювань рідини та газу.

Результатом даної роботи є розробка методики вимірювань витратомірів.

**Ключові слова:** витратомір, витрата, методика виконання вимірювань, звужуючий пристрій, дифманометр, рідина, газ.

## ABSTRACT

The master's work contains 68 pages, 2 tables, 14 figures, 2 supplements and 20 bibliographical names overflowing.

### **Actuality of theme.**

The importance of lowmeters acid, gas and steam is even greater. With the development of industry, the stench arose of great significance. Thanks to such vimirs, it is possible to ensure the optimal mode of technological processes in energy, metallurgy, chemical, naphtha, pulp-paper and many other industries. The urgency of reducing waste of radium, gas and steam lies in the need for maximum savings in energy and water resources of the region. Reducing the death rate by at least 1% could provide a multimillion-dollar economic effect.

**The purpose of the qualification work** lies in the development of the vitratomy vitratomy method.

**Object of investigation** – . process of vimiryuvan vitrat.

**The subject of the investigation** is methods and methods of vitrification.

The achievement of the designated mark is dependent on the production and implementation of the **upcoming tasks:**

- look at the dzherel shodo vimiryuvan and spend;
- determine the depth between the vitrates and the pressure difference on the sound device;
- look at the methodology of vikonannya ridini and gas;

The result of this work is the development of a technique for vitratomizing vitratomers.

**Key words:** low meter, vitrata, consumption, measurement technique, sound device, differential pressure gauge, liquid, gas.

## Зміст

Вступ	7
1 Аналіз існуючих засобів вимірювання витрат	9
1.1 Значення засобів виміру витрати й кількості рідини, газу й пари	9
1.2 Різновиду приладів для виміру витрати й кількості	10
1.3 Класифікація витратомірів змінного перепаду тиску	13
1.4 Сучасні вимоги до витратомірів і лічильників	19
2 Дослідження залежності між витратами і перепадом тиску на звужувальному пристрої	24
2.1. Залежність між витратами та тиском	24
2.2 Аналіз формули витрат	28
2.3 Аналіз коефіцієнта витрати $\alpha$	31
3 Аналіз методик вимірювань рідини та газів	34
4 Розробка методики виконання вимірювань витрат	45
4.1. Коректор газу В25	47
4.2 Процедура розробки МВВ	54
4.3 Вихідні дані для розробки	56
4.4 Вибір (розробка) методу і засобів вимірювань	58
Висновки	61
Література	63
Додатки	65

## Вступ

**Актуальність теми.** Значення витратомірів рідини, газу і пари дуже велике. З розвитком промисловості вони набули великого значення. Вимірювання заданого параметра середовища з необхідною точністю в наш час не викликає сумнівів. Це необхідно для управління, ведення та стабілізації виробництва. Завдяки таким вимірам, можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозно-паперовій та багатьох інших галузях промисловості. А так само для автоматизації виробництва і досягнення при цьому максимальної ефективності. Актуальність вимірювання витрати рідини, газу і пари полягає в необхідності максимальної економії енергетичних і водних ресурсів країни. Зниження похибки вимірювань хоча б на 1% може забезпечити багатомільйонний економічний ефект.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розробка методики вимірювань витратомірів.

**Об'єкт дослідження** – процес вимірювань витрат.

**Предмет дослідження** – методи і засоби вимірювання витрат.

Досягнення зазначеної мети вимагає постановки та вирішення наступних завдань:

- розглянути джерела щодо вимірювань витрати;
- визначити залежність між витратами і перепадом тиску на звужуючому пристрої;
- розглянути методику вимірювань рідини та газу.

Роль витратомірів у сучасному світі дуже висока у зв'язку з тим, що завдання контролю витрати зводиться до завдання максимальної економії енергетичних і водних ресурсів багатьох країн світу, зважаючи на те, що останні дорожчають із кожним днем і збільшується масштаб споживання.

Існує величезна кількість приладів для виміру витрати й кількості речовин, що розрізняються принципами дії й методами вимірів. При виборі засобу виміру витрати і його кількості виходять із властивостей вимірюваної речовини, його параметрів і вимог до точності виміру.

Головними питаннями обліку природного газу є вірогідність обліку й забезпечення збігу результатів виміру на вузлах обліку постачальника й споживачів: наведений до стандартних умов обсяг газу, відпущений постачальником, повинен бути дорівнює сумі наведених до стандартних умов обсягів газу, отриманих всіма споживачами. Підвищення вірогідності результатів виміру витрати й виключення спорів між постачальником і споживачем є важливим завданням, що вимагає вдосконалювання методів виміру витрати. Таким чином, актуальним і важливими є завдання виявлення й усунення причин виникнення погрішностей витратомірів змінного перепаду тиску, підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем виміру витрат.



# 1 АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ (ЗВТ) ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ ВИТРАТ

В залежності від агрегатного стану всі речовини можуть знаходитися в твердому, рідинному і газоподібному станах. Два останніх у гідромеханіці об'єднують поняттям «рідини», які, у свою чергу, поділяють на ті, що мало стискаються (крапельні), і ті, що стискаються, тобто змінюють свій об'єм; розрізняють також пару як газоподібну речовину з нестійким агрегатним станом. Далі в роботі під терміном «речовина» будемо розуміти деяке текуче середовище (ТС) – будь-яка рідина, газ, пара або їх суміш, яке переміщається (транспортується) у закритому каналі (трубопроводі).

Витрата – це кількість речовини в одиницях маси (кг/с, кг/год) або в одиницях об'єму (м<sup>3</sup>/с, м<sup>3</sup>/год), яка протікає через переріз трубопроводу за одиницю часу [5].

Сучасні цифрові технології дозволяють визначати об'ємну і/або масову витрату речовини, накопичувати дані щодо кількості речовини за деякий відрізок часу на виході первинного перетворювача будь-якого типу, тому, через неprincipову відмінність від термінів «витратомір» і «лічильник», далі за текстом будемо використовувати термін «витратомір». В Додатку А наведена класифікація основних видів сучасних витратомірів [5].

## 1.1 Значення засобів виміру витрати й кількості рідини, газу й пари

Значення лічильників і, особливо витратомірів рідини, газу й пари дуже велике. Раніше основне застосування мали лічильники води й газу

переважно в комунальному господарстві міст. Але з розвитком промисловості все більше значення придбали витратоміри рідини, газу й пари.

Витратоміри необхідні насамперед для керування виробництвом. Без них не можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетику, металургії, у хімічної, нафтових, целюлозно-паперової й багатьох інших галузях промисловості. Ці прилади потрібні також для автоматизації виробництва й досягнення при цьому максимальній його ефективності.

Витратоміри потрібні для керування літаками й космічними кораблями, для контролю роботи зрошувальних систем у сільському господарстві й у багатьох інших випадках. Крім того, вони потрібні для проведення лабораторних і дослідницьких робіт.

Лічильники рідини й газу необхідні для обліку маси або обсягу нафти, газу й інших речовин, що транспортуються по трубах і споживаних різними об'єктами. Без цих вимірів дуже важко контролювати витоків й виключати втрати коштовних продуктів. Зниження погрішності вимірів хоча б на 1 % може забезпечити багатомільйонний економічний ефект. Роль і значення витратомірів і лічильників рідини, газу й пари ще більше зростає у зв'язку з необхідністю максимальної економії енергетичних і водних ресурсів країни.

## **1.2 Різновиди приладів для виміру витрати й кількості**

Велика розмаїтість і складність вимог, пропонованих до витратомірів і лічильників, з'явилося причиною розробки й створення значного числа різновидів цих приладів. При виборі треба виходити із властивостей вимірюваної речовини, його параметрів, а також обґрунтованості вимог до точності виміру, з огляду на при цьому як ступінь важливості задоволення

тим або іншим вимогам, так і складність вимірювального пристрою й умови його експлуатації й перевірки.

Вимірювання витрати зазвичай здійснюється із двома цілями: необхідність контролювати витрату з метою керування технологічними процесами та необхідність обліку всіх матеріальних і енергетичних потоків.

Прилади для вимірювання витрати або кількості речовини можна розділити на 2 класи:

- лічильники – прилади для вимірювання кількості речовини, що пройшла через лічильник за деякий проміжок часу. Кількість речовини визначається як різниця показань лічильника. Лічильники, як правило є приладами прямого виміру й відлік по їхній шкалі дає значення вимірюваної величини без усяких додаткових обчислень.

- витратоміри – прилади, що вимірюють витрату. Витратомірами рідини (газу) називають вимірювальні прилади або сукупність приладів, призначених для вимірювання витрати рідини (газу).

Структурна схема витратоміра зображена на рис.1.1.

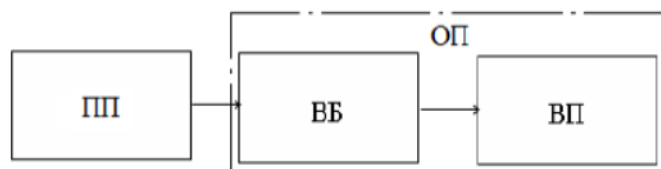


Рис.1.1 – Структурна схема витратоміра:

ПП - первинний перетворювач,

ВБ - вимірювальний блок,

ВП - відліковий пристрій,

ОП - обчислювальний пристрій.

Умовно витратоміри й лічильники можна підрозділити на наступні групи.

А. Прилади, засновані на гідродинамічних методах:

- змінного перепаду тиску;
- змінного рівня;
- обтікання;
- вихрові;
- парціальні.

Б. Прилади з безупинно, що рухається тілом:

- тахометричні;
- силові (у тому числі вібраційні).

В. Прилади, засновані на різних фізичних явищах:

- теплові;
- електромагнітні;
- акустичні;
- оптичні;
- ядерно-магнітні;
- іонізаційні.

Г. Прилади, засновані на особливих методах:

- кореляційні;
- міткові;
- концентраційні.
- з тілом, що автоколивається;
- з рухомою ділянкою трубопроводу;
- струменеві.

Серед приладів групи А винятково широке застосування одержали витратоміри із звужувальними пристроями (ЗП), що ставляться до приладів змінного перепаду тиску. Для малих витрат рідин і газів служать ротаметри й поплавкові прилади, що ставляться до витратомірів обтікання. Досить перспективні вихрові витратоміри.

Принцип вимірювання витрати за перепадом тиску зображено на рис.1.2.

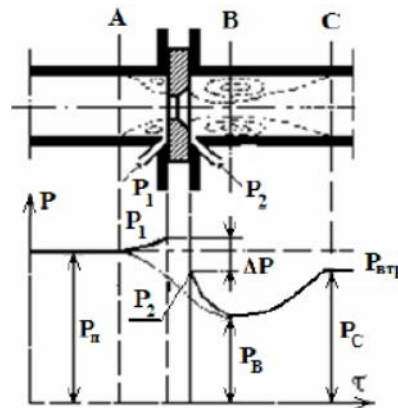


Рис.1.2 - Принцип вимірювання витрати за перепадом тиску

Із групи Б значне застосування знаходять різні різновиди тахометричних витратомірів: турбінні, кульковими й камерні (роторні, з овальними шестірнями й ін.), останні - як лічильники газу, нафтопродуктів і інших рідин.

Серед різноманітних приладів групи В хащі інших застосовують електромагнітні витратоміри для виміру витрати електропровідних рідин і ультразвукові (різновид акустичних) для виміру рідин і частково газу. Рідше зустрічаються теплові - для виміру малих витрат рідин і газів.

Міткові й концентраційні витратоміри, що ставляться до групи Г, служать для разових вимірів, наприклад при перевірці промислових витратомірів на місці їхньої установки. Кореляційні прилади перспективні, зокрема, для виміру двофазних середовищ.

### 1.3 Класифікація витратомірів змінного перепаду тиску

Витратоміром змінного перепаду тиску називається вимірювальний комплекс, заснований на залежності від витрати перепаду тиску,

створюваного перетворювачем витрати, установленим у трубопроводі, або елементом останнього (наприклад, коліном).

До складу вимірювального комплексу входять:

- первинний перетворювач витрати;
- первинна лінія зв'язку - сполучні трубки й допоміжні пристрої на них;
- первинний вимірювальний прилад - дифманометр.

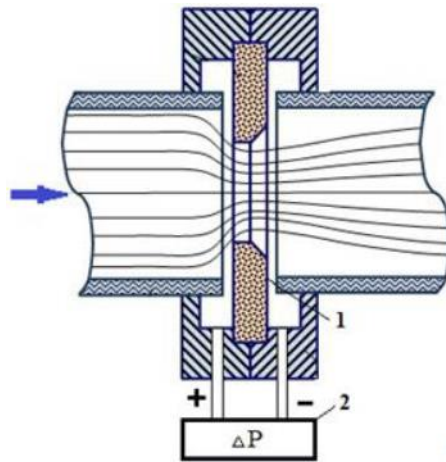


Рис.1.3 - Вимірювальний комплект витратоміру змінного перепаду тиску:

1 – звужувальний пристрій (діафрагма); 2 – дифманометр.

Якщо буде потреба передачі показань на значну відстань до цих елементів додаються:

- вторинний перетворювач переміщення рухливого елемента дифманометра в електричний або пневматичний сигнал;
- вторинна лінія зв'язку - електричні проведення або сполучні трубки;
- вторинний вимірювальний прилад.

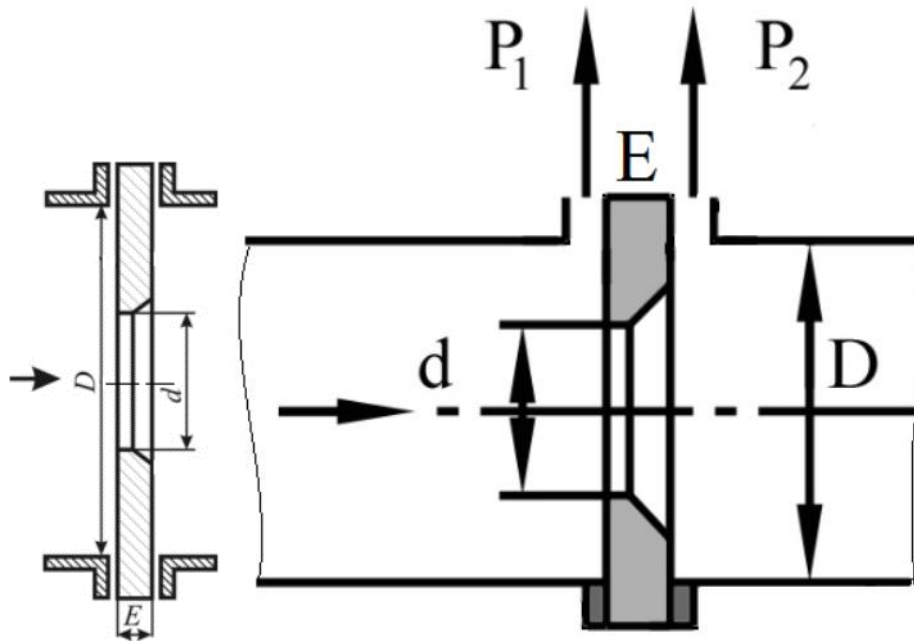


Рис.1.4 - Стандартна діафрагма

Дифманометри, що оснащуються вторинними перетворювачами (індуктивними, диференційно-трансформаторними, тензорезисторними або пневматичними), можуть мати шкалу, а можуть її й не мати. В останньому випадку їх називають або безшкальними дифманометрами (приклад: дифманометри ДМ) або ж перетворювачами перепаду тиску (приклад: дифманометри «Сапфір»).

Крім перерахованих частин у вимірювальний комплекс витратоміра можуть входити ще:

- засоби виміру густини речовини (плотноміри або прилади виміру тиску й температури);
- обчислювальні пристрої для обліку у формулі витрати сигналів по  $\rho$ ,  $p$  і  $t$ .

Якщо дифманометр або вторинний прилад постачені інтегратором з рахунковим механізмом, то такий прилад вимірює не тільки витрату, але також масу або обсяг минулої речовини. Поряд із цим масу й обсяг можна

одержати шляхом платиметрированннн й обробки діаграм запису  $\Delta p$ ,  $p$  и  $t$  (перепаду тиску, тиски й температури).

Витратоміри змінного перепаду тиску мають наступні різновиди, залежно від виду перетворювача витрати:

- 1) с звужуючими пристроями(ЗП);
- 2) с гідравлічним опором;
- 3) відцентрові;
- 4) с напірними пристроями;
- 5) с напірними підсилювачами;
- б) ударно-струминні.

1. Витратоміри із звужуючими пристроями (ЗП) засновані на вимірі перепаду тиску, що виникає в результаті перетворення в ЗП частини потенційної енергії в кінетичну.

Різновиди ЗП показані на рис. 1.5, а-т; стандартні діафрагми — на рис. 1.5, а й б; стандартні сопла — на рис. 1.5, в; сегментна діафрагма — на рис. 1.5, г; ексцентрична діафрагма — на рис. 1.5, д; кільцева діафрагма — на рис. 1.5, е. Далі на рис. 1.5, ж-ж- н показані ЗП для малих чисел Рейнольдса: подвійна на рис. 1.5, ж; із вхідним конусом на рис. 1.5, з; з подвійним конусом на рис. 1.5, і; сопло півкола на рис. 1.5, до; сопло чверть кола на рис. 1.5, л; комбіноване сопло на рис. 1.5, ж; циліндричне сопло на рис. 1.5, н. На рис. 1.5, про показана діафрагма зі змінною площею отвору для автокомпенсації впливу зміни тиску й температури. Сопло Вентури показане на рис. 1.5, п, труба Вентури — на рис. 1.5, р, труба Далла — на рис. 1.5, з і подвійне сопло Вентури — на рис. 1.5, т. Витратоміри із ЗП мають найширше застосування для виміру витрати рідини, газу й пари.

2. Витратоміри з гідравлічним опором засновані на вимірі перепаду тиску, створюваного цим опором. Режим потоку в ньому прагнуть створити ламінарним, для того щоб перепад тиску був пропорційним витраті. Застосовуються рідко, переважно для виміру малих



витрат. Як перетворювач можуть служити капілярна трубка (реометр) або пакет таких трубок, показаний на рис. 1.5, в. Інший тип перетворювача для більших витрат з кульковим набиванням (рис. 1.5, *ф*).

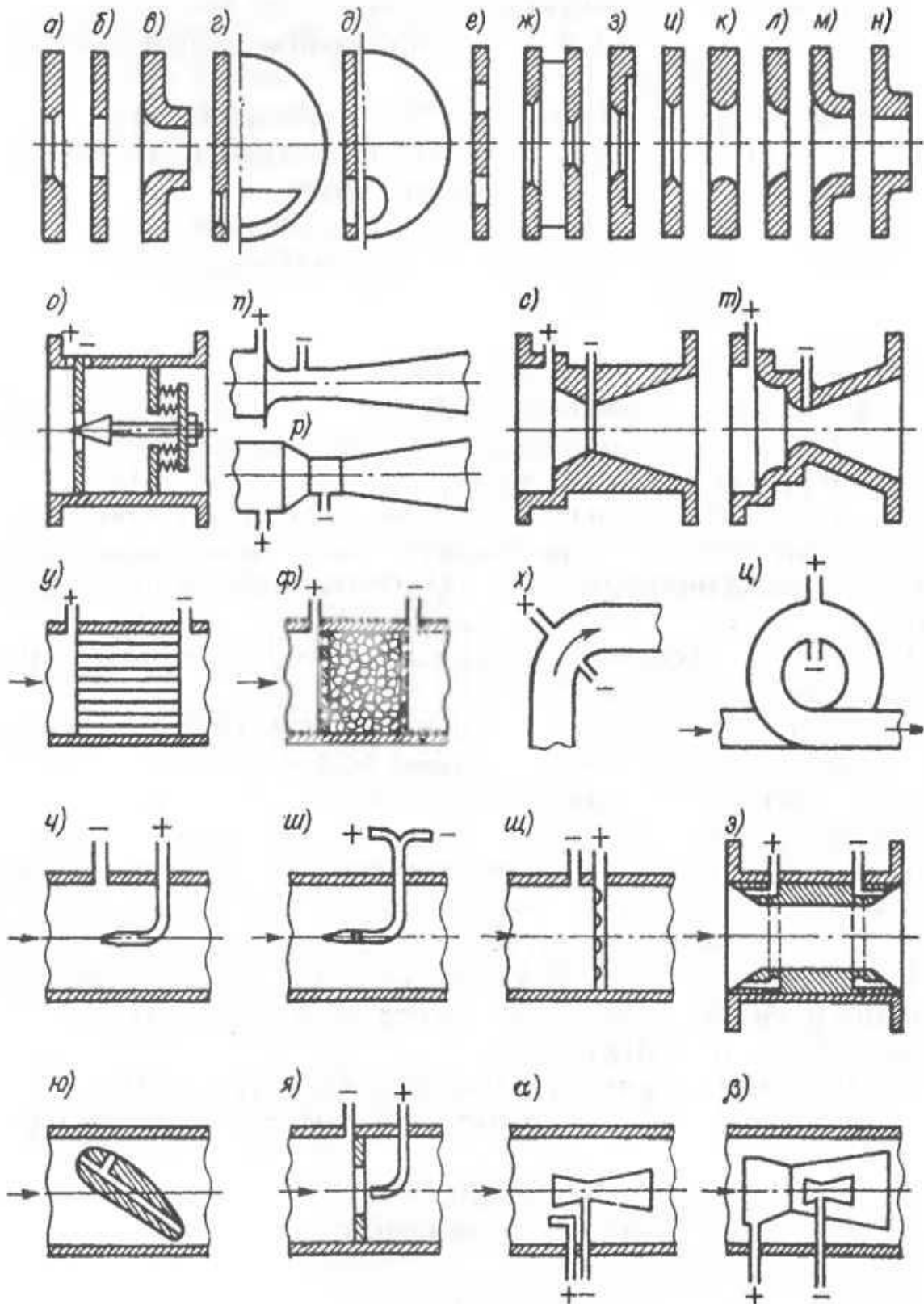


Рис. 1.5- Первинні перетворювачі витратомірів змінного перепаду тиску

3. Відцентрові витратоміри засновані на залежності витрати від перепаду тиску, що утвориться в закругленому елементі трубки під дією відцентрових сил у потоці. Перетворювачем витрати найчастіше служать коліно (рис. 1.5, х) або рідше кільцева ділянка труби (рис. 1.5. ц).

4. Витратоміри з напірним пристроєм засновані на виникаючому в ньому перепаді тиску залежно від витрати в результаті переходу кінетичної енергії частини потоку в потенційну. Класичний перетворювач цього витратоміра — трубка Пито для відбору повного напору в сполученні із трубкою для відбору статичного тиску. На рис. 1.5, год показані ці трубки в роздільному виконанні, а на рис. 1.5, ш — у комбінованому — диференціальна трубка Пито. Ці перетворювачі створюють перепад тиску залежно від місцевої швидкості. Поряд з ними запропоновані перетворювачі з осередненою напірними трубками по діаметрі (рис. 1.5, щ) або по радіусі, а при сильно деформованих потоках — по двох діаметрах. Крім того, запропоновані кільцева вставка (рис. 1.5, э) для усереднення тиску по кільцевій площі й напірне поворотне крило (рис. 15, ю) із двома отворами, орієнтованими різним образом до потоку. Можливість зміни кута установки крила (звичайно в межах  $45-90^\circ$ ) дозволяє застосовувати його при різних швидкостях потоку. За винятком двох останніх прикладів напірні пристрої знаходять широке застосування.

5. Витратоміри з напірним підсилювачем мають перетворювач витрати, у якому сполучаються напірне й звужуючі пристрою. Перепад тиску створюється в результаті як місцевого переходу кінетичної енергії потоку, так і часткового переходу потенційної енергії в кінетичну. На рис. 1.5, я показана комбінація діафрагми із трубкою Пито. На рис. 1.5, а - сполучення трубки Пито із трубкою Вентури, а на рис. 1.5, з - здвоєна трубка Вентури. Напірні підсилювачі застосовують при невеликих швидкостях газових потоків, коли перепад тиску, створюваний однією диференціальною трубкою Пито, дуже малий.

6. Витратоміри ударно-струминні засновані на залежності витрати від перепаду тиску, що виникає при ударі струменя. Струмінь, що випливає зі звужених отворів трубки, створює тиск  $p_1$  у внутрішній порожнині сільфона, зовні якого є менший тиск  $p_2$ , рівне тиску рідини, що йде. Ці прилади застосовують лише для зміни малих витрат рідини й газу.

Поряд з розглянутими існують і запропоновані інші різновиди приладів, у яких витрата визначається по перепаду тиску, створюваному перетворювачем витрати.

Крім того, є пропозиція вимірювати витрату рідини, що володіє парамагнітними властивостями, створюючи за допомогою магнітного поля (кільцевий магніт зовні труби або соленоїд, що харчується струмом) і пондеромоторної сили нерухливий місцевий кільцевий шар рідини, що прилягає до труби, що виконує роль звужуючого пристрою, і вимірювати перепад тиску на останньому. Досвіди на трубці, що мала зовнішній діаметр 13 мм, з феромагнітною рідиною на основі гасу (намагніченість насичення 20 кА/м; магнітна проникність 1,4 при індукції поля 0,043 Тл) підтвердили принципову можливість виміру. При витраті 30 див<sup>3</sup>/з перепад тиску був 1200 Па. На відміну від звичайних ЗП чутливість методу зростає в міру наближення до початку шкали.

#### **1.4 Сучасні вимоги до витратомірів і лічильників**

Ці вимоги численні й різноманітні. Задовольнити спільно всі вимоги дуже важко, якщо не неможливо. Одні типи приладів у більшій мері задовольняють одним вимогам, а інші - іншим. Тому при виборі того або іншого типу приладу варто виходити з порівняльної важливості тих або інших вимог, пропонованих до виміру витрати або кількості в кожному конкретному випадку.

1. **Висока точність виміру.** Це найважливіша вимога, особливо коли треба вимірювати не миттєву витрату, а кількість (масу або обсяг)

минулої речовини. Якщо раніше погрішність виміру в 1, 5-2 % уважалася прийнятною, то тепер нерідко потрібно мати погрішність не більше 0, 2-0,5 %. Ця досить мала погрішність уже досягнута в камерних лічильниках рідин (лопатових, роликово-лопатових) і ряді інших лічильників. Але такі лічильники не призначені для більших діаметрів труб. Тут переважно застосовують витратоміри із звужуючими пристроями. Для підвищення їх порівняно обмеженої точності використовують перетворювачі тиску, температури або щільності, вимірювальні сигнали яких надходять в обчислювальні пристрої, що вносять корекцію в показання витратоміра-дифманометра. Є витратоміри з погрішністю всього 0, 25-1,0% (тахометричні, вихрові, електромагнітні, ультразвукові), але не все з них придатні для більших трубопроводів.

2. **Висока надійність.** Це друга найважливіша вимога. Воно оцінюється часом, протягом якого прилад зберігає працездатність і досягнуту точність. Цей час залежить від типу приладу й від умов його застосування. Деякі витратоміри і їхні елементи, що не мають частин, що рухаються, можуть надійно працювати дуже довго. Так, труби Вентури, справне діють більше 60 років. Але тахометричні витратоміри й лічильники з ротором, що рухається, мають багато менший термін служби, що залежить від ступеня чистоти вимірюваної речовини і його здатності, що змазує. У технічних умовах на деякі турбінні витратоміри встановлений шестирічний повірочний строк нормальної роботи.

3. **Мала залежність точності виміру від зміни густини речовини.** Лише теплові й силові витратоміри, що вимірюють масову витрату, володіють цією коштовною властивістю. В інших типів приладів треба мати пристрої, що автоматично вводять корекцію на зміну щільності або хоча б температури й тиски вимірюваної речовини. Це особливо необхідно при вимірі витрати газу.

4. **Швидкодія приладу або його високі динамічні характеристики.** Це вимога важливо, коли витратомір застосовують у

системах автоматичного регулювання й при вимірі швидкозмінних витрат. Швидкодія зручно оцінювати значенням постійної часу  $T$  приладу, тобто часом, протягом якого його показання при стрибкоподібній зміні витрати від  $q_1$  до  $q_2$  змінюються приблизно на дві третини від значення  $(q_2 - q_1)$ . Є дуже більша градація швидкодії від  $T$ , вимірюваного сотими (і ще менш) частками секунди від турбінних, до  $T$ , вимірюваного десятками секунд у теплових витратомірів.

Для поліпшення швидкодії останніх застосовують особливі (диференціюючі) вимірювальні схеми. Витратоміри із звужувальними пристроями (ЗП) займають проміжне положення. Їхній час  $T$  тим менше, ніж коротше сполучні трубки, чим менше вимірювальний обсяг дифманометра й чим більше його граничний перепад тисків.

5. **Великий діапазон зміни ( $q_{\max}/q_{\min}$ ).** У приладів з лінійною характеристикою він дорівнює 8-20 і більше, а у витратомірів із ЗП, що мають квадратичну характеристику, він дорівнює лише 3-3- 10. Якщо буде потреба його можна підвищити до 16, підключаючи до ЗП два дифманометри з різними  $\Delta p_{\max}$ .

6. **Забезпеченість метрологічною базою.** Зразкові витратомірні установки, необхідні для градуювання й перевірки різних витратомірів, складні й дорогі. У країні їх порівняно небагато, і призначені вони переважно для перевірки витратомірів води й водолічильників. Одні лише витратоміри із ЗП не вимагають зразкових витратомірних установок, тому що для більшості їхніх різновидів були експериментально встановлені й нормовані їхні коефіцієнти витрат і розширення в міжнародному стандарті ISO 5167 і інших рекомендаціях ISO. На їхній основі випускаються в окремих країнах Правила по застосуванню витратомірів із ЗП. Сказане пояснює переважне застосування витратомірів із ЗП, тому що майже всі інші типи вимагають для своєї перевірки зразкових установок. У зв'язку з їхньою відсутністю й складністю транспортування первинних перетворювачів витрати, особливо більших розмірів, досить актуальна як

розробка імітаційних методів перевірки (вони вже розроблені для магнітних витратомірів), так і розробка методів перевірки на місці установки витратомірів без їхнього демонтажу (концентраційний, міточні і інші методи).

7. **Дуже великий діапазон витрат, що підлягають виміру.** Для рідини треба вимірювати витрати в межах від  $10^{-2}$  до  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  кг/год, а для газів — у межах від  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  кг/год, тобто витрати, що відрізняються на десять порядків. Особливі труднощі виникають при вимірі як дуже малих, так і дуже більших витрат. Тут нерідко доводиться застосовувати особливі методи виміру, наприклад парціальний (при більших витратах). Відносно простіше вимірювати середні витрати.

8. **Необхідність виміру витрати не тільки у звичайних, але й в екстремальних умовах,** при дуже низкою або дуже високій температурі й тиску. Так, витрата криогенних рідин, наприклад зрідженого водню, треба вимірювати при дуже низьких температурах (до  $-255$  °C), а витрата перегрітої пари надвисокого тиску й витрата розплавлених металів теплоносіїв — при температурах, що досягають  $+600$  °C.

Подібні умови створюють додаткові труднощі для забезпечення надійного виміру витрати.

9. **Широка номенклатура вимірюваних речовин.** Речовини можуть бути не тільки однофазними й однокомпонентними, але також багатофазними й багатокомпонентними. При цьому треба враховувати як особливі властивості речовини (агресивність, абразивність, токсичність, вибухонебезпечність і т.д.), так і його параметри (тиск, температура). Особливе завдання - вимір витрати розплавлених металів - теплоносіїв. Тим часом основні методи виміру витрати були розроблені для однофазних середовищ (для рідини, газу й пари). Тепер же усе актуальніше стає завдання виміру двофазних і навіть іноді трифазних речовин. Є наступні основні різновиди двофазних середовищ: гідросуміш або пульпа-суміш рідкої й твердої фаз - це водогрунтова суміш, целюлозно-паперова

пульпа, гідротранспорт і т.п.; суміш газоподібної й твердої фаз - це пиловугільне паливо, пневмотранспорт цементу й т.п.; суміш рідини з газом - це нафтогазова суміш і волога насичена пара. Вимірів їхньої витрати дуже важливо, хоча й представляє певні труднощі. Приклад трифазної суміші - газувана пульпа, а трикомпонентної - двофазна суміш нафти, води й газу.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ І ПЕРЕПАДОМ ТИСКУ НА ЗВУЖУЮЧОМУ ПРИСТРОЇ

### 2.1. Залежність між витратами та тиском

Виведемо формулу витрати для найпоширенішого витратоміра із звужувальними пристроями (ЗП) — стандартної діафрагми, що представляє собою тонкий диск із центральним круглим отвором діаметром  $d$ , що має гостру вхідну крайку. Діафрагма встановлена строго концентрично осі трубопроводу, що має діаметр  $D$ . Позначимо через  $A-A$  (рис. 2.1) розтин, від якого починається звуження потоку, а штриховою лінією — границі потоку, обумовленого проходом через отвір діафрагми. По інерції найбільшого звуження потік досягає в розтині  $B-B$ , що відстоїть від діафрагми на відстані  $(0,3 \div 0,8) D$ , залежно від відношення  $\beta = d/D$ . Потім потік починає розширюватися й знову досягає стінок трубопроводу в розтині  $3-3$ . На рис. 2.1 показана зміна швидкості й тиску в межах розтинів  $A-A$  й  $3$ .

Для рідини, щільність якої  $\rho = \text{const}$  і не залежить від тиску, швидкості обернено пропорційні площам потоку, при цьому максимальна швидкість  $v_b$ , досягається в розтині  $B-B$ , а швидкість  $v_c = v_a$ . Статичний тиск  $p_a$  до розтину  $A-A$  в стінки труби й у потоці те саме. У міру звуження потоку між розтинами  $A-A$  й  $У$  тиск у потоці падає (штрихова крива), тому що без цього неможливо зростання швидкості потоку. Тиск же в стінки зростає (суцільна крива) внаслідок падіння швидкості в мертвих зонах перед діафрагмою, досягаючи максимуму  $p_{1y}$  в кутах у стінки останньої. Після діафрагми тиск у кутах у стінки  $p_{2\theta}$ . Різниця  $\Delta p = p_{1y} - p_{2\theta}$  утворить перепад тиску, вимірюваний при кутовому методі добору. На ділянці від  $B-У$  до  $3$  тиск у потоці й у стінки поступово зростає до значення  $p_c$ , що багато менше, ніж початковий тиск  $p_a$  внаслідок втрат енергії на



вихороутворення й удари об діафрагму, причому основна частина втрат відбувається в мертвій зоні після діафрагми. Потік, що протікає з дуже великою швидкістю в розтині В-В,

захоплює за собою прилягаючі частки з мертвої зони, створюючи в ній деяке падіння тиску. Це викликає частковий рух рідини уздовж стінок від розтину 3-3 до розтину В-В.

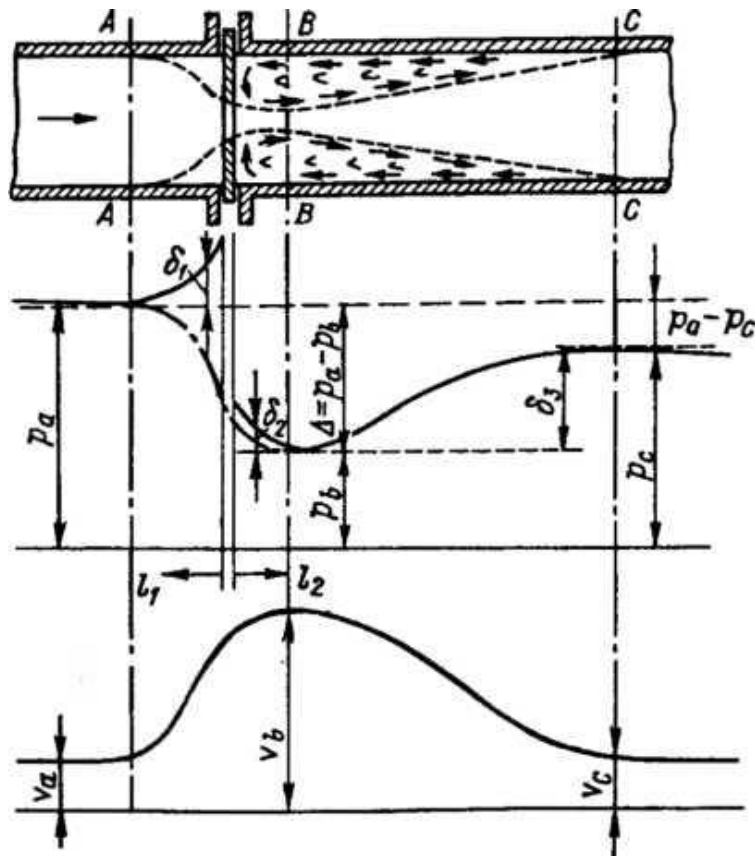


Рис. 2.1- Вимірювання тиску  $p$  і середній швидкості потоку  $v$  при проходженні через діафрагму:

- · — зміна  $p$  у стінки труби
- - - - - зміна  $p$  в рухомому потоці (у середині труби)

У результаті в мертвій зоні виникає сильне вихороутворення й відбувається значна втрата тиску. Вона становить від 40 до 90 % від перепаду ( $p_a - p_c$ ), у той час як втрата тиску від тертя й ударів у самій

діафрагмі становить не більше 2 % від  $(p_a - p_b)$ .

Вирішуючи рівняння, що виражає закон збереження енергії,

$$\int v dv = \int dp/\rho \quad (2.1)$$

разом з рівнянням нерозривності потоку

$$q_m = \rho q_0 = \rho v F = \text{const}, \quad (2.2)$$

де  $q_m$  і  $q_0$  — масова й об'ємна витрати, а  $F$  — площа поперечного переріза потоку, можна одержати залежність між  $q_m$  (або  $q_0$ ) і перепадами тиску  $(p_1 - p_2)$  або  $(p_a - p_b)$

Уважаючи трубопровід горизонтальним і  $\rho = \text{const}$ , що попередні рівняння приймають вид:

$$p_a/\rho + k_a v_a^2/2 = p_b/\rho + k_b v_b^2/2 + \xi v_b^2/2; \quad (2.3)$$

$$q_m = \rho v_a F_a = \rho v_b F_b; \quad (2.4)$$

де  $k_a$  й  $k_b$  — поправочні множники на нерівномірність розподілу швидкості в розтинах А-А й У відповідно;

$\xi$  — коефіцієнт опору на ділянці від А-А до В, віднесений до швидкості  $v_b$ ,  $p_a$  й  $p_b$  — площі потоку в розтинах А-А й У відповідно.

Відношення площі горловини потоку  $F_b$  до площі отвору діафрагми  $F_0$  називається коефіцієнтом звуження потоку  $\mu$ . Це дозволяє виразити  $F_b$  через  $\mu$  і  $F_0$  по рівнянню

$$F_b = \mu F_0 \quad (2.5)$$

Тоді з рівняння (2.4) одержимо, що

$$v_a = v_b \mu (F_0/F_b) = v_b \mu (d/D)^2 = v_b \mu^2,$$

де  $m = \beta^2 = (d/D)^2$  — відносна площа звужувального пристрою.

Підставляючи це значення  $v_a$  в рівняння (2.3) і вирішуючи його відносно  $v_b$ , одержимо

$$v_b = \sqrt{\frac{\psi}{\xi + k_b - k_a \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad (2.6)$$

Коефіцієнт добору  $\psi = (p_a - p_b)/(p_1 - p_2)$  у цьому рівнянні враховує, що в

загальному випадку крапки добору тисків  $p_1$  і  $p_2$  можуть не збігатися з розтинами А-А й В. Так, у нас і в більшості європейських країн застосовують кутовий метод добору тисків  $p_{1y}$  і  $p_{2e}$  у кутах, утворених вхідною й вихідною площинами діафрагми зі стінками труби. При цьому  $(p_1 - p_2) = (p_{1e} - p_{2y})$ . Якщо добір роблять у розтинах А-А й В, те коефіцієнт  $\psi = 1$ .

Підставляючи значення  $F_b$  і  $v_b$  з рівнянь (2.5) і (2.6) у рівняння (2.2), одержимо:

$$q_m = \alpha F_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)}; \quad (2.7)$$

$$q_0 = \alpha F_0 \sqrt{2(p_1 - p_2)/\rho}; \quad (2.8)$$

де

$$\alpha = \mu \sqrt{\psi} / \sqrt{\xi + k_b - k_a \mu^2 m^2} \quad (2.9)$$

називається коефіцієнтом витрати діафрагми, де  $m = \beta^2$ .

Формули (2.7) і (2.8) справедливі для рідин. Для газу й пари їх треба помножити на коефіцієнт розширення  $\varepsilon$ , що враховує збільшення питомого обсягу (зменшення щільності  $\rho$ ) газу й пари. З обліком  $\varepsilon$  одержуємо універсальні формули для  $q_m$  (кг/с) і  $q_0$  (м<sup>3</sup>/с) (у загальному виді праворуч за ДСТУ 8.563-97):

$$q_m = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} = C E \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho \Delta p}; \quad (2.10)$$

$$q_0 = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2\rho(p_1 - p_2)} = C E \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (2.11)$$

При  $\varepsilon = 1$  з них як окремий випадок одержуємо рівняння (2.7) і (2.8).

Очевидно, площа отвору ЗП  $F_0 = \pi d^2 / 4$

У міжнародному стандарті ISO 5167 коефіцієнт витрати для всіх ЗП представлений у вигляді двох співмножників по формулі

$$\alpha = EC \quad (2.11)$$

де  $E = 1/\sqrt{1 - \beta^4}$  — коефіцієнт швидкості ходу;

$C$ -Коефіцієнт витікання.

Причому завжди  $E \geq 1$ , а  $C \leq 1$ ,  $\beta = d/D$

Опис принципу дії ЗП, покладене в основу стандарту ISO 5167, орієнтовано лише на ті ЗП, у яких немає додаткового звуження потоку після виходу через отвір ЗП, тобто в яких  $\mu = 1$ . В ISO 5167 немає ніякого згадування  $\mu$ , а тим більше роз'яснення його фізичного змісту. Таким чином, розгляд принципу дії діафрагми відсутній в ISO 5167, одночасно відсутній і який-небудь аналіз коефіцієнта закінчення  $C$ , що роз'ясняв би, чому для сопів, а також сопів і труб Вентури  $C$  лежить у межах 0,9-0,995, а для діафрагм  $C \approx 0,6$ . А відповідь полягає в тому, що для всіх ЗП коефіцієнт  $C$  ураховує втрату енергії в самому ЗП, нерівномірність розподілу швидкостей по розтині й місце розташування добору тисків, тобто у формулі (9) ураховується коефіцієнтами,  $k_a, k_b$  и  $\Psi_a$  для діафрагми коефіцієнт  $C$  ураховує ще й коефіцієнт звуження  $\mu = 0,6 \div 0,69$ .

Спрощене вираження (2.9) коефіцієнта витрати  $\alpha$  можна пояснити й виправдати лише тим, що визначити конкретні значення теоретично з достатньою точністю по формулі (2.9) не можна. З великою точністю значення коефіцієнтів  $C$  і  $\alpha$  визначаються експериментально. Але цінність формули (2.9) полягає в тому, що її аналіз дозволяє виявити вплив на коефіцієнт витрати  $\alpha$  всіх вхідних у неї величин:  $\beta$ ,  $\mu$ ,  $\xi$ ,  $k_a$ ,  $k_b$  и  $\Psi$ .

## 2.2 Аналіз формули витрати

З отриманих формул витрати треба, що між ним і вимірюваним перепадом тиску  $\Delta p = p_1 - p_2$  існує квадратична залежність. У найпростішому виді ці формули можна виразити так:

$$q_m = k' \sqrt{\Delta p}; q_0 = k'' \sqrt{\Delta p}, \quad (2.13)$$

де  $k' = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2\rho}$ ;  $k'' = \alpha \varepsilon F_0 \sqrt{2/\rho}$ .

При градуванні витратомірних шкал дифманометрів приймають  $k' = \text{const}$  і  $\partial \theta'' = \text{const}$ . А це вимагає сталості всіх величин:  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $F_0$  і  $\rho$ , що визначає значення  $k'$  і  $\partial \theta''$ . На жаль, ця вимога не виконується.

Не існує ЗП, що забезпечувало б сталість  $\alpha$  (С) для даного  $\beta = d/D$  при будь-яких витратах (або, точніше, у будь-якій області чисел Рейнольдса  $Re$ ), тому що на  $\alpha$  можуть впливати в'язкість  $\mu(v)$ , щільність  $\rho$ , швидкістю  $v$ , (а виходить, і витрата  $q$ ) вимірюваної речовини, а також діаметр (або, точніше, відношення  $d/D$ ). Число Рейнольдса  $Re$  - це безрозмірна величина, що є відношенням сил інерції потоку до сил в'язкісного тертя в ньому,

$$Re = v\rho D/\mu = vD/\nu, \quad (2.14)$$

де  $\mu$  - динамічна, а  $\nu$  - кінематична в'язкість речовини, причому  $\nu = \mu/\rho$ .

З огляду на, що  $\nu = 4q_0 = (\pi D^2)$  і  $q_m = q_0 \rho$ , одержимо:

$$Re = 0,354 q_m / (D \mu) = 0,354 q_m / (D \rho \nu); \quad (2.15)$$

$$Re = 0,354 q_0 \rho / (D \mu) = 0,354 q_0 / (D \nu); \quad (2.16)$$

Де  $\mu$  у Н·с/м<sup>2</sup>,  $\nu$  в м<sup>2</sup>/з,  $\rho$  у кг/м<sup>3</sup>,  $q_m$  в кг/год,  $q_0$  у м<sup>3</sup>/год,  $D$  в м.

Якщо ж вимірювати  $\mu$  у кгс·с/м<sup>2</sup>, то

$$Re = 0,0361 q_m / (D \mu), \quad (2.17)$$

$$Re = 0,0361 q_0 \rho / (D \mu), \quad (2.18)$$

Із цих формул треба, що число  $Re$  пропорціонально витраті.

При більших числах Рейнольдса ( $Re > 10^5 + 10^6$ ) коефіцієнти  $C$  і  $\alpha$  зберігають дуже гарна сталість, особливо в таких СУ, як діафрагма, сопло, сопло Вентури й труба Вентури, особливо перші два. Для малих же чисел  $Re$ , аж до  $Re = 40$ , розроблені інші типи ЗП.

Значення коефіцієнта розширення  $\varepsilon$  безупинно зменшується від

початку шкали до  $q_{\max}$ . Це треба враховувати як додаткову погрішність, або ж варто вносити виправлення на зміну  $\varepsilon$  за допомогою обчислювального пристрою залежно від відношення  $\Delta p / p$ .

Площа отвору ЗП зберігається постійної завдяки тому, що ЗП виготовляється з матеріалу, стійкого до корозії й ерозії. Проте притуплення вхідних крайок діафрагми неминуче, і при малих  $d < 125$  мм треба вводити виправлення  $K_n$  к  $C$  і  $\alpha$ .

Гарантувати сталість щільності  $\rho$  вимірюваної речовини (особливо газу або пари) не можна. Необхідно вводити поправочний множник  $k_m$  (при  $q_m$ ) і  $k_0$  (при  $q_0$ ):

$$k_m = \varepsilon \sqrt{\rho} / \varepsilon_{\Gamma} \sqrt{\rho_{\Gamma}} \approx \sqrt{\rho / \rho_{\Gamma}}$$

$$k_0 = \varepsilon \sqrt{\rho_{\Gamma}} / \varepsilon_{\Gamma} \sqrt{\rho} \approx \sqrt{\rho_{\Gamma} / \rho}$$

де  $\rho_{\Gamma}$  — щільність, прийнята при градуюванні;  $\rho$  - дійсна щільність.

Дійсну щільність газу  $\rho$  звичайно визначають, вимірюючи його температуру  $T$  і тиск  $p_1$ .

Для вологого газу

$$\rho = \rho_c (p_1 - \varphi p_{\text{в.п.}}) \cdot T_c / (p_c T_1 K) + \varphi \rho_{\text{в.п.}} \quad (2.19)$$

де  $\rho_c = 101\,325$  Па (760 мм рт. ст.) і  $T_c = 293,15$  К — нормального тиск і температура;

$\rho$  — щільність сухої частини газу при  $p_c$  і  $T_c$ ;

$K$  — коефіцієнт стискальності газу;

$\varphi$  — відносна вологість газу;

$p_{\text{в.п.}}$  — максимально можливий парціальний тиск водяної пари при  $T_1$ ;

$\rho_{\text{в.п.}}$  — найбільша можлива щільність пари при  $p_1$  і  $T_1$ .

Для сухого газу

$$\rho = \rho_c p_1 T_c / (p_c T_1 K). \quad (2.20)$$

Основні недоліки витратомірів із ЗП наступні:

1. Внаслідок впливу погрішностей багатьох величин ( $\alpha, \varepsilon, \rho, \Delta p$ ), що входять у формулу витрати, загальна гранична відносна погрішність виміру витрати звичайно не менш 1-2 %, іноді й вище.
2. Квадратична залежність між витратою й перепадом тиску обумовлює звичайно малий діапазон зміни ( $q_{max} / q_{min} = 3+4$ ) і нерівномірність шкали приладу. Останній недолік можна усунути, увівши в передачу приладу лекало, що має параболічний профіль, або іншим способом - наприклад за допомогою обчислювального пристрою.

Достоїнства витратомірів із ЗП наступні:

1. Придатні для будь-яких однофазних речовин і в дуже широкому діапазоні тисків, температур і витрат.
2. Не вимагають зразкових витратомірних установок для градуювання й перевірки у випадку застосування нормалізованих СУ.

### 2.3 Аналіз коефіцієнта витрати $\alpha$

Для виявлення впливу величин  $\beta, \mu, \psi, k_a, k_b$  і  $\xi$  на коефіцієнт витрати  $\alpha$  представимо рівняння (2.9) у вигляді добутку ряду співмножників, кожний з яких характеризує вплив тої або іншої з перерахованих величин:

$$\alpha = E k_E \mu k_\psi k_k k_\xi \quad (2.21)$$

Перший множник

$$E = 1/\sqrt{1 - \beta^4} - 1/\sqrt{1 - (v_1/v_0)^2} \quad (2.22)$$

визначає частку участі початкової кінетичної енергії  $\rho v_1^2/2$  в утворенні кінетичної енергії  $\rho v_0^2/2$  у вихідному отворі ЗП. У стандартному соплі й інших ЗП, де немає додаткового звуження потоку й коефіцієнт  $\mu = 1$ , швидкість  $v_0 = v_1$  тому  $E$  визначає одночасно частку участі  $\rho v_1^2/2$  в утворенні  $\rho v_2^2/2$  у горловині потоку. У діафрагмі ж ця частка буде визначатися коефіцієнтом  $E$  по формулі

$$E_k = 1/\sqrt{1 - \mu^2 \beta^4}. \quad (2.23)$$

Позначимо відношення  $E_k$  до  $E$  через  $k$ , тобто

$$E_k = k_E E \quad (2.24)$$

Назвемо  $k$  поправочним множником до коефіцієнта швидкості входу  $E$  для одержання  $E_k$ . При  $\mu = 1$  маємо  $E_k = 1$ . Цей множник буде другому, підлягаючому нашому аналізу.

Третій співмножник у формулі (2.21) - це коефіцієнт звуження  $\mu$ .

Четвертий співмножник

$$k_\psi = \sqrt{\psi} \quad (2.25)$$

залежний лише від місць добору тисків  $p_1$  і  $p_2$ , назвемо коефіцієнтом добору.

П'ятий співмножник  $k_\xi$ , що залежить від  $\xi$ , ураховує втрати енергії в самій діафрагмі, може бути названий коефіцієнтом втрат,

$$k_\xi = \sqrt{1 - \mu^2 \beta^4} / \sqrt{1 - \mu^2 \beta^4 + \xi} \quad (2.26)$$

Якщо  $\xi = 0$ , то  $k_\xi = 1$ .

Шостий співмножник  $k_k$ , що залежить від коефіцієнтів  $k_a$  й  $k_b$ , назвемо коефіцієнтом розподілу швидкостей. Він має вигляд

$$k_k = \sqrt{1 - \mu^2 \beta^4 + \xi} / \sqrt{k_b - k_a \mu^2 \beta^4 + \xi} \approx \sqrt{1 - \mu^2 \beta^4} / \sqrt{k_b - k_a \mu^2 \beta^4} \quad (2.27)$$

Коефіцієнт  $k_k$  від  $\xi$  практично не залежить, тому що, думаючи  $\xi=0$ , одержимо помилку менш 0, 2-0,3 %. Якщо  $k_a$  й  $k_b$ , рівні 1, то й  $k_k = 1$ .

Для сопів і інших ЗП, у яких немає додаткового звуження потоку,  $\xi=1$  і  $k = 1$ . Тоді формула (2.22) приймає вид

$$\alpha = E k_\psi k_k k_\xi \quad (2.28)$$



Коефіцієнт витікання  $Z$ , виражений через співмножники, має вигляд:  
для діафрагми

$$C = k_E \mu k_\psi k_k k_\xi$$

для сопла

$$C = k_\psi k_k k_\xi$$

Коефіцієнт  $C$  характеризує лише процеси, що відбуваються в самому ЗП.

### 3 АНАЛІЗ МЕТОДИК ВИМІРЮВАНЬ РІДИНИ І ГАЗОВ

Проблема виміру витрати в трубопроводах більших діаметрів (понад 1 м) є самостійною проблемою, що вирішується своїм специфічним шляхом. Це обумовлюється тим, що використання для цих цілей витратомірів, що реалізують традиційні методи, що вимагає колосальних витрат як на створення самих приладів, так і на створення засобів їх індивідуальної градування й перевірки, які в цей час практично повністю відсутні.

Остання обставина й визначає, в основному, ті специфічні вимоги, які пред'являються до методів і засобів виміру витрати в трубопроводах більших діаметрів:

- можливість непрямої (розрахункової) градування без застосування витратомірних стендів і установок;
- інваріантність (незалежність) градування характеристик до діаметра трубопроводу або можливість їхнього перерахування з малих діаметрів (для яких є зразкові установки) на як завгодно більші.

#### **Метод змінного перепаду тиску**

Метод вимірювання витрат за перепадом тиску базується на залежності перепаду тиску в нерухомому встановленому в трубопроводі пристрої, що звужується, від витрати вимірюваної речовини (рідина, газу, пари). Звужуючий пристрій – наприклад, діафрагма (рис. 3.1) – тонкий диск з круглим отвором уздовж осі труби. Вхідна частина отвору має циліндричну форму, що переходить в конічне розширення. Після перерізу А струмінь звужується і середня швидкість потоку підвищується. Завдяки інерційності струмінь продовжує звужуватися і на деякій відстані після діафрагми. Місце найбільшого звуження знаходиться в перерізі В. Зростання швидкості на ділянці АВ супроводжується зменшенням статичного тиску від початкового значення  $P_A$  до мінімального  $P_B$ .

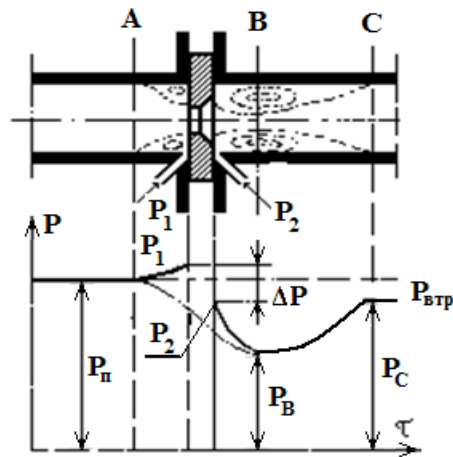


Рис. 3.1. - Принцип вимірювання витрати за перепадом тиску

Крім діафрагм для звужування потоку використовують також сопла (рис. 3.2) і труби (рис.3.3) Вентури. Як відмічалось раніше, всі звужуючі пристрої і правила вимірювання витрати газів та рідин з їх допомогою стандартизовані та нормалізовані.

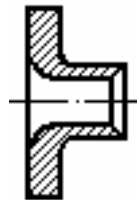


Рис.3.2 – Сопло Вентури

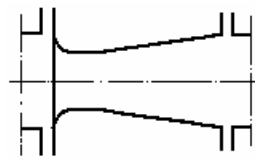


Рис.3.3 – Труба Вентури

Перевагами методу змінного перепаду тиску (фактично єдиного стандартизованого у повному обсязі) є:

- зручність і універсальність;

- уніфікація і взаємозамінність елементів вимірювальної схеми (звужуючого пристрою, дифманометра, з'єднувачів, допоміжних і вторинних пристроїв);

- можливість визначення градууювальної характеристики витратоміра розрахунковим шляхом;

- можливість вимірювання витрати рідин, газів і пари при різних температурах і тисках.

Однак, даному методу властиві й серйозні недоліки, основні з яких зумовлені:

- нелінійністю зв'язку об'єкта вимірювання (перепаду тиску) з вимірюваним параметром ( $Q$  або  $M$ );

- можливістю застосування для вимірювання тільки однофазних текучих середовищ;

- складністю промислового застосування при невеликих витратах ТС, у пульсуючих потоках, потоках, що містять сторонні домішки;

- невеликим діапазоном вимірювання;

- потребою в наявності достатньо довгих прямих відрізків трубопроводу;

- обмеженням максимального діаметра трубопроводу.

### **Електромагнітний метод**

До найбільш ефективних засобів вимірювання гідродинамічних параметрів рухомих середовищ відносяться засоби, що реалізують електромагнітний метод вимірювання витрат.

Електромагнітні витратоміри мають низку переваг і, в першу чергу:

- покази витратоміра не залежать від в'язкості і густини рідини, наявності непровідних твердих та газоподібних включень;

- шкала приладу лінійна;

- перетворювач витрат практично безінерційний і не створює втрат тиску.

Електромагнітний метод вимірювання витрат базується на фундаментальному законі електродинаміки, згідно з яким, під час руху електропровідної рідини у магнітному полі в ній індукується електрорушійна сила.

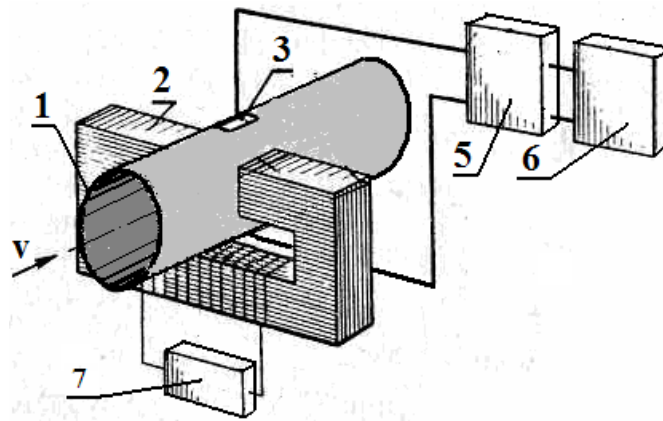


Рис.3.4 - Схема електромагнітного витратоміра

### Турбінний метод

Витратоміри, принцип дії яких ґрунтується на перетворенні швидкості руху робочого тіла, що обертається під впливом потоку, в пропорційну об'ємну витрату вимірюваного середовища, називають тахометричними. В більшості випадків робоче тіло – перетворювач витрати – це турбіна, кулька й т. ін.

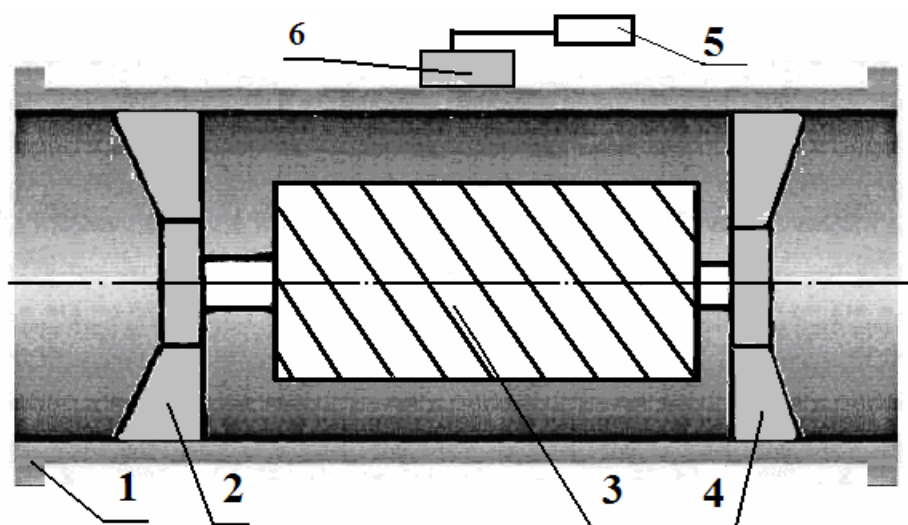


Рис.3.5 – Схема турбінного витратоміра

Перевагами турбінних витратомірів є:

- широкий діапазон фізико–хімічних властивостей середовища;
- мала інерційність, що забезпечує вимірювання середніх і миттєвих витрат з мінімальними похибками;
- висока точність: границі відносної похибки турбінних витратомірів складають  $\pm(0,10 - 1,0)\%$  [24].

Однак, цим ЗВТ притаманний і ряд принципових недоліків, які обумовлені в першу чергу наступним:

- наявністю механічного тертя деталей та складових частин витратоміра;
- чутливістю до механічних забруднень середовища, пневмоударів;
- наявністю опору у ВТ, в результаті чого виникають втрати тиску;
- більш вузьким діапазоном типорозмірів.

**Парціальний метод виміру витрати** заснований на вимірі витрати певної частини основного потоку і відведеної в байпасную або обвідну трубку.

Частина потоку приділяється звичайно за допомогою звужувального пристрою(ЗП), встановленого в трубопроводі так, як це показано на рис. 3.6.

Якщо між витратою  $Q$  в основному трубопроводі й витратою  $q$  існує стабільна функціональна залежність  $Q = f(q)$  то за результатами виміру  $q$  у кожному конкретному випадку можна визначити  $Q$ . Для цього необхідно лише визначити залежність між  $Q$  і  $q$  при безпосередній (в обмеженій області) або розрахункової градуюванні (наприклад, по співвідношенню опорів основного й байпасного трубопроводів).

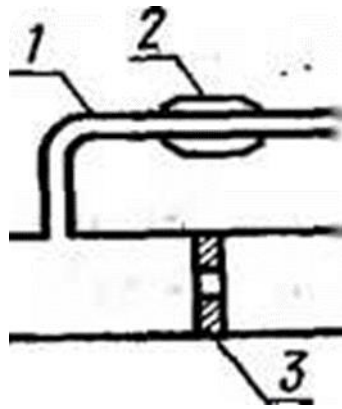


Рис. 3.6 - Схема здійснення парціального методу виміру витрати:  
 1 — байпасна трубка; 2 — витратомір; 3 — діафрагма, встановлена в основному трубопроводі

Погрішність виміру витрати парціальним методом буде складатися з погрішностей установлення й стабільності залежності  $Q=f(q)$  і виміру витрати в байпасі.

#### **Вимір витрати методом гідравлічного удару.**

Гідравлічний удар, що виникає при швидкому перекритті потоку краплинної рідини (за рахунок інерційного впливу раптово зупиненої маси рідини), викликає коливання тиску в трубопроводі, фронт яких поширюється зі швидкістю звуку. Процес зміни тиску в перетині трубопроводу, що перебуває на відстані  $L$  перед засувкою, що перекриває потік, графічно зображений на рис. 3.7, на якому  $p_0$  — початковий статичний тиск у контрольному перетині;  $p_k$  — кінцевий статичний тиск у тій же перетині.

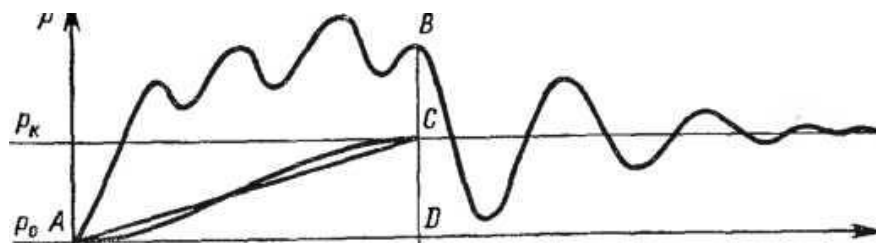


Рис. 3.7 - Графік зміни тиску в трубопроводі при гідравлічному ударі

Крпка  $A$  відповідає початку перекриття потоку засувкою, крпка  $B$  — закінченню.. Загасаючі коливання після закриття засувки (після закінчення часу  $\Delta t$  характеризують лише інерційні властивості приладу, застосованого для запису змін тиску.

Лінія  $AC$  характеризує зміну тиску, пов'язане зі зміною гідравлічного опору засувки при переміщенні її затвора, а лінія  $AB$  — зміна тиску внаслідок гідравлічного удару.

Закон кількості руху при гідравлічному ударі має вигляд

$$\rho L Q = F \int_0^{\Delta t} \Delta p dt \quad (3.1)$$

де  $\int_0^{\Delta t} \Delta p dt$  — імпульс ударної хвилі, рівний площі  $f_\Delta$  діаграми зміни тиску, обмеженої лініями  $AB$  і  $AC$ ;  $F$  — площа перетину трубопроводу.

Звідки шукана об'ємна витрата

$$Q = \frac{F}{\rho L} f_\Delta \quad (3.2)$$

Таким чином, планиметрирую діаграму зміни тиску, вимірявши попередньо діаметр трубопроводу ( $a$ , отже, і  $R$ ), довжину контрольної ділянки!, і щільність середовища, що протікає, по вираженню (3.2) можна розрахувати об'ємна витрата.

Даний метод застосовують при випробуваннях гідравлічних машин і насосів, тобто в тих випадках, коли витрата можна вимірювати після відтворення (а не в процесі випробувань) певних режимів випробувань.

### ***Вимір витрати за допомогою інтегруючої трубки.***

Інтегруюча трубка являє собою циліндричний зонд, що повністю перетинає потік по діаметрі водовода. По утворюючої трубки просвердлений ряд отворів для відбору тиску потоку, що набігає.

Статична характеристика інтегруючої трубки має вигляд

$$Q = \varphi \omega \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (3.3)$$



де  $\Delta p$  — перепад тисків, що відбираються наприкінці інтегруючої трубки й зі стінок водовода;  $\varphi$  — коефіцієнт витрати трубки;  $\omega$  - площа перетину отворів.

Авто модельність коефіцієнта витрати  $\varphi$  для трубок з відношенням товщини стінки до діаметра отвору, рівним 0,33, настає при числах Рейнольдса, більших 106. Значення  $\varphi$  при цьому стійко прагне до одиниці.

У цих умовах можливість розрахункової градуировки інтегруючих трубок обумовлюється відповідністю величини  $\sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$  середньої швидкості потоку.

Однак вплив температури вимірюваного середовища, пульсацій тиску й витрати, труднощі технологічного порядку не дозволяють на сьогоднішній день одержати погрішності виміру витрати інтегруючими трубками, менші 6—8 %. Крім того, область застосування даних пристроїв обмежується виміром витрати чистих однофазних речовин.

### Методи змішання.

Принцип вимірів, що лежить в основі цих методів, полягає в наступному. У речовину, що протікає по трубопроводу, вводять розчин реагенту („щеплення”) і визначають кратність розведення цього реагенту в потоці речовини.

Рівняння балансу реагенту, що вводиться в потік, має вигляд

$$q_1 + QC_2 = (Q+q)C_2, \quad (3.4)$$

де  $q$  — витрата розчину реагенту, що вводиться в потік;  $C_0, C_1, C_2$  — концентрації реагенту відповідно в середовищі до „щеплення” у розчині реагенту й у суміші, що відбирається з потоку після „щеплення”.

Відповідно до вираження (3.4) рівняння вимірів даним методом буде

$$Q = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0} q = Kq, \quad (3.5)$$

де  $K = \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$  коефіцієнт розведення.

Якщо в самій вимірюваній речовині не втримується домішок реагенту, що вводиться, або вони мізерно малі, то  $K=C1/C2 - 1$

Витрата  $q$  може бути обмірюваний з досить високою точністю, чого не можна сказати про точність виміру величини  $Q$ . Дійсно, якщо концентрація реагенту ( $C2$ ) в, що відбирається з потоку пробі ненабагато перевищує його концентрацію в „чистому” середовищі ( $C0$ ), а саме до цього й прагнуть при реалізації методу, ті навіть незначні погрішності вимірів  $C2$  і  $C0$  приведуть до істотно недостовірної оцінки величини  $K$ .

Методи змішання використовують у цей час винятково для виміру витрати води в циліндричних водоводах. Як реагенти в розчинах з концентрацією  $10^{-4}$ — $10^{-10}$  мг/л застосовують дихромат натрію, хлорид натрію, родамин і інші хімічно пасивні до води речовини (в основному, солі). Застосовують і радіоактивні „щеплення”, наприклад, ізотопи бромю, натрію, йоду. Використання радіоактивних реагентів дозволяє здійснити безконтактні виміри, однак вимагає забезпечення спеціальних, умов роботи.

**«Точечні» методи** засновані на вимірі локальної швидкості в одній якій-небудь крапці потоку й визначенні витрати по теоретичній або емпіричній залежності між обмірюваною локальною й середньою швидкостями потоку.

Локальну (місцеву) швидкість можна вимірювати різними методами (оптичними, акустичними, тепловими) і приладами (трубки швидкісного напору, мікровертушки, термоанемометри, електромагнітні вимірники швидкості й ін.).

### **Ультразвуковий метод**

Ультразвуковий метод вимірювання витрат використовує:

- залежність швидкості розповсюдження ультразвукової хвилі від швидкості та напрямку потоку вимірюваного середовища;
- зміни, які виникають при відбитті ультразвукової хвилі від неоднорідностей вимірюваного середовища, тобто ефект Доплера.

Принципова схема ультразвукового витратоміра (УЗВ) наведена на рис. 3.8.

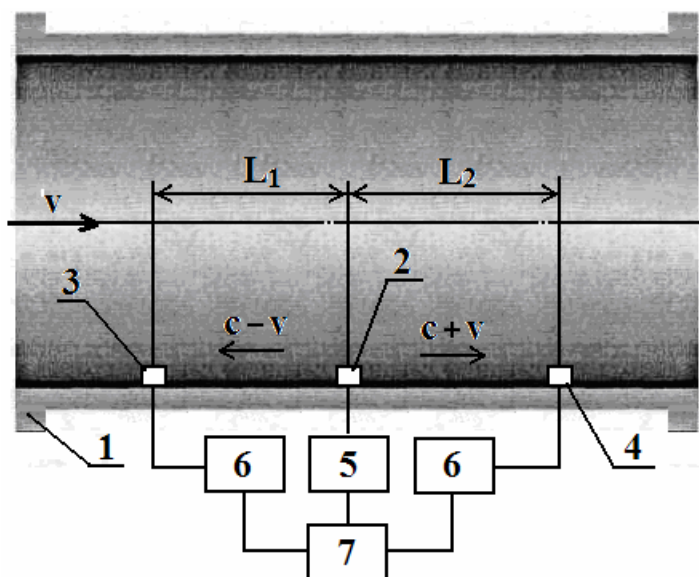


Рис.383 - Схема витратоміра з послідовним розташуванням п'єзоелементів

Переваги ультразвукових витратомірів полягають у наступному:

- теоретично необмежений діапазон вимірювань;
- невисока похибка ультразвукових витратомірів -  $\pm (0,5 - 2,5)\%$ .
- можливість застосування витратомірів для вимірювальних трубопроводів (ВТ) великих діаметрів;
- висока надійність первинного перетворювача, зумовлена відсутністю рухомих частин;
- висока надійність приймально-передавальних елементів;
- можливість безконтактного вимірювання будь-яких ТС.

До недоліків розглянутих ультразвукових витратомірів слід віднести:

- залежність швидкості розповсюдження ультразвуку від фізико-хімічних характеристик вимірюваного середовища, зокрема від його густини, яка є мінливою зі зміною тиску, температури, складу,

концентрації компонентів вимірюваних речовин, що треба компенсувати або враховувати при обробці результатів вимірювань;

- чутливість до спотворень структури потоку, викликані наявністю місцевих опорів (МО);

- невеликий досвід практичної експлуатації, відсутність статистики з довготривалої стабільності;

- недостатньо розвинута нормативна база;

Таким чином, виконаний аналіз метрологічних та експлуатаційних характеристик найбільш перспективних методів, побудованих на їх основі засоби вимірювальної техніки, вимірювання витрати різних середовищ, дозволяє зробити висновок про перспективність ультразвукового методу в плані можливості створення на його основі сучасного національного витратоміру природнього газу та витратоміру рідини з високими метрологічними характеристиками.

## **4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ВИМІРЮВАНЬ ВИТРАТ**

Об'єктивними причинами створення методик виконання вимірювань (МВВ) в метрологічній діяльності стали два принципи забезпечення єдності вимірювань, а саме результати вимірювань повинні виражатись в одиницях фізичних величин Міжнародної системи одиниць і повинна бути відома похибка вимірювань.

Робочу МВВ необхідно розробляти у двох випадках: – якщо вимірювання виконуються методом безпосередньої оцінки, а в технічній документації ЗВТ немає даних про показники точності вимірювань або вказівок про їх розрахунок; – якщо вимірювання виконуються будь-яким іншим методом, для якого необхідно розробити алгоритм розрахунку результату і показників точності вимірювань.

МВВ у залежності від складності та галузі використання викладають у:

- окремих нормативних документах;
- розділі або частині нормативного документа.

Нормативні документи (стандарти), які регламентують методики виконання вимірювань, розробляють на основі атестованих МВВ. Якщо МВВ, яка Вам потрібна, не викладена у нормативному документі, її необхідно розробити згідно Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Основні положення [3].

Розробку МВВ здійснюють на основі початкових даних, до складу яких входять: призначення МВВ, вимоги до діапазону та похибки вимірювань, умов проведення вимірювань, інших вимог до МВВ, а також вимог до параметрів об'єкту контролю, значення яких контролюються за

результатами вимірювань. Початкові данні викладають у технічному завданні або інших документах на розробку МВВ.

Рекомендації щодо розроблення та реалізації методик виконання вимірювань. Розроблення та реалізацію МВВ необхідно виконувати поетапно:

- поставлення завдання щодо вимірювання; – визначення вимог до МВВ;
- вибір та підтвердження можливості реалізації МВВ;
- визначення варіанта створення МВВ;
- розроблення проекту документа, що регламентує МВВ (стандарт, технічні умови, рекомендації тощо) [1, 2];
- метрологічна експертиза проекту документа, що регламентує МВВ;
- визначення необхідності атестації МВВ;
- атестація МВВ;
- затвердження та реєстрація МВВ;
- формування МВВ;
- вимірювання за МВВ;
- метрологічний контроль та нагляд за атестованими МВВ;
- коригувальні дії щодо атестованої МВВ;
- поліпшування атестованої МВВ.

Затвердження та реєстрація методик виконання вимірювань. Затвердження та реєстрацію МВВ здійснюють відповідно до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність”, Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Основні положення [3], ДСТУ 4134-2002 “Метрологія. Канали вимірювальні вимірювальних інформаційних систем та автоматизованих систем керування технологічними процесами. Вимоги до структури та змісту методик виконання вимірювань та документів систем управління якістю підприємств” [4] та документів систем управління якістю підприємств.

Формування методики виконання вимірювань. Методику виконання вимірювань формують (реалізують) відповідно до вимог, встановлених документом, що регламентує МВВ щодо функціональної структурної схеми МВВ та специфікації до неї.

Вимірювання за методикою виконання вимірювань. Вимірювання за МВВ виконують відповідно до вимог документа, що регламентує МВВ щодо послідовності та змісту операцій з підготовки і проведення вимірювання, умов вимірювання, кваліфікації персоналу, який виконує вимірювання, тощо.

Коригувальні дії щодо атестованої методики виконання вимірювань. Коригувальні дії щодо атестованої МВВ виконують за результатами метрологічного нагляду та метрологічного контролю за атестованими МВВ у випадках: – невиконання вимог МВВ; – визначення ЗВТ/ВК, які входять до складу МВВ, не придатними для використання за результатами їх повірки (калібрування). У випадку невиконання вимог МВВ потрібно розробити та виконати відповідні заходи щодо забезпечення виконання вимог, які встановлено у МВВ. У випадку визначення ЗВТ/ВК не придатними для використання потрібно провести ремонт, юстирування, налагодження або заміну відповідних ЗВТ/ВК. Якщо коригувальні дії не є результативними, дію атестованої МВВ має бути припинено (МВВ анульована) з відповідною позначкою в реєстрі МВВ.

## **4.1 Коректор газу В25**

### **4.1.1 Призначення**

Коректор обсягу газу В25 призначений для використання в промисловості. Перетворить обсяг газу, обмірюваний лічильником з імпульсним виходом (у тому числі типу «сухий контакт»), в обсяг при стандартних умовах з обліком діючі робочі температури, тиски й хімічний

склад газу відповідно ДО ДЕРЖСТАНДАРТУ 30319.2-96. Коректор може застосовуватися при обліку газу, у тому числі комерційному, на газорозподільних пунктах, промислових об'єктах, об'єктах енергетики й комунальне господарство. Коректор може застосовуватися в складі автоматизованих систем обліку газу.



Рис.4.1 – Коректор об'єму газу B25

Накопичує масиви даних вартових, добових і місячних інтервалів часу, а також робочих корекцій і аварійних подій. Зчитування накопиченої архівної інформації через приладові кабельні й інфрачервоний оптичний інтерфейси на комп'ютер або адаптер. Приладовий інтерфейс забезпечує



одночасне підключення до двадцяти коректорів і передачу інформації з кабелю на відстань до 2500 м. Реалізовано зв'язок по телефонному й GSM модемах, каналу інтернет. Реалізовано програмний комплекс мережного автоматичного збору даних. Можливість безпосередньої роздруківки звітів на принтері реалізована за допомогою адаптера B25A. Обчислення обсягу газу по методах NX-19mod, GERG-91mod, ВУС АГА 8-92DC. Автоматичний перехід на зимовий і літній час. Режим відкладеного до призначеного часу уведення параметрів газу: дозволяє автоматично синхронізувати зміна параметрів у групі коректорів.

До складу коректора входять: обчислювач, датчик тиску, датчик температури, а також як додаткові опції: сервісний адаптер B25A - далі по тексту адаптер, перехідник RS232 (або перехідник USB) зв'язку з комп'ютером, телефонним модемом, GSM модемом, перехідник GPRS зв'язку з мережею Інтернет за допомогою протоколу GSM/GPRS - далі по тексту перехідник, кабельний розгалужувач - далі по тексту розгалужувач, приладовий бокс, адаптер електричної мережі.

#### 4.1.2 Технічні дані

Коректор забезпечує вимір і індикацію:

- 1) температури (К, °С) і абсолютного тиску газу (кПа, МПа),
- 2) обсяг газу в робочих умовах (м<sup>3</sup>),
- 3) обсяг газу при стандартних умовах (м<sup>3</sup>) при абсолютному тиску 0,101325 МПа й температурі 20 °С,
- 4) обсяг газу в робочих умовах в аварійних ситуаціях (м<sup>3</sup>),
- 5) обсяг газу при стандартних умовах в аварійних ситуаціях (м<sup>3</sup>),
- 6) витрати газу при стандартних умовах (м<sup>3</sup>/ч),
- 7) витрати газу в робочих умовах (м<sup>3</sup>/ч),
- 8) температури газу (ДО, °З),
- 9) абсолютного тиску газу (кпа, Мпа),
- 10) коефіцієнта корекції й коефіцієнта стискальності газу,

- 11) часу роботи, що тече часу й дати,
- 12) максимальної й мінімальної теплоти згоряння газу (МДж/м<sup>3</sup>),
- 13) системних параметрів.

*Вимір температури газу:* Використовується термопреобразователь опору з характеристикою  $R_t$  1000 із чотирьохпровідною схемою підключення. Діапазон виміру - мінус 40...+70 °С (230...340 К). Межа абсолютної погрішності, що допускається, виміру -  $\pm 0,1$  С.

*Вимір тиску газу:* Використовується температурно-температурно-компенсований датчик (первинний перетворювач) абсолютного тиску із термоперетворювач схемою підключення для робочого діапазону температури від мінус 30...+60 °С. Діапазон виміру - (0,07...1)- $P_{max}$ , де  $P_{max}$  - 0,2; 0,3; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 Мпа - верхня межа робочого діапазону виміру абсолютного тиску. Для датчиків з  $P_{max}$  0,2; 0,3 і 0,5 Мпа нижня межа виміру абсолютного тиску встановлений рівним 0,07 Мпа. Межа відносної погрішності, що допускається, виміру -  $\pm(0,15+0,02 \cdot P_{max}/P_w)\%$ , де  $P_w$  - вимірюваний тиск. Гранично припустимий тиск на вході датчика -  $1,5 \cdot P_{max}$ , де також забезпечується не перевищення норми погрішності виміру.

*Розрахунок коефіцієнта стискальності:* відносна погрішність обчислення не перевищує 0,01%.

*Підключений лічильник газу:* Вихід - імпульсний із частотою проходження імпульсів до 5 Гц (типу «сухий контакт») або до 1000 Гц (імпульси напруги). Ціна одиниці імпульсу лічильника газу може бути в межах 0,0005... 1000 /м<sup>3</sup>/имп.

#### 4.1.3 Системні параметри коректора

Межа відносної погрішності, що допускається, коректори при вимірі обсягу газу при стандартних умовах:

- для коректорів виконання  $P$  -  $\pm (0,2+0,02 \cdot P_{max}/P_w)\%$ : це означає, що при абсолютному тиску газу від  $0,25 \cdot P_{max}$  до  $P_{max}$  значення

зазначеної погрішності перебуває в межах:  $\pm 0,28$  %, а при тиску менш 0, 25- $P_{\max}$  не перевищує:

- $\pm 0,29$  % для датчиків з  $P_{\max}$  0,3 Мпа,
- $\pm 0,35$  % при  $P_{\max}$  0,5 Мпа,
- $\pm 0,49$  % при  $P_{\max} > 1$  Мпа.
- для коректорів виконання  $T$  (коректори температури) -  $\pm 0,05$  %.

Погрішність виміру часу - не більше  $\pm 5$  із за 24 години.

Відносна погрішність перетворення вхідних сигналів лічильника газу і обчислення обсягу газу при робочих умовах - не більше  $\pm 0,01$  %.

Максимальна ємність лічильника обсягу - 420 000 000 м<sup>3</sup>.

Індицируйміий час роботи коректори не менш 12 років.

Кількість розрядів індикатора для відображення: температури - 5, тиску - 6, обсягу - 11, витрати - 5, часу роботи - 9, коефіцієнта корекції - 9.

Ціна одиниці молодшого розряду для індикації: температури - 0,01 ДО, °З, тиску - 0,0001 МПа, обсягу - 0,1 м , витрати - 0,1...0,00001 м<sup>3</sup>/ч, часу - 1 з, коефіцієнта корекції - 0,000001.

Цикл опитування датчиків - 5 з (опціонально) або 30 з (стандартно).

Коректор накопичує архівну інформацію про середні й накопичені значення вимірюваних параметрів (температури, тиску, обсягу газу в робітників і при стандартних умовах) за добу, годинники. Також формується архів подій, аварійних і робітників, де втримуються дані про помилки в роботі коректори, про внесення змін у системні параметри, корекції поточного часу, змінах состава газу. Обсяг добового архіву вимірюваних параметрів становить 2 роки, вартового - 90 доби, подій - 6000 записів, місячний архів - 60 записів. Добові архіви формуються з обліком контрактної години, що задається. Є можливість виводу на індикатор обсягу газу, накопиченого за поточні й будь-які з попередньої 89 доби.

Коректор призначений для безперервної роботи. Убудована батарея живлення забезпечує працездатність строком до дванадцяти років. Забезпечуються необхідні параметри через п'ять мінут після установки коректора. Індикатор включається після натискання на кожен із кнопок і вимикається через 30 секунд після останнього натискання. Максимальний термін служби батареї 12 років забезпечується для одноканального виконання коректора в нормальних умовах експлуатації (навколишня температура  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) при: циклі опитування датчиків 30 з, методі обчислень NX-19mod або GERG-91mod і щоденній роботі з індикатором у межах 5 мінут. При цьому досягається рівень, що, споживання струму батареї порівнюємо зі струмом саморозряду, і час роботи батареї визначається строком її зберігання. Рекомендується вибір методу GERG-91mod, що характеризується в порівнянні з NX-19mod меншою методичною погрішністю. Використання температурного коректора рекомендується для газопроводів з фіксованим або низьким рівнем тиску. При зниженні циклу опитування датчиків енергоспоживання від батареї пропорційно зростає. Вибір методу обчислень ВУС АГА 8-92DC вимагає використання інформації з 18 компонентів хімічного складу газу й збільшує енергоспоживання приблизно в шість разів. двоканальне виконання коректора також збільшує споживання енергії: енергоспоживання приблизно дорівнює 90% суми споживання кожного каналу (модуля), пропорційно знижує термін служби батареї живлення. Відхилення навколишнього середовища обчислювача від нормальних умов знижує термін служби батареї. За даними виробника літієвої батареї ємність батареї падає на 50% при зниженні навколишньої температури до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Тому для умов тривалого використання коректори в екстремальних умовах експлуатації, а також резервування живлення й спрощення процедури заміни батарей є батарейний відсік.

Батарейний відсік (опція) є зовнішнім, тобто розташований в окремому від обчислювача корпусі, пов'язаний з обчислювачем

нероз'ємним кабелем довжиною 20 див і містить додаткову батарею, що дублює основну, розташовану в обчислювачі. При наявності свіжої батареї у відсіку споживання енергії здійснюється від її, а основна батарея перебуває в резерві. Після розряду батареї у відсіку або її відсутності обчислювач перемикається на основну батарею. Операція заміни батареї у відсіку не становить труднощі й не вимагає спеціальних підготовчих операцій або присутності представників контролюючих організацій.

Комп'ютер забезпечує: зчитування архівної інформації й формування баз даних, печатка звітних документів, функцію вилученого індикатора, зв'язок з коректорами, режими перевірки й завдання системних параметрів і установок, функції диспетчеризації.

Адаптер В25А забезпечує: зчитування архівної інформації, нагромадження й перенос на комп'ютер, печатку звітних документів, функцію вилученого індикатора одного або декількох коректорів (до двадцяти).

Обчислювач коректора зберігає свої характеристики в межах норм при температурі навколишнього повітря від мінус 30 (опція від мінус 60) до +60°C, атмосферному тиску від 66 до 106,7 кПа, відносної вологості до 95 % при температурі 35 °С без конденсації вологи.

Коректор є електро- і пожежебезпечним пристроєм. Виконання вибухозахисту має маркування 0ExiaIIc6 (ExiaIICT6 за ДСТ Р 51330.10). Ступінь пиловологозахисту (тільки при підключених розніманнях) - IP65. Міцність електричної ізоляції: приладового інтерфейсу обчислювача - 500 У, приладового інтерфейси перехідника RS232 (USB, GPRS) - 1500 У. Стійкість до впливу синусоїдальних вібрацій високої частоти по групі V1 ДЕРЖСТАНДАРТ 12997. Середній наробіток на відмову й середній повний термін служби не менш 12 років. Маса обчислювача не більше 0,5 кг, габаритні розміри не перевищують 135x125x42 мм.

**4.2 Процедура розробки МВВ**, що включає експертизу, атестацію, стандартизацію МВВ, в загальному вигляді показана на рисунку 4.2.

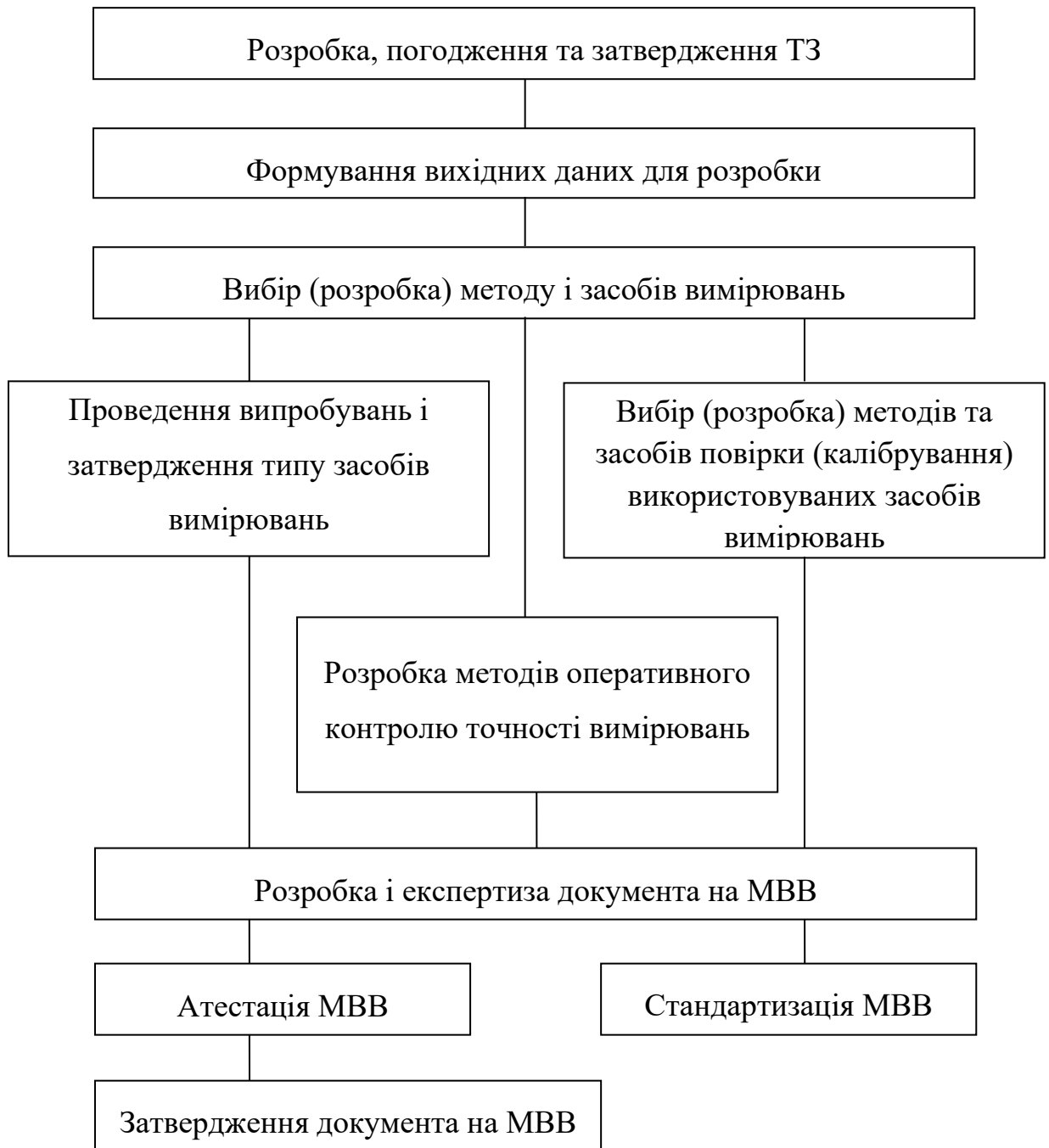


Рис.4.2 – Процедура розробки методики виконання вимірювань

4.2.1. Розробку, погодження та затвердження технічного завдання (ТЗ) на розробку МВВ здійснюють у випадках, коли передбачається регламентувати МВВ в окремому документі. Типові вимоги, які вказуються в ТЗ на МВВ, наведені в ГОСТ Р 8.563 (п. 5.1).

У їх числі такі:

- Призначення МВВ, з якого можна встановити можливість використання МВВ у сферах поширення ГМКН;

- Межі вимірювань;

- Межі допустимої похибки вимірювань;

- Характеристики об'єкта вимірювань (наприклад, температура рідини, тиск або рівень якої вимірюється);

- Умови вимірювань (температура, вологість, тиск навколишнього повітря, характеристики джерела живлення засобів вимірювань, наявність зовнішніх електромагнітних полів, вібрація в місцях установки засобів вимірювань та ін);

- Вид індикації й форми реєстрації результатів вимірювань;

- Вимоги до автоматизації вимірювальних процедур;

- Вимоги до забезпечення безпеки виконання робіт;

- Інші вимоги відповідно до специфіки МВВ.

Якщо для розробки МВВ є вихідні дані, то ТЗ на розробку МВВ не потрібно.

4.2.2. Якщо МВВ буде регламентована у вигляді розділу (частини) загального документа, то в ТЗ на розробку цього документа доцільно вказати вимоги до точності вимірювань або вимоги до достовірності вимірювального контролю або похибки результатів випробувань, виходячи з яких відомими способами можуть бути встановлені межі допустимих значень характеристик похибки вимірювань.

### 4.3 Вихідні дані для розробки.

Основні вихідні дані вказуються в ТЗ на розробку. Якщо ТЗ з яких-небудь причин відсутня, то для розробки МВВ необхідні вихідні дані, наведені в п. 4.2. На додаток до цього, в числі вихідних даних можуть знадобитися такі відомості:

- про наявність засобів вимірювань, у тому числі затверджених типів;
- про наявність інших технічних засобів, у тому числі засобів обчислювальної техніки, які можуть бути використані при вимірюваннях;
- про наявність еталонів, стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, атестованих сумішей для перевірки (калібрування) засобів вимірювань, які можуть бути використані в МВВ;
- про кваліфікацію операторів, що виконують вимірювання;
- інші дані згідно зі специфікою МВВ.

Розробники МВВ доцільно мати нормативні та рекомендаційні документи, наведені в цій рекомендації, а також документи та довідкові матеріали, виходячи із специфіки вимірюваної величини, об'єкта контролю і управління та інших вихідних даних.

4.3.1. При розробці МВВ одним з основних вихідних вимог є вимога до точності вимірювань. У ряді нормативних документів наводяться вимоги до точності вимірювань в найбільш поширених технологічних процесах. Так, у машинобудуванні діє ГОСТ 8.051-81 "Метрологія. Погрішності, що допускаються при вимірюванні лінійних розмірів до 500 мм", в теплоенергетиці застосовують РД 34.11.321-88 "Норми точності вимірювань технологічних параметрів теплових електростанцій".

Однак часто такі вимоги в явному вигляді відсутні і їх необхідно встановити, виходячи з вимог до достовірності вимірювального контролю або похибки результатів випробувань, вимог до інших результатів реалізації інформаційних і керуючих функцій системи управління (наприклад, до точності обчислення техніко-економічних показників) або до самого об'єкту контролю.



Зв'язки похибки вимірювань з характеристиками достовірності контролю і похибкою випробувань розглянуті в МІ 1317-86 "Метрологія. Результати та характеристики похибки вимірювань. Форми подання. Способи використання при випробуваннях зразків продукції та контролі їх параметрів".

Часто на практиці в якості вихідних даних для встановлення вимог до точності вимірювань при контролі використовують допуск на контрольований параметр. Вважається задовільним співвідношення між границею допустимої похибкою вимірювань і кордоном симетричного поля допуску 1:5 (у ряді випадків 1:4). При співвідношенні 1:3 вводиться контрольний (звужений) допуск на контрольований параметр.

4.3.2. Вимоги до точності вимірювань встановлюють у вигляді меж допустимих значень характеристик абсолютної або відносної похибки вимірювань.

Найбільш поширеним способом вираження вимог до точності вимірювань є кордони допустимого інтервалу, в якому із заданою ймовірністю  $P$  повинна знаходитися похибка вимірювань.

Якщо межі симетричні, то перед їх одним числовим значенням ставляться знаки плюс-мінус. Якщо задане значення ймовірності дорівнює одиниці ( $P = 1$ ), то в якості вимог до точності вимірювань використовуються межі допустимої похибки вимірювань, при цьому ймовірність  $P = 1$  не вказується.

Інші способи вираження вимог до точності вимірювань в залежності від використання результатів вимірювань наведені в Методичних вказівках МІ 1317-86.

#### **4.4 Вибір (розробка) методу і засобів вимірювань**

У ряді технічних документів наводять рекомендації щодо застосування засобів вимірювань в деяких технологічних процесах. Так, у

машинобудуванні діє РД 50-98-86 "Вибір універсальних засобів вимірювань лінійних розмірів до 500 мм (по застосуванню ГОСТ 8.051-81)".

4.4.1. Якщо для розробки конкретних МВВ такі документи відсутні, то вибір методу і засобів вимірювань являє собою багатоваріантну задачу. Її раціональне рішення відповідає мінімальним витратам на вимірювання, включаючи витрати на метрологічне обслуговування засобів вимірювань, за умови виконання заданих вимог до МВВ, в т.ч. вимог до точності вимірювань. Зазвичай цю задачу вирішують ітераційним шляхом. Попередньо вибирають метод і засоби вимірювань, які можуть бути застосовані в заданих умовах, тобто метод і засоби вимірювань завідомо задовольняють всім заданим вимогам (крім точності вимірювань, яка передбачається задовільною). Далі проводять оцінювання похибки вимірювань.

4.4.2. Якщо оцінені характеристики похибки вимірів не перевищують допустимих меж і незначно менше цих меж, то похибка вимірювань задовільним і її характеристики приписують даної МВВ.

4.4.3. Якщо оцінені характеристики похибки вимірювань істотно менше допускаються меж (наприклад, складають менше 0,5 межі допустимих значень), то вибрані метод і засоби вимірювань нераціональні з економічних міркувань. У цьому випадку доцільно вибрати менш точні метод і засоби вимірювань, якщо витрати на вимірювання, включаючи витрати на метрологічне обслуговування цих засобів вимірювань, істотно менше, ніж у попередньому варіанті. Далі проводять нове оцінювання похибки вимірювань і, якщо оцінені характеристики похибки задовольняють п. 4.4.2, то вибір методу і засобів вимірювань можна вважати закінченим.

4.4.4. Якщо оцінені характеристики перевищують межі допустимих значень, то необхідно вибрати більш точні метод і засоби вимірювань і справити оцінювання похибки вимірювань.

При виборі (розробці) більш точних методів і засобів вимірювань доцільно використовувати рекомендації МІ 2301-94 "Метрологія. Забезпечення ефективності вимірювань при управлінні технологічними процесами. Методи і способи підвищення точності вимірювань".

Процес вибору методу і засобів вимірювань закінчують, коли оцінені характеристики похибки вимірювань задовольняють п. 5.4.2.

4.4.5. ГОСТ Р 8.563 не поширюється на МВВ, характеристики похибки вимірювань за якими визначають в процесі або після їх застосування.

Якщо подібні МВВ будуть застосовуватися досить часто, то їх необхідно доопрацювати таким чином, щоб була можливість регламентувати похибка вимірювань до використання та атестувати відповідно до вимог ГОСТ Р 8.563. У багатьох випадках застосування зазначених МІ відома до вимірювань похибка не задовольняє конкретної задачі контролю та випробувань. Тому користувач шукає шляхи застосування обраної МВВ з меншою похибкою. Один з таких шляхів - оцінювання похибки вимірювань в процесі або після виконання вимірювань. При цьому таке оцінювання здійснюється для конкретних значень впливають величин, які можуть бути істотно менше за обумовлені в документі на МВВ. При атестації таких МВВ здійснюється перевірка відповідності похибки вимірювань зазначеним значенням в документі на МВВ для всього спектру впливають величин, а також оцінювання похибки для менших значень впливають величин, які можуть мати місце в типових реальних умовах застосування МВВ. Якщо похибки вимірювань задовольняють задачам контролю та випробувань в типових умовах вимірювань, то така МВВ може бути атестована із зазначенням похибки вимірювань в загальних умовах і правила оцінювання похибки в конкретних умовах вимірювань.

4.4.6. При розробці МВВ доцільно користуватися МІ 1967-89 "Метрологія. Вибір методів і засобів вимірювань при розробці методик виконання вимірювань. Загальні положення" і МІ 2265-93 "Метрологія."

4.4.7. У МВВ для контролю стану складних технічних систем, застосовують засоби вимірювань, типи яких затверджені відповідно до ПР 50.2.009-94 "Метрологія. Порядок проведення випробувань і затвердження типу засобів вимірювань".

Для вибору таких засобів вимірювань доцільно використовувати публікації. Крім того, для цих цілей може бути використаний Державний реєстр засобів вимірювань.

4.4.8. Якщо в методиках кількісного хімічного аналізу передбачають градування засобів вимірювань за допомогою стандартних зразків або атестованих сумішей, то їх застосування повинно відповідати правилам, зазначеним у ГОСТ 8.315-91 "Метрологія. Стандартні зразки. Основні положення. Порядок розробки, атестації, затвердження, реєстрації і застосування "і МІ 2334-95" Метрологія. Атестовані суміші. Порядок розробки, атестації та застосування ".

## ВИСНОВКИ

Значення витратомірів рідини, газу і пари дуже велике. З розвитком промисловості вони набули великого значення. Завдяки таким вимірам, можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозно-паперовій та багатьох інших галузях промисловості.

Витратоміри необхідні насамперед для керування виробництвом. Без них не можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетику, металургії, у хімічній, нафтових, целюлозно-паперовій й багатьох інших галузях промисловості. Ці прилади потрібні також для автоматизації виробництва й досягнення при цьому максимальній його ефективності.

Вимірювання витрати зазвичай здійснюється із двома цілями: необхідність контролювати витрату з метою керування технологічними процесами та необхідність обліку всіх матеріальних і енергетичних потоків.

Витратоміром змінного перепаду тиску називається вимірювальний комплекс, заснований на залежності від витрати перепаду тиску, створюваного перетворювачем витрати, установленим у трубопроводі, або елементом останнього (наприклад, коліном).

Об'єктивними причинами створення методик виконання вимірювань (МВВ) в метрологічній діяльності стали два принципи забезпечення єдності вимірювань, а саме результати вимірювань повинні виражатись в одиницях фізичних величин Міжнародної системи одиниць і повинна бути відома похибка вимірювань.

Сучасна вимірювальна практика пред'являє усе більше високі вимоги до точності, надійності, швидкодії, функціональності витратомірів. Слід зазначити, що в більшості випадків ці вимоги суперечливі, тобто

поліпшення одних характеристик, як правило, досягається за рахунок недореалізації можливостей поліпшення інших. Так, збільшення функціональних можливостей приладів за рахунок ускладнення знижує їхню надійність внаслідок зростання числа підданих відмовам елементів. Збільшення швидкодії знижує ефективність систем автоматичної компенсації повільно мінливих погрішностей, викликаних впливом зовнішнього середовища, параметрів вимірюваних об'єктів і т.п. Тому розвиток вимірювальної техніки, у тому числі й витратовимірювальної, супроводжується постійним пошуком розумного компромісу між реалізованими властивостями приладів, технічними можливостями й економічною доцільністю.

Виявлення й усунення причин виникнення погрішностей витратомірів змінного перепаду тиску, підвищення точності інформаційно-вимірювальних систем виміру витрати й кількості було й залишається найважливішим завданням розвитку витратовимірювальної техніки.

Рекомендації щодо визначення детального порядку проведення розробки та атестації МВВ і впровадження їх в практику роботи метрологічних служб буде сприяти розвитку створення та використанню вимірювальних процесів, стимулюванню діяльності, пов'язаної із забезпеченням єдності вимірювань, практичному застосуванні та впровадженні відповідних МВВ та дозволить удосконалити управління метрологічної діяльності.

## Література

1. ДСТУ 1.5:2015 Національна стандартизація. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту нормативних документів [Електронний ресурс] – Режим доступу URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_1.5\\_2015.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_1.5_2015.pdf)
2. ДСТУ ГОСТ 2.610:2006 Єдина система конструкторської документації. Правила виконання експлуатаційних документів [Електронний ресурс] // ГП «Укрметртестстандарт». – Режим доступу URL: <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
3. ГОСТ 8.010-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения (Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Основні положення) [Електронний ресурс] // ГП «Укрметртестстандарт». – Режим доступу URL: <http://www.ukrcsm.kiev.ua>.
4. ГОСТ 8.586.1-2005 (ISO 5167-1:2005). [Електронний ресурс] / Режим доступу URL: <https://dtp.lg.ua/Dokumentacija%20i%20oformlenie/GOST-8.586.1-05-Yzm.rash.y-kol.zhyd.y-gazov-s-pom.stand.suzh.ustr.-Pryncyp-metoda-ym.y-obshh.treb.pdf>
5. ГОСТ 15528–86. Средства измерения расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.
6. М. В. Лукінюк. Технологічні вимірювання та прилади: Навч. посіб. для курс. проектування. – К., 2002. – 257 с.
7. Мезиков А. К., Корольов В. Н., Кречетников Ю. Д. Використання парамагнітних властивостей вимірюваного середовища у витратомірах змінного перепаду тиску // Виміряє, техніка.- 1993.- № 1.-.
8. Стеценко А.А. Обґрунтування збільшення міжповірного інтервалу витратоміра-лічильника ультразвукового УВР–011/ А.А. Стеценко, С.Д. Недзельський// Метрологія та прилади. – 2013. – № 1. – С. 43–44.
9. Єременко В.С. Аналогові та цифрові вимірювальні прилади: навч. посібник / В. С. Єременко, О. В. Монченко. К. : НАУ, 2018. – 152 с.

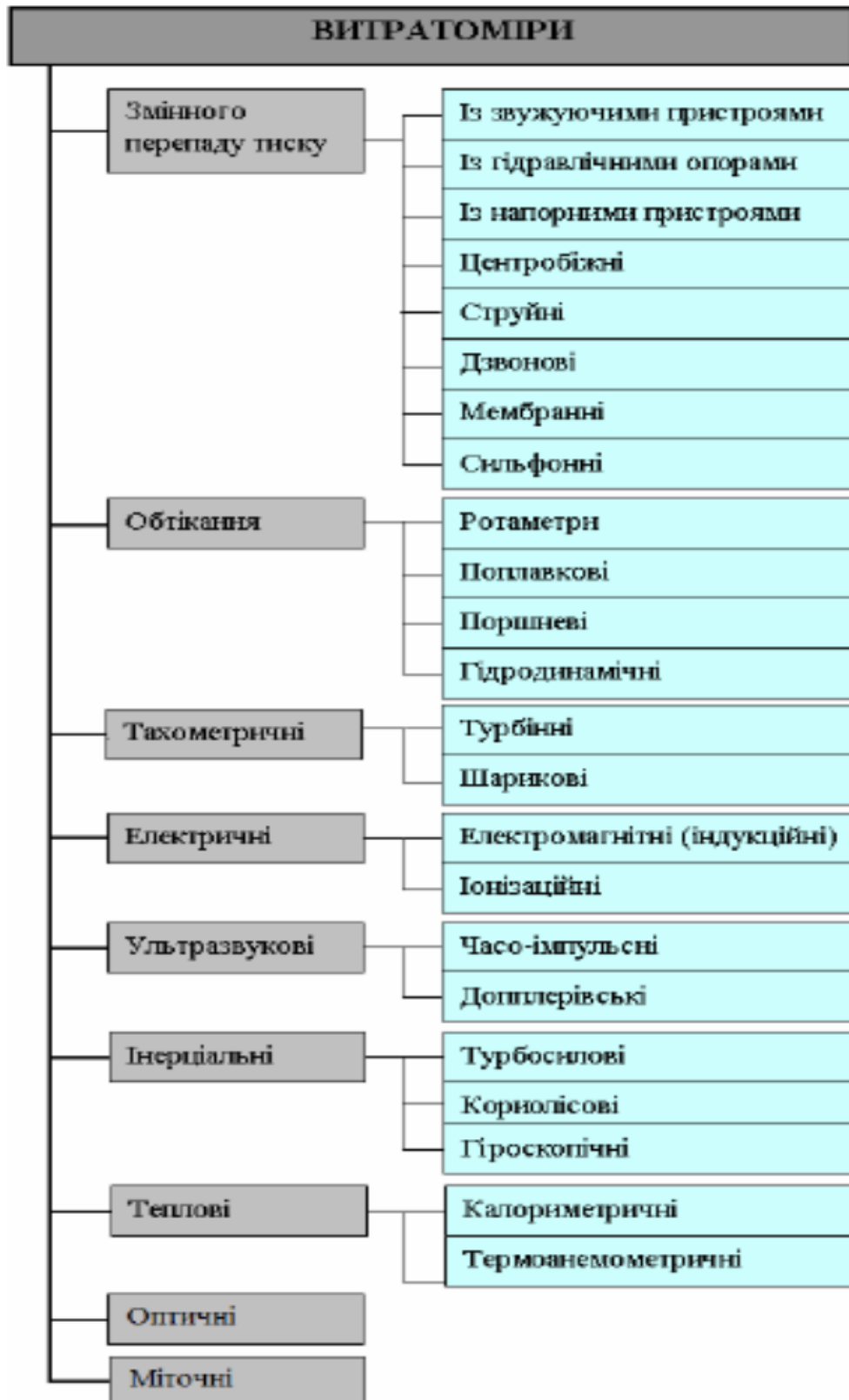
10. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 219 с.
11. Васілевський, О.М. Основи теорії невизначеності вимірювань: підручник / О.М.Васілевський, В.Ю.Кучерук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 230 с.
12. Бабак В.П., Єременко В.С., Куц Ю.В., Мокійчук В.М. Цифрові вимірювальні прилади: Комп'ютерний лабораторний практикум: Навч. посібник / За ред. чл.-кор. НАНУ В.П.Бабака. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 168 с.
13. Туз Ю.М. Автоматизація аналізу вимірювальних пристроїв: навчальний посібник / Ю.М. Туз, Ю.С. Шумков, О.В. Козир; за заг. ред. Ю.М. Туза. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2022. – 312 с.
14. Ціделко В.Д., Яремчук Н.А., Затока С.А., Бурченков Г.К., Шведова В.В., Стасевич В.А. Основи метрології та вимірювальної техніки. Навчальний підручник / За заг. ред. Н.А. Яремчук. – К: Видавництво «Політехніка», 2012. – Том 1. – 266 с.
15. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю., Володарський Є.Т. Невпевненість результатів вимірювань, контролю та випробувань: підручник / О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський. – Херсон: «ОЛДІ-ПЛЮС», 2020. – 352 с.
16. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 522 с.
17. Іванов О.Г. Вимірювальне обладнання у машинобудуванні: Навч. посібник. – К.: Вища школа, 1995. – 496с.
18. Витвицька Л. А. Теорія автоматичного керування [Електронний ресурс] : конспект лекцій / Л. А. Витвицька, Ю. М. Кучірка. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2015. – 54 с.



19. Кононенко М. А. Методи і засоби вимірювань [Електронний ресурс] : конспект лекцій / М. А. Кононенко. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. – 297 с.
20. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. Наукові дослідження в галузі автоматизації та приладобудування. Проектування та моделювання комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем : підручник. – К.: НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського; Ж.: Державний університет "Житомирська політехніка", 2021. – 896с.

## ДОДАТОК А

## Класифікація основних видів витратомірів [5]



## Додаток Б

### Перелік нормативної документації, що стосується вимірювань рідини та газів

ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009(ИСО 5167-1:2003) Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювання та загальні вимоги (ГОСТ 8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003), IDT; ISO 5167-1:2003, NEQ) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 1. Принцип метода измерений и общие требования - На заміну ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2007 (ИСО 5167-1:2003)

ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009 Метрологія. Вимірювання витрати (ИСО 5167-2:2003) та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги(ГОСТ 8.586.2-2005 (ИСО 5167-2:2003), IDT; ISO 5167-2:2003, NEQ)Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 2. Диафрагмы. Технические требования - На заміну ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2007 (ИСО 5167-2:2003)

ДСТУ ГОСТ 8.586.3:2009 Метрологія. Вимірювання витрати (ИСО 5167-3:2003) та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 3. Сопла та сопла Вентурі. Технічні вимоги(ГОСТ 8.586.3-2005 (ИСО 5167-3:2003), IDT; ISO 5167-3:2003, NEQ) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 3. Сопла и сопла Вентури.

Технические требования - На заміну ДСТУ ГОСТ 8.586.3:2007 (ИСО 5167-3:2003)

ДСТУ ГОСТ 8.586.4:2009 Метрологія. Вимірювання витрати (ИСО 5167-4:2003) та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 4. Труби Вентурі. Технічні вимоги

ГОСТ 8.586.4-2005 (ИСО 5167-4:2003), IDT; ISO 5167-4:2003, NEQ)

Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение рас хода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 4. Трубы Вентури. Технические требования- На заміну ДСТУ ГОСТ 8.586.4:2007(ИСО 5167-4:2003)

ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 Метрологія. Вимірювання витратита кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань (ГОСТ 8.586.5-2005, IDT) Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение рас хода и количества жидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств. Часть 5. Методика выполнения измерений- На заміну ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2007