

## ЛЕКЦІЯ 7

### ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ І КІЛЬКОСТІ РЕЧОВИНИ

Необхідність підвищення якості випускаючої продукції і ефективності автоматизованих систем керування технологічними процесами надає питанням точного вимірювання кількості і витрати різних речовин винятково важливого значення. До засобів, що вимірюють кількість і витрату речовин, ставляться високі вимоги щодо точності.

Різноманіття вимірювальних середовищ, що характеризуються різними фізико-хімічними властивостями, а також різні вимоги, пропонувані промисловістю до метрологічних характеристик і надійності вимірників витрати, привели до створення засобів вимірювання витрати, заснованих на різних принципах і методах вимірювання.

**Витрата речовини** – це кількість речовини, що проходить в одиницю часу по трубопроводу, каналу і т.п. Кількість і витрата речовини виражають в об'ємних або масових одиницях вимірювання. Об'ємними одиницями кількості звичайно служать літр (л) і кубічний метр ( $\text{м}^3$ ), а масовими – кілограм (кг) і тонна (т). Об'ємну кількість газу іноді для порівняння подають з наведеними до нормального стану – абсолютним тиском 101325 Па, температурою 20°C і відносною вологістю 0%.

Найпоширенішими одиницями об'ємної витрати є л/год,  $\text{м}^3/\text{с}$  і  $\text{м}^3/\text{год}$ , а масової – кг/с, кг/год и т/год.

Перехід від об'ємних одиниць витрати до масових і навпаки обчислюється за формулою

$$Q_m = Q_{об} \cdot \rho, \quad (3.9)$$

де  $Q_m$  – масова витрата речовини, кг/год;

$Q_{об}$  – об'ємна витрата речовини,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$\rho$  – густина речовини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для зведення об'ємної витрати сухого газу  $Q_{об}$  у робочому стані до витрати  $Q'_{об}$  ( $\text{м}^3/\text{год}$ ) у нормальному стані є залежність

$$Q'_{об} = Q_{об} \frac{p \cdot T'}{p' \cdot T \cdot K}, \quad (3.10)$$

де  $p$  і  $p'$  – тиски газу в робочому і нормальному станах, Па;

$T$  і  $T'$  – температури газу в робочому і нормальному станах, К;

$K$  м коефіцієнт стиснення газу, що характеризує відхилення його властивостей від законів ідеального газу.

Прилади, що вимірюють витрату, називаються *витратомірами*. Залежно від виду вимірювальної речовини вони поділяються на витратоміри води, пари, газу та ін. Витратоміри бувають *показуючими* і *самописними*. Часто вони забезпечуються вбудованим рахунковим механізмом (інтегратором).

До приладів, що вимірюють кількість, відносять *лічильники* і *ваги*. За їх допомогою визначається кількість речовини, яка пройшла по тракту за відомий проміжок часу, для чого відраховують показання приладу на початку і в кінці періоду вимірювання і обчислюють різницю цих показань.

Для визначення витрати і кількості рідини, газу, пари і сипучих тіл найчастіше застосовуються такі основні методи вимірювання: *змінного перепаду тиску, швидкісне, об'ємне і вагове*. В окремих випадках використовуються й інші методи вимірювання.

**Метод змінного перепаду тиску**, що має велике практичне значення, ґрунтується на зміні статичного тиску середовища, що проходить через штучно звужений перетин трубопроводу.

**Швидкісний метод** – на визначенні середньої швидкості руху потоку.

**Об'ємний і ваговий методи** – на визначенні об'єму і маси речовини.

Перевагами перших двох методів вимірювання є порівняльна простота і компактність вимірювальних приладів, а останніх двох - більш висока точність вимірювання.

Відповідно до застосовуваних методів вимірювання витрати і кількості речовини вимірювальні прилади поділяються в основному на такі групи:

#### **Контактні**

- Статичні:

1. Змінного перепаду тиску: діафрагми, сопла, сопла Вентурі, труби Вентурі.

2. Трубки Піто.

3. Щиткові.

4. Вихрові.

- Динамічні:

1. Об'ємної дії: кулачкові (шестеренні), ротаційні, поршневі, мембранні.

2. Швидкісні: турбінні, крильчасті.

3. Ротаметри

4. Вібраційні

#### **Безконтактні**

Швидкісні:

1. Теплові.

2. Індукційні.

3. З мітками.

4. Ультразвукові: часоімпульсні, частотно-імпульсні, доплерівські, фазові

### **3.4.1 Витратоміри із звужуючим пристроєм**

Принцип дії витратомірів із звужуючим пристроєм заснований на зміні потенційної енергії вимірювальної речовини при проходженні через штучно звужений перетин трубопроводу. Широке використання цього принципу пов'язане з рядом властивих йому переваг. До них відносять: простоту і надійність, відсутність рухомих частин, легкість серійного виготовлення

засобів вимірювання практично на будь-які тиски і температури вимірювального середовища, низьку вартість, можливість вимірювання практично будь-яких витрат і, що особливо істотно, можливість одержання градірованої характеристики витратомірів розрахунковим шляхом, тобто без використання дорогих метрологічних установок.

Витратомір складається із *звужуючого пристрою*, змонтованого в трубопроводі для створення місцевого стиску потоку (первинний перетворювач), *диференціального манометра*, призначеного для вимірювання різниці статичних тисків середовища, що має перебіг, до і після звужуючого пристрою (вторинний прилад), і *сполучних ліній* (двох трубок), що зв'язують між собою обидва прилади.

Звужуючий пристрій звичайно має круглий отвір, розміщений концентрично щодо стінок труби, діаметр якого менше внутрішнього діаметра трубопроводу.

Диференціальний манометр (дифманометр-витратомір) виконується показуючим або самописним і додатково може мати вбудований інтегратор. Шкала промислового дифманометра-витратоміра градірується в об'ємних або масових одиницях витрати.

Витратомір із звужуючим пристроєм, що має електричну дистанційну передачу показань, містить, як правило, безшкальний дифманометр-витратомір (проміжний перетворювач) у комплекті з показуючим або самописним вторинним приладом.

Витратоміри із звужуючим пристроєм придатні для вимірювання речовини, що проходить по трубопроводу, за умови заповнення нею усього поперечного перерізу труби і встановленого у ній звужуючого пристрою.

При проходженні потоку через звужуючий пристрій відбувається зміна потенційної енергії речовини, частина якого внаслідок місцевого стиснення потоку і відповідного збільшення швидкості потоку перетворюється в кінетичну енергію. Зміна потенційної енергії приводить до появи різниці статичних тисків (перепаду тиску), що визначається за допомогою дифманометра.

На рис.3.14 показана схема встановлення в трубопроводі найбільш простого звужуючого пристрою (діафрагми) у вигляді тонкого диска із круглим отвором посередині і зображенням характеру потоку. Там само показано розподіл статичного тиску  $P$  по довжині потоку  $l$ . Стиснення потоку починається перед діафрагмою і завдяки дії сил інерції досягає найбільшої величини на певній відстані за нею, після чого потік знову розширюється до повного перетину трубопроводу. Перед діафрагмою і за нею в кутах утворюються зони з вихровим рухом, причому зона вихрів після діафрагми більш значна, ніж до неї.

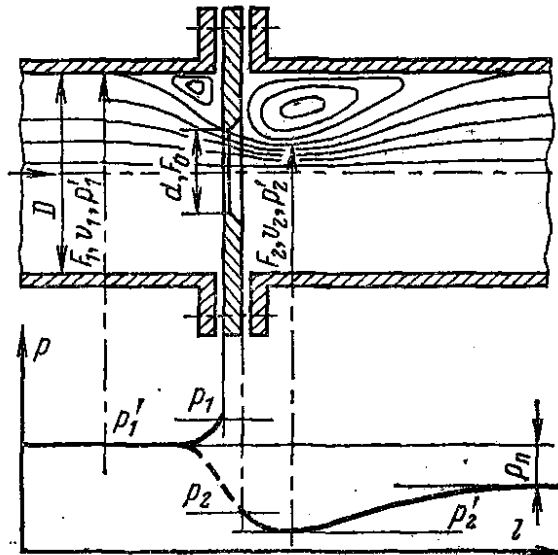


Рисунок 3.14 – Характер потоку при встановленні звужуючого пристрою

Тиск потоку біля стінки трубопроводу (суцільна лінія) трохи зростає за рахунок підпору перед діафрагмою і знижується до мінімуму за діафрагмою в точці найбільшого звуження потоку, де перетин потоку менше, ніж отвір діафрагми. Далі, в міру розширення потоку, тиск біля стінки знову підвищується, але не досягає колишнього значення на величину  $P_{II}$  через наявність неповоротних втрат на завихрення, удар і тертя. Зміна тиску потоку по осі трубопроводу практично збігається зі зміною тиску біля його стінки, за винятком ділянки перед діафрагмою і безпосередньо в ній, де тиск потоку по осі труби знижується (пунктирна лінія). При проходженні вимірювального потоку через отвір звужуючого пристрою збільшується швидкість потоку в порівнянні з його швидкістю до звуження. Завдяки цьому тиск потоку на виході із звужуючого пристрою зменшується, і на звужуючому пристрої створюється перепад тиску, вимірюваний дифманометром, який залежить від швидкості у звуженні або від витрати потоку.

Рівняння для масової  $G$  і об'ємної  $Q$  витрат нестисливої рідини:

$$G = \alpha \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)},$$

$$Q = \alpha \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)}.$$
(3.11)

Якщо через звужуючий пристрій проходить стисливе середовище (газ або пара), то внаслідок зниження тиску збільшується її об'єм. Це приводить до того, що швидкість потоку зростає і стає більшою швидкістю нестисливого середовища. У результаті на звужуючому пристрої збільшується перепад тиску. Врахування зазначеного явища виконується введенням у рівняння витрат (3.11) додаткового коефіцієнта  $\varepsilon < 1$ , що називається поправочним множником на розширення вимірювального середовища. Тоді рівняння для масової  $G$  і об'ємної  $Q$  витрат стисливого середовища записується у вигляді

$$G = C \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \cdot \sqrt{\rho \cdot (P_1 - P_2)},$$

$$Q = C \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho} \cdot (P_1 - P_2)},$$
(3.12)

де  $C = \frac{\pi}{4} \sqrt{2}$  – постійний коефіцієнт;

$\rho$  – густина середовища;

$d$  – діаметр отвору діафрагми;

$\alpha$  – коефіцієнт діафрагми (величина, яка тарується);

$P_1$  і  $P_2$  – відповідно тиск потоку перед діафрагмою і після неї.

Рівняння (3.11) і (3.12) є основними рівняннями витрати як для стисливих, так і нестисливих середовищ, при цьому для останніх  $\varepsilon=1$ .

**Звужуючі пристрої.** Для вимірювання витрати середовища дістали поширення три види нормалізованих звужуючих пристрої [3]: *витратомірна діафрагма* (рис.3.15 а), *витратомірне сопло* (рис.3.15 б), *сопло Вентурі* (рис.3.15 в) і *труби Вентурі* (рис.3.15 г), які мають посередині круглий отвір. Дослідним шляхом для цих звужуючих пристроїв знайдені точні значення коефіцієнта витрати  $\alpha$ , що дозволяє застосовувати їх без попереднього градування. На рис.6.2 показані місця відбору тисків  $P_1$  і  $P_2$  від звужуючих пристроїв до дифманометра. Характерною рисою звужуючих пристроїв (рис.3.16 б, в, г) є менша, ніж для діафрагми, безповоротна втрата тиску.

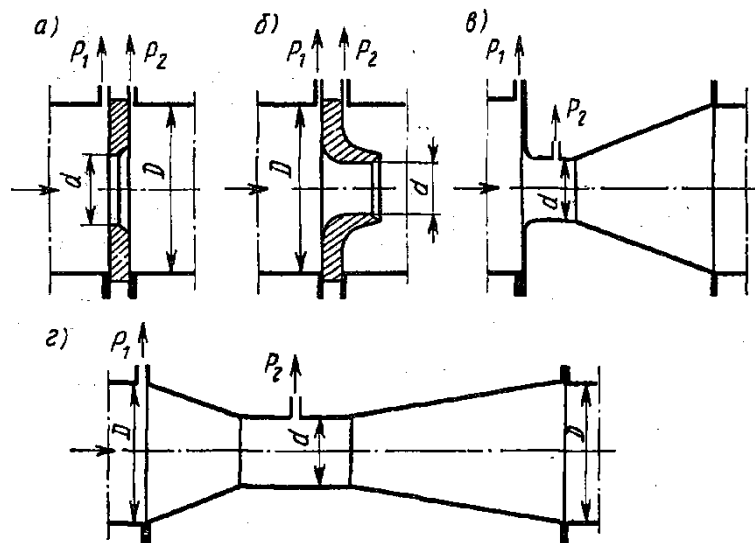
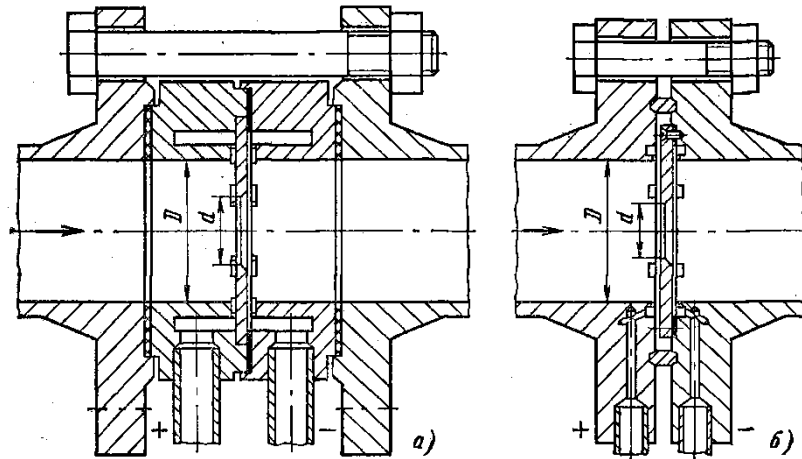


Рисунок 3.15 – Схеми стандартних звужуючих пристроїв

Втрата тиску при використанні діафрагми або сопла практично та сама. У соплах Вентурі втрата тиску значно менша, що фізично пояснюється наявністю дифузора на виході, завдяки якому йде відновлення потенційної енергії.

За способом відбору тиску до дифманометра витратомірні діафрагми і сопла поділяють на *камерні* і *безкамерні* (із точковим відбором). Більше удосконаленими з них є камерні пристрої.

На рис.3.16 показана схема устанавлення на трубопроводі діафрагми, рис.3.16 *а* – камерного типу, а на рис.3.16 *б* – безкамерного типу. У камерній діафрагмі тиски до дифманометра передаються за допомогою двох кільцевих зрівняльних камер, розміщених у її корпусі перед і за диском з отвором, з'єднаним з порожниною трубопроводу двома кільцевими щілинами або групою рівномірно розміщених по колу радіальних отворів (не менше чотирьох з кожного боку диска). Кільцева камера перед диском називається плюсовою, а за ним – мінусовою. Наявність у діафрагмі кільцевих камер дозволяє усереднити тиск по колу трубопроводу, що забезпечує більш точний вимір перепаду тиску.



*а* – камерна; *б* - безкамерна

Рисунок 3.16 – Установлення діафрагм у трубопроводі:

Відбір перепаду тиску в безкамерній діафрагмі виконується за допомогою двох окремих отворів у її корпусі або у фланцях трубопроводу перед і за диском. У цьому випадку вимірювальний перепад тиску є менш точним, ніж при кільцевих камерах.

Точність вимірювання витрати за допомогою діафрагм залежить від ступеня гостроти входної крайки отвору, що впливає на значення коефіцієнта витрати  $\alpha$ . Для виготовлення проточної частини діафрагм і сопел застосовуються матеріали, стійкі проти корозії та ерозії, тобто нержавіюча сталь, а в деяких випадках – латунь або бронза. За звужуючий пристрій найчастіше застосовується діафрагма. Сопло вибирається у випадках, коли необхідно зменшити вплив корозії та ерозії звужуючого пристрою на результати вимірювання

Діафрагми і сопла більше вивчені і тому дають більш високу точність вимірювання, ніж сопла Вентурі. Основна похибка діафрагм і сопел становить  $\pm 0,6-2,5\%$ . Значно впливають на точність вимірювання умови монтажу звужуючих пристроїв у трубопроводах. При неправильному устанавленні похибка вимірювання значно зростає.

До і після звужуючого пристрою необхідно мати прямі заспокоювальні ділянки трубопроводу постійного діаметра, тому що різні місцеві опори (коліна, вентилі, засувки і т.п.) приводять до перекручування профілю швидкостей по перетину потоку і, отже, впливають на коефіцієнт витрати  $\alpha$ .

Рекомендується зазначену арматуру по можливості розміщувати за звужуючим пристроєм.

**Встановлення дифманометрів.** Дифманометри призначені для визначення перепаду тиску між двома точками вимірювання в рідкому, газовому або паровому середовищі [3]. Особливо широкого застосування вони набули для вимірювання перепаду тиску у витратомірах із звужуючим пристроєм. Основна похибка двотрубних дифманометрів  $\pm 2$  мм висоти стовпа зрівноважувальної рідини.

Промислові дифманометри-витратоміри, які застосовуються в теплоенергетиці, звичайно є деформаційними приладами, що працюють у комплекті із звужуючим пристроєм при вимірюваннях витрати рідини, газу і пари. Механічні дифманометри-витратоміри можуть застосовуватися в тих випадках, коли відстань між звужуючим пристроєм і приладом не перевищує 50 м. При більш значних відстанях використовуються електричні дифманометри-витратоміри.

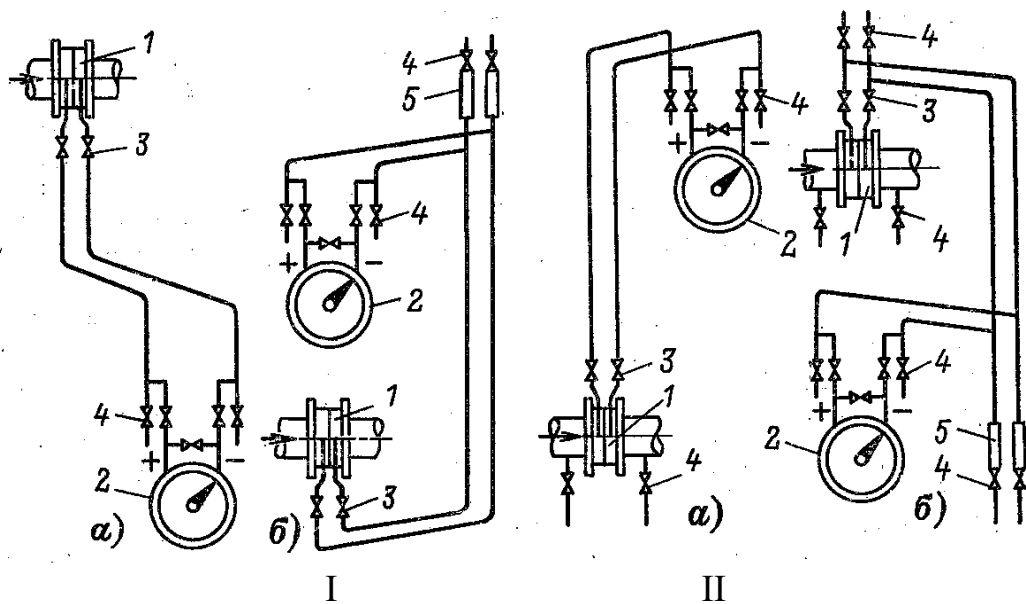
Механічні та електричні дифманометри і працюючі з ними в комплекті вторинні прилади встановлюються в місцях, що не зазнають вібрації і тряски, а також дії високої або низької температури і вологості навколишнього повітря. Вплив температури не повинен викликати в електричних дифманометрах надмірного нагрівання обмоток.

Щоб уникнути запізнювання показань, довжина сполучних ліній звичайно не перевищує 50 м, а внутрішній діаметр їх становить не менше 6 мм. Для вільного видалення зі сполучних трубок води (газові лінії) або повітря (водяні лінії) вони прокладаються вертикально або з нахилом не менше 0,1 убік продувних вентилів, газозбірників або відстійних посудин. Утворення в сполучних лініях повітряних пробок при вимірюванні витрати рідини або пари - при вимірюванні витрати газу (повітря) веде до перекручування результатів вимірювання. Рекомендується періодично продувати сполучні лінії.

Дифманометр 2 (рис.3.17) може бути встановлений вище або нижче звужуючого пристрою 1. При вимірюванні витрати рідини бажано встановлення його нижче звужуючого пристрою (рис.6.4 Іа) для того, щоб уникнути проникнення із трубопроводу повітря в сполучні лінії. Якщо ж дифманометр розміщується вище звужуючого пристрою, то у верхніх точках ліній встановлюються газозбірники із продувними вентилями (поз. 4, 5).

При вимірюванні витрати газу (повітря) дифманометр доцільно встановлювати вище звужуючого пристрою 1 (рис.6.4 Іб). У випадку зворотного розміщення в нижніх точках сполучних ліній містяться відстійні посудини для води 4, що утворюється під час конденсації пари [3].

При вимірюванні витрати пари більш бажаним є встановлення дифманометра нижче звужуючого пристрою. У протилежному разі у верхніх точках ліній обов'язкове приєднання газозбірників. В обох випадках необхідно забезпечити сталість і однаковість рівнів конденсату в сполучних трубках для того, щоб тиски стовпів води на дифманометр взаємно врівноважувалися і не відбивалися на його показаннях.



I – при вимірюванні витрати рідини; II – при вимірюванні витрати газу:  
 а – нижче звужуючого пристрою; б – вище звужуючого пристрою  
 Рисунок 3.17 – Схема установлення дифманометра у комплекті зі звужуючим пристроєм:

### 3.4.2 Швидкісні витратоміри і лічильники

Швидкісний метод визначення витрати і кількості рідини і газу покладений в основу ряду витратомірів і лічильників, що мають досить простий пристрій і значний діапазон показань. Принцип дії цих приладів полягає у вимірюванні середньої швидкості потоку, пов'язаної з об'ємною витратою  $Q_{об}$  (м<sup>3</sup>/с) речовини залежністю

$$Q_{об} = v_{cp} \cdot F, \quad (3.13)$$

де  $v_{cp}$  – середня швидкість потоку, м/с;  
 $F$  – поперечний переріз потоку, м<sup>2</sup>.

За виконанням і призначенням швидкісні витратоміри і лічильники поділяються на *швидкісні витратоміри і лічильники рідини, напірні трубки і анеометри*.

**Швидкісні лічильники рідини** найчастіше застосовуються для вимірювання кількості води і тому називаються лічильниками води. Чутливим елементом їх є лопатева вертушка, що спричиняє в обертання потоком рідини. Вісь вертушки за допомогою передавального механізму (редуктора), що зменшує частоту обертання, зв'язана з рахунковим пристроєм приладу. Таким чином, залежність витрати рідини, що протікає через швидкісний лічильник, визначається так:

$$Q_{об} = \frac{n \cdot F}{C}, \quad (3.14)$$



де  $n$  – частота обертання вертушки, об/хв ;

$C$  – постійний коефіцієнт.

З формули (3.14) бачимо, що частота обертання вертушки пропорційна витраті рідини, завдяки чому пристрій приладу значно спрощується. Однак при дуже малих витратах спостерігається відхилення від цієї залежності внаслідок перетікання рідини через зазори між вертушкою і корпусом приладу та тертя механізму в опорах. Формула (3.14) справедлива лише за відсутності завихрення рухомої рідини місцевими опорами (вигинами трубопроводу, вентилями та ін.) поблизу лічильника.

Характерною величиною швидкісних лічильників рідини (як і інших лічильників) є так званий поріг початку показань, що виражає найменшу витрату речовини, нижче якого лічильник перестає давати безперервні показання.

Швидкісні лічильники виготовляються для вимірювання кількості холодної (до температури 30°C) і гарячої (до 90°C) води при робочому тиску до 1 МПа. Вертушка їх виконується із пластмаси або металу.

Істотним недоліком швидкісних лічильників є залежність показань від в'язкості вимірювальної рідини.

За формою вертушки швидкісні лічильники поділяються на **крильчасті** і **турбінні**. Вертушка перших має прямі лопаті, спрямовані радіально до її осі, а других - вигнуті по гвинтовій лінії. Вісь вертушки в крильчастих лічильниках розміщена перпендикулярно до напрямку потоку, а в турбінних - паралельно йому [3].

Крильчасті лічильники призначені для установа в горизонтальних трубопроводах і застосовуються при вимірюванні малих витрат води (до 10 м<sup>3</sup>/год). Турбінні лічильники можуть встановлюватися в будь-якому положенні і служать для вимірювання більших витрат води (до 150 м<sup>3</sup>/год).

На рис.3.18 наведена схема крильчастого лічильника води. У корпусі 1 із приєднувальними штуцерами виконані два тангенціально спрямованих канали для входу і виходу води, що надходить на крильчатку 2. У верхній частині корпусу розміщений стрілковороликовий рахунковий покажчик 3, відділений від крильчатки і редуктора 4 перегородкою із сальником 5 вихідної осі.

Крильчасті лічильники мають рахунковий пристрій із ціною поділки стрілкового покажчика 0,001 і роликового - 0,1 м<sup>3</sup>. Кінцеве показання рахункового пристрою 1·10<sup>4</sup> м<sup>3</sup> води. Лічильники встановлюються в трубопроводі відповідно до нанесеної на корпусі стрілки, що показує напрямок потоку рідини.

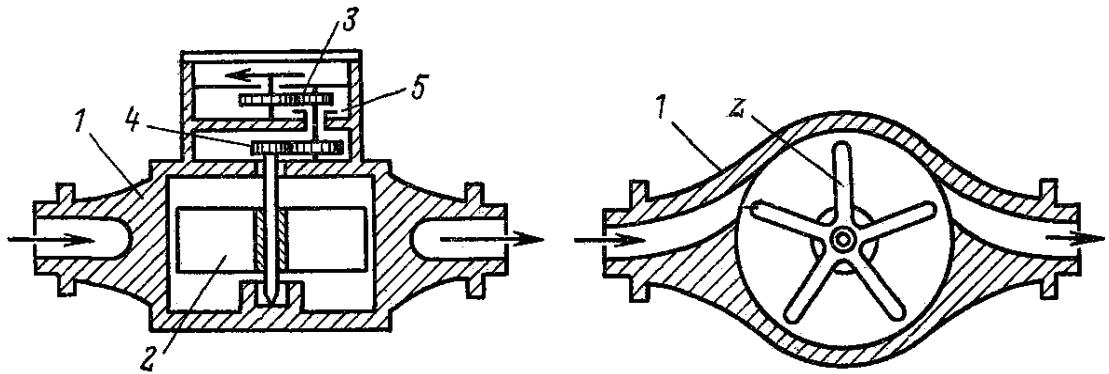


Рисунок 3.18 – Схема крильчастого лічильника води

**Турбінні лічильники** води мають лопатеві вертушки у вигляді багатоходового гвинта з великим кроком. Частота обертання цієї вертушки пропорційна швидкості потоку рідини і обернено пропорційна кроку лопаті. У цьому випадку рівняння (3.14) набирає вигляду

$$Q_{об} = \frac{n \cdot F \cdot l}{K}, \quad (3.15)$$

де  $l$  – крок лопаті вертушки, м;  
 $K$  – постійний коефіцієнт.

Гідравлічний опір лічильників при номінальній витраті становить 2000-2500 Па.

Установлення турбінних лічильників найчастіше виконується в горизонтальних трубопроводах, хоча при висхідному потоці допускається установлення під кутом і вертикально. Для заспокоєння потоку довжина прямої ділянки трубопроводу перед лічильником вибирається такою, що дорівнює  $10D_y$ , і після нього  $5D_y$  (де  $D_y$  – умовний діаметр трубопроводу).

Основна похибка швидкісних лічильників у діапазоні від найменшої витрати до 10-12% від найбільшої становить  $\pm 5\%$  кількості пропущеної води. На всьому іншому діапазоні основна похибка дорівнює  $\pm 2\%$ . Похибка приладів визначається шляхом порівняння цих показань із об'ємом води, що надійшла через лічильник у мірний бак установки. При розбіжностях показань величини у бік збільшення виконується регулювання приладу шляхом зміни положення лопаті регулятора.

### 3.4.3 Анемометри

Для визначення швидкості потоку газу (повітря), особливо при малих її значеннях, коли через невеликий динамічний тиск вимірювання напірними трубками не забезпечує необхідної точності, набули застосування порівняно прості і чутливі прилади - анемометри, які придатні для вимірювання газових потоків, що перебувають під невеликим надлишковим тиском [3].

За допомогою анемометрів знаходиться швидкість газу в точці розміщення приладу, а за значенням середньої швидкості потоку можна зробити висновок про витрату вимірювального середовища. Анемометри

застосовуються для визначення продуктивності повітродувних і повітровідвідних пристроїв, зокрема вентиляційних, а також дістали великого поширення при метеорологічних вимірюваннях. Класифікуються анемометри за двома типами: *механічні* та *електронні*.

**Механічний анемометр.** Чутливим елементом анемометра є алюмінієва вертушка з декількома радіально розміщеними лопатями, вісь якої зв'язана механічно із рахунковим пристроєм. У газовому потоці вертушка починає обертатися зі швидкістю, пропорційною швидкості потоку, завдяки тиску, що подається газом на її лопаті.

Найбільше часто застосовується крильчастий анемометр, придатний для вимірювання швидкості потоку в межах 0,1..10 м/с. Цей прилад (рис.3.19) являє собою металеве кільце 1, усередині якого на горизонтальній осі закріплена крильчатка 2 з лопатями, що розміщені на спицях під  $45^\circ$  до площини, перпендикулярної до осі крильчатки. При вимірюванні анемометр розміщується так, щоб вісь крильчатки була паралельна напрямку потоку, що проходить через кільце. За допомогою черв'ячної пари і осі 3 обертання крильчатки передається рахунковому пристрою 4, закріпленому на зовнішній бічній стороні кільця.

Рахунковий пристрій приладу показує кількість поділок, відлічених за шкалою 4, що умикається і вимикається одночасно з початком і кінцем роботи анемометра. На підставі середньої частоти обертання лопатів, одержуваної шляхом розподілу показань анемометра на час його роботи, обчислюється дійсна швидкість вимірювального потоку за паспортом, що додається до приладу.

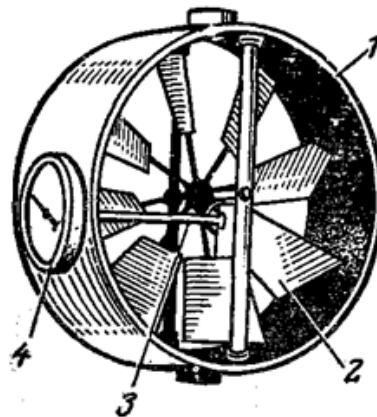


Рисунок 3.19 - Крильчастий анемометр

У випадку вимірювання витрати газу в круглому трубопроводі діаметр останнього повинен дорівнювати не менше ніж шести діаметрам кільця анемометра. Анемометри непридатні для вимірювання швидкості різко пульсуючого потоку. Тривалість окремого вимірювання становить 1,5-2 хв. У кожному новому положенні приладу виконується декілька відрахувань показань рахункового пристрою і секундоміра, за яким потім визначається середня швидкість.

Відхилення площини обертання лопатей крильчатки від напрямку потоку в межах до  $\pm 10^\circ$  дає незначне зменшення показань анемометра (не

більше 1%). Подальше збільшення кута відхилення приводить до різкого зростання похибки вимірювання.

Крім підсумовуючих, застосовуються також показуючі анемометри з насадженим на вісь вертушки ротором мініатюрного генератора змінного струму. Залежно від частоти її обертання змінюється вироблювана генератором напруга, що вимірюється мілівольтметром, градуйованим у м/с.

#### 3.4.4 Об'ємні лічильники

Принцип дії об'ємних лічильників ґрунтується на відмірюванні певного об'єму речовини, який проходить через прилад, і підсумовуванні результатів цього вимірювання [3]. До таких пристроїв відносять: *мірні баки, об'ємні лічильники*.

**Мірний бак** є найбільш простим і точним вимірювальним пристроєм, застосовуваним для визначення кількості рідини при перевірці витратомірів і лічильників, а також при випробуваннях відповідних установок.

Схема мірних баків показана на рис.3.20. Пристрій складається зі спарених мірних баків 1 і 2 прямокутного, постійного по висоті перетину (іноді застосовуються два окремих циліндричних або прямокутних баки) і збірного бака 3. У середині мірних баків розміщені заспокоювачі 4 і 5 у вигляді патрубків з більшою кількістю отворів у стінках. Обидва мірних баки забезпечені вказівними скляними трубками 6 і 7, поруч із якими встановлені циферблати 8 і 9 з міліметровими шкалами. Вимірювана рідина, що надходить по трубопроводу 10, направляєється по черзі в кожен з мірних баків за допомогою перекидного пристрою 11. Для зливу рідини з мірних баків у збирач служать зливальні патрубки із запірними клапанами 12 і 13. Кожен мірний бак попередньо градується, тобто визначається залежність між висотою рівня рідини у вказівному склі і внутрішньому об'ємі бака.

**Об'ємні лічильники** мають мірні камери зі стінками, що переміщаються і які витискують вимірювальний об'єм рідини, звільняючи камеру для наступної порції. До об'ємних лічильників зазначеного типу відносять: *однопоршневі, багатопоршневі, кільцеві, з овальними шестернями, ротаційні, сухі газові, мокрі газові і дискові*.

**Лічильники з овальними шестернями** [3] застосовуються для вимірювання кількості рідини в широкому діапазоні в'язкості (до  $300 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ). Дія їх ґрунтується на відмірюванні (витисненні) певних обсягів рідини, які утворюються між стінками вимірювальної камери і овальними шестернями, при обертанні останніх під впливом руху вимірювальної рідини. Овальні шестерні, що перебувають між собою в безперервному зачепленні, при обертанні обкатують одна одну. Залежно від положення шестерень кожна з них по черзі є ведучою і веденою. Розмір зазорів між шестернями і стінками вимірювальної камери не перевищує 0,04-0,06 мм, внаслідок чого похибка вимірювання через перетікання через них рідини невелика.

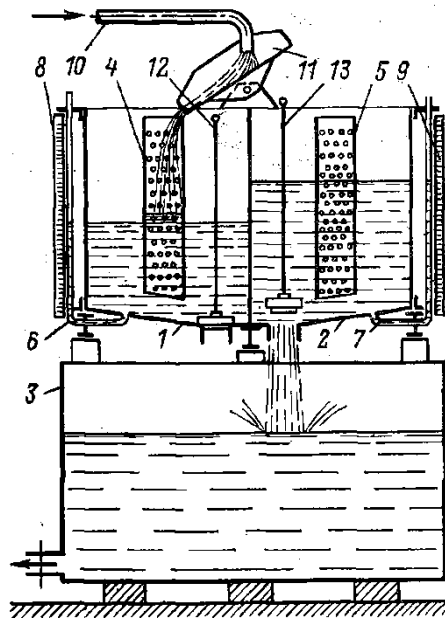


Рисунок 3.20 – Мірний бак

Кількість рідини, що пройшла через лічильник, розраховується за кількістю обертів однієї з його шестерень, зв'язаної з рахунковим стрілковороликовим показчиком. У підсумку за один оберт через лічильник проходить об'єм рідини, що дорівнює чотирьом об'ємам мірних камер, які перекачують рідину. Вісь однієї із шестерень обертає рахунковий механізм, розміщений поза корпусом приладу. Лічильники рідини з овальними шестернями призначені для установлення в горизонтальних трубопроводах, причому осі обертання шестерень розміщуються горизонтально, а круговий циферблат – вертикально нульовою оцінкою шкали вгору. Випускаються лічильники рідини з овальними шестернями різних типів, призначених для вимірювання кількості рідкого палива (бензину, керосину, дизельного палива та ін.). У цих лічильниках зв'язок між овальною шестірнею і рахунковим показчиком здійснюється за допомогою осі, що виходить із вимірювальної камери через сальник, або за допомогою магнітної муфти.

Межі зміни в'язкості вимірювального середовища  $0,7 \cdot 10^{-3} - 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ . Гідравлічний опір лічильників при найбільшій витраті  $0,05 \text{ МПа}$ . Клас точності приладів  $0,5$ . Перевірка лічильників рідини з овальними шестернями проводиться за допомогою мірних баків на спеціальних дослідних установках.

**Ротаційні лічильники газу** [3] в основному застосовуються для вимірювання кількості горючих газів, принцип дії яких той самий, що і лічильників рідини з овальними шестернями. Ротаційний лічильник (рис.3.21) містить вимірювальну камеру 1, у якій розміщені широкі обертові лопаті 2 і 3 у формі вісімки, які приводяться у рух різницею тисків газу, що проходить через лічильник. Прилад має рахунковий пристрій з роликовим показчиком, з'єднаний з однією з лопатів за допомогою магнітної муфти або за допомогою вихідної осі, пропущеної через сальник. Для контролю за роботою лічильника в нього вбудований водяний дифманометр, що вимірює перепад тиску газу в приладі (рахунковий пристрій і дифманометр на рис.3.21 не показані).

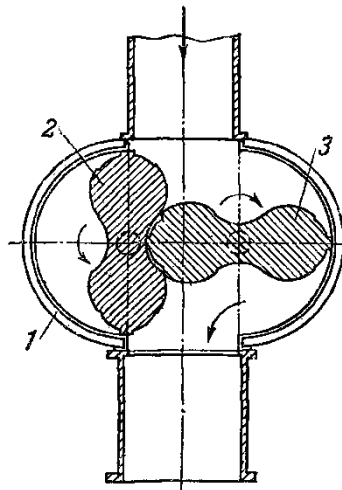


Рисунок 3.21 – Схема ротаційного лічильника

Установлення ротаційних лічильників виконується на вертикальних ділянках трубопроводів зі спадним потоком газу. У вхідному патрубку лічильника є сітчастий фільтр для очищення газу від механічних домішок.

Прилади розраховані на робочий тиск газу 0,1 МПа і температуру 0-50°C. Гідравлічний опір їх при номінальній витраті 300 Па. Основна похибка лічильників при витраті 10-20% номінального  $\pm 2\%$  і вище -  $\pm(1-1,5)\%$ . Лічильники допускають роботу при найбільшій витраті газу протягом 6 годин на добу.

### 3.4.5 Витратоміри обтікання (ротаметри)

Витратоміри обтікання відносяться до великої групи витратомірів, що називаються також *витратомірами постійного перепаду тиску*, або *ротаметрами*. У цих витратомірах обтічне тіло (поплавець, поршень, поворотний клапан, пластинка, кулька та ін.) сприймає з боку набіжного потоку силовий вплив, який при зростанні витрати збільшується і переміщає обтічне тіло, у результаті чого сила, яка переміщає, зменшується і знову врівноважується протидіючою силою. Протидіючою силою є вага обтічного тіла при русі потоку вертикально знизу нагору або сила протидіючої пружини у випадку довільного напрямку потоку. Вихідним сигналом розглянутих перетворювачів витрати служить переміщення обтічного тіла. На рис.3.22 наведені принципові схеми перетворювальних елементів витратомірів обтікання, що дістали найбільшого поширення [3].

Згідно зі схемою рис.3.22 а в конічній трубці 1 розміщений поплавець 2, при підніманні якого нагору під дією потоку збільшується площа прохідного кільця між поплавцем і стінкою конічної трубки, що приводить до зменшення сили, створеної потоком, яка діє на поплавець. Речовина, протікаючи через прорізи, надає поплавцю обертання, і він центрується в середині потоку. При рівновазі сил, які діють на поплавець, він установлюється на висоті, що відповідає вимірюваному значенню витрати. Аналогічно збільшується кільцевий перетин між конічним клапаном 2 і циліндричним сидлом 1

(рис.3.22 б). На схемі рис.3.22 в при підніманні поршня 1 збільшується площа вихідного бічного отвору 3 у стінці циліндра 2.

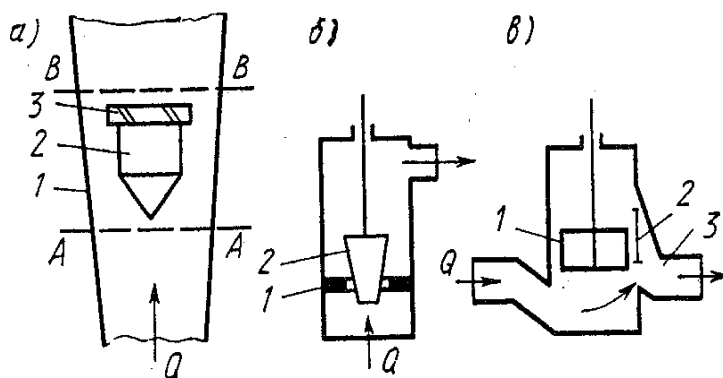


Рисунок 3.22 – Схеми витратомірів обтікання

Витратоміри обтікання, які застосовуються для вимірювання витрати рідин і газів, мають кілька різновидів. Найпоширеніші з них наведені на рис.3.23. У ротаметрах зі скляною конічною трубкою 1 (рис.3.23 а), призначених для вимірювання газів або прозорих рідин, шкала 4 нанесена безпосередньо на зовнішній поверхні скла. Показчиком служить верхня горизонтальна площина обертового поплавця 2. На нижньому патрубку є сідло, на яке опускається поплавець при нульовій витраті речовини. На верхньому патрубку є обмежник ходу поплавця 3.

Для вимірювання витрати непрозорих рідин (рис.3.23 б) застосовують циліндричну скляну трубку 3 і циліндричний поплавець 1 з отвором посередині, через який проходить нерухомий стрижень 2 конічного перетину.

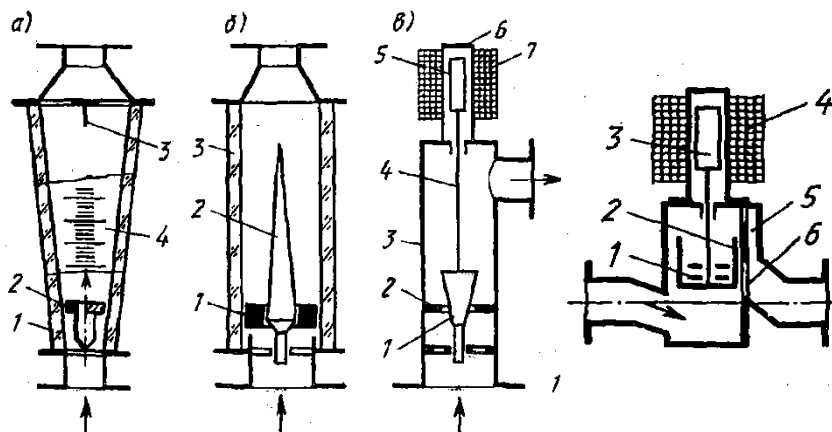


Рисунок 3.23 – Конструктивні схеми ротаметрів

При переміщенні уздовж трубки 1 поплавець одночасно обертається, а кільцевий змінний отвір для потоку створюється між поплавцем і стрижнем 2. Ротаметри зі скляними трубками виготовляють на максимальний тиск 0,6 МПа.

Для вимірювання витрати газів і рідин на технологічних потоках застосовуються ротаметри, забезпечені передавальними перетворювальними елементами з електричним (рис.3.23 в) або пневматичним вихідним сигналом.

Ротаметр, показаний на рис.3.23 в, складається з металевого корпусу 3, усередині якого при зміні витрати переміщається обтічне тіло – клапан конічного профілю 1. Між робочою поверхнею клапана 1 і кільцевою діафрагмою 2 створюється змінний прохідний отвір. Із клапаном 1 за допомогою штока 4 зв'язане осердя 5 диференціально-трансформаторного перетворювального елемента 7, котушка якого намотана на трубку 6 з немагнітної сталі. Клас точності цих ротаметрів у комплекті із вторинним приладом – 2,5.

У поршневому витратомірі постійного перепаду тиску (рис.3.23 в) маса поршня 2 з вантажами 1 і штока із осердям 3 зрівноважується перепадом тиску до і після вихідного прямокутного отвору 6 у бічній стінці циліндра. Передавальний перетворювач тут виконаний у вигляді осердя 3 з м'якої сталі, що переміщається усередині немагнітної трубки, на якій встановлена індукційна котушка 4. Чим більша витрата речовини, тим вище піднімається поршень і відкривається прохідний перетин у бічній стінці. Тиск за отвором 6 через канал 5 передається у верхню частину поршня. Таким чином, перепад тиску на отворі і на поршні той самий. Цей перепад створює підйомну силу поршня, що зрівноважується вагою рухомої системи. Змінюючи вагу рухомої системи за допомогою змінних вантажів 1, змінюють межу вимірювання витратоміра.

### **3.4.6 Електромагнітні (індукційні) витратоміри**

Розглянуті вище методи вимірювання витрати і кількості речовини характеризуються тим, що чутливий елемент приладу перебуває безпосередньо у вимірювальному середовищі, тобто зазнає механічного і хімічного її впливу і спричиняє втрату тиску потоку. Безперервна дія вимірювального середовища на чутливий елемент із часом негативно впливає на точність, надійність і термін служби приладу [3].

Для вимірювання витрати хімічно агресивних (кислоти, луги), абразивних (пульпи) та інших рідин, які пошкоджують матеріал дотичних до них частин витратоміра, описані вище методи і прилади взагалі непридатні.

Існує ряд приладів для вимірювання витрати рідини, чутливий елемент яких не має безпосереднього з нею контакту, що дозволяє застосовувати їх при агресивних середовищах. До таких приладів відносять електромагнітні (індукційні) витратоміри.

Електромагнітні витратоміри застосовуються для вимірювання витрати електропровідних рідин. Застосовуються для вимірювання в трубопроводах об'ємної витрати водопровідної води, різних розчинів (солей, кислот), пульп, розплавлених металів та інших електропровідних рідин, електрична провідність яких повинна бути не менше електропровідності водопровідної води. Дія їх ґрунтується на тому принципі, що при проходженні в трубопроводі електропровідної рідини поперек силових ліній магнітного поля в ній індукується е.р.с., величина якої визначається за формулою:



$$E = B \cdot l \cdot v_{cp} = \frac{4 \cdot B \cdot Q}{\pi \cdot d} \quad , \quad (3.16)$$

де  $B$  – магнітна індукція;

$l$  – відстань між кінцями електродів у трубі з внутрішнім діаметром  $d$  ( $l=d$ ), м;

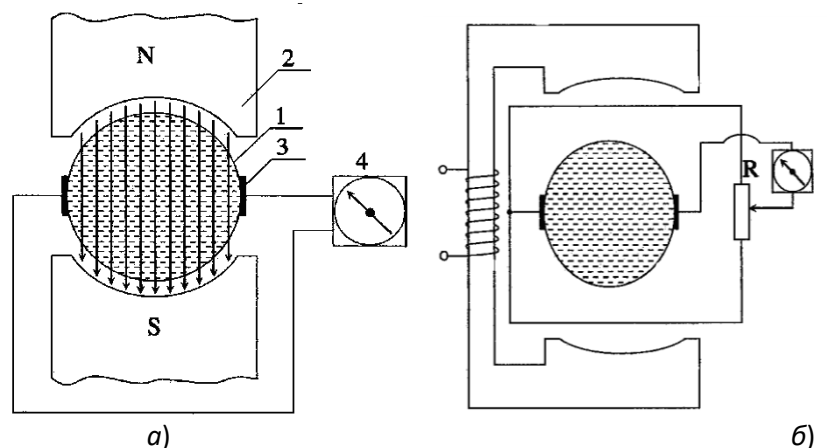
$v_{cp}$  – середня швидкість руху рідини, м/с;

$Q$  – витрата рідини, що протікає, м<sup>3</sup>/с.

Таким чином, електромагнітний витратомір являє собою невеликий гідродинамічний генератор змінного струму, що виробляє е.р.с., пропорційну середній швидкості потоку, а отже, і витраті рідини.

Вимір витрати рідини електромагнітним методом здійснюється при використанні як постійного магніту, так і магніту зі змінним магнітним полем. Зазначені способи створення магнітного поля мають свої позитивні і негативні сторони [3].

Схема електромагнітного витратоміра з постійним магнітним полем зображена на рис.3.24 а. Корпус 1 – це відрізок труби, виконаний з немагнітного матеріалу і покритий зсередини електричною ізоляцією (гумою, емаллю, фторопластом та ін.), розміщений між полюсами магніту 2. Магнітні силові лінії спрямовані перпендикулярно до вектора швидкості руху рідини. Через стінку труби ізольовано від неї введені електроди 3, які перебувають у контакті з рідиною. Вся інформація надходить у вимірювальний пристрій 4.



а) – з постійним магнітним полем; б) – зі змінним магнітним полем

Рисунок 3.24 – Схема електромагнітного витратоміра

Перевагою електромагнітних витратомірів з постійним магнітним полем є те, що значно зменшується проблема, пов'язана з перешкодами від зовнішніх змінних електромагнітних полів, особливо при застосуванні в промислових умовах, де працюють електромотори, магнітні крани, трансформатори та інше електротехнічне устаткування. До переваг таких витратомірів варто віднести відсутність необхідності в джерелі живлення чутливих елементів, тобто самих електродів, розміщених на трубопроводі, що забезпечує безпеку його роботи і ряд інших факторів.

Основним недоліком магнітних витратомірів з постійним магнітним полем є поляризація електродів, тобто виникнення у позитивного електрода негативних іонів, а у негативного електрода - позитивних іонів. Тому електромагнітні витратоміри з постійним магнітним полем не застосовуються для рідин з іонною провідністю (кислоти, солі, водні розчини різних речовин та ін.). Такі витратоміри набули застосування для вимірювання витрати рідких середовищ із електронною провідністю, до яких відносять розплавлені рідкі метали (натрій, ртуть, залізобуглецеві розплави та ін.) і у яких відсутнє явище поляризації. Можливе застосування таких витратомірів – атомні реактори з розплавленим металевим теплоносієм, плавильні і ливарні агрегати на металургійних заводах та ін. [3].

Для вимірювання витрати середовищ із іонною провідністю застосовуються витратоміри зі змінним магнітним полем, створюваним електромагнітом (рис.3.24 б). При досить високій частоті електромагнітного поля поляризація електродів практично відсутня.

Електромагнітні витратоміри різних модифікацій мають вбудований у вимірювальний блок мікропроцесорний пристрій, що обробляє інформацію від датчика витрати, встановленого на трубопроводі, реєструє значення миттєвої витрати і кількості за певний проміжок часу, має можливість передачі даних на ЕОМ інтерфейсом та інші операції.

Переваги електромагнітних витратомірів:

- незалежність показань від в'язкості і густини вимірювального середовища;
- можливість застосування в трубах будь-якого діаметра;
- відсутність втрат тиску в потоці;
- необхідність меншої довжини прямих ділянок труб;
- висока швидкодія.

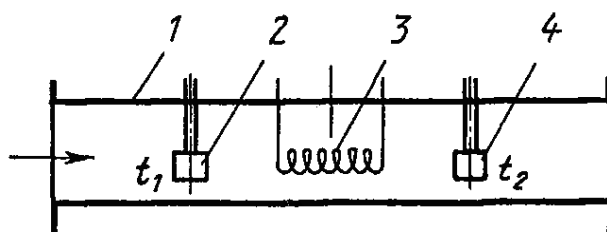
До основних недоліків електромагнітних витратомірів можна віднести:

- непридатні для вимірювання витрат газу і пари;
- непридатні для вимірювання витрати рідин-діелектриків (спирт, нафтопродукти і т.п)

### **3.4.7 Теплові витратоміри**

Принцип дії теплових витратомірів ґрунтується на нагріванні потоку речовини і вимірюванні різниці температур до і після нагрівача (калориметричні витратоміри) або на вимірюванні температури нагрітого тіла, яке поміщене у потік (термоанемометричні витратоміри). Останні не мають самостійного застосування в технологічних вимірюваннях [3].

Схема калориметричного витратоміра показана на рис.3.25. У трубопроводі 1 встановлений нагрівач потоку 3, на рівних відстанях від центра нагрівача – термоперетворювачі 2 і 4 (при цьому нагрівання їх від випромінювання однакове), що вимірюють температуру потоку до нагрівання  $t_1$  і після нагрівання -  $t_2$ .



1 – трубопровід; 2,4 – термоперетворювачі; 3 – нагрівач потоку  
Рисунок 3.25 – Схема калориметричного витратоміра

Для нерухомого середовища розподіл температури в ній симетрично щодо осі нагрівача і тому різниця температур  $\Delta t = t_1 - t_2 = 0$ . При певній малій швидкості потоку розподіл температури несиметричний і трохи зміщується по потоку. У місці термоперетворювача 2 температура знижується внаслідок надходження холодної речовини, а в місці термоперетворювача 4 температура  $t_2$  або трохи підвищується, або ж не змінюється, внаслідок чого при малих витратах  $\Delta t$  збільшується із зростанням витрати. При подальшому збільшенні витрати при постійній потужності нагрівача  $t_2$  стане зменшуватися, у той час як  $t_1$  практично постійна, тобто буде зменшуватися  $\Delta t$ . Таким чином, при більших витратах різниця температур  $\Delta t$  обернено пропорційна витраті [3].

Залежність між масовою витратою  $G$  і різницею температур  $\Delta t$  при допущенні, що немає втрат теплоти в навколишнє середовище (що досягається ізоляцією труби), визначається рівнянням теплового балансу вигляду

$$G = \frac{N}{k \cdot c_p \cdot \Delta t}, \quad (3.17)$$

де  $N$  – потужність нагрівача;

$k$  – поправочний множник на нерівномірність розподілу температур по перетину трубопроводу;

$c_p$  – теплоємність речовини при температурі  $(t_1 + t_2)/2$ .

З виразу (3.17) видно, що вимірювання масової витрати може бути здійснено двома способами:

1. За значенням подаваної до нагрівача потужності  $N$ , що забезпечує постійну задану різницю температур  $\Delta t$ .

2. За значенням різниці  $\Delta t$  при постійній  $N$ .

Як перетворювачі температури в калориметричних витратомірах можуть бути використані різні термоприймачі (термоелектричні перетворювачі, термоперетворювачі опору та ін.). Термоперетворювачі опору характеризуються тою перевагою, що їх можна виконувати у вигляді рівномірної сітки, що перекриває весь перетин, і в такий спосіб вимірювати середню по перетину температуру.

Калориметричні витратоміри, що градируються індивідуально, мають класи точності 0,5..1. Калориметричні витратоміри в основному застосовують для вимірювання малих витрат чистих газів. Для вимірювання витрати рідин калориметричні витратоміри не знайшли практичного застосування через велику споживану потужність. Основна і важлива перевага калориметричних витратомірів полягає в тому, що вони забезпечують вимірювання масової

витрати газу без вимірювання його параметрів стану (тиск, температура, густина) [3,4].

Пошуки підвищення експлуатаційної надійності калориметричних витратомірів привели до створення теплових витратомірів, у яких нагрівач і термоперетворювачі розміщують на зовнішній стінці труби, і передача теплоти до потоку здійснюється через стінку труби.

### 3.4.8 Ультразвукові витратоміри

Розглянуті вище методи вимірювання витрати мають важливий недолік, пов'язаний з тим, що чутливі елементи (діафрагма, сопло, напірна трубка) перебувають безпосередньо у потоці і зазнають впливу середовища на конструктивні частини чутливого елемента. З іншого боку, самі чутливі елементи, перебуваючи в потоці, впливають на його аеродинамічні характеристики, що приводить до появи додаткової похибки вимірювання.

Останнім часом почали широко застосовуватися методи вимірювання витрати, у яких чутливі елементи перебувають поза рухомим середовищем, це дозволяє розширити кількість видів обмірюваних середовищ (розплавлені метали, кислоти, луги, агресивні і токсичні рідини, гази та ін.). В одному з таких методів вимірювання витрати використовується ультразвукова хвиля, що подає інформацію про швидкість і витрату рухомого середовища у закритих і відкритих каналах[3,4].

В ультразвукових витратомірах використовуються різні ефекти, пов'язані із проходженням ультразвуку через рухоме середовище: зміна швидкості ультразвуку в поздовжньому напрямку потоку; відхилення ультразвукової хвилі при поперечному проходженні в потоці; ефект Доплера та ін.

Найбільшого поширення дістав метод вимірювання витрати, що базується на вимірюванні різниці часу проходження ультразвуку за напрямком і проти напрямку потоку середовища.

У таких приладах випромінювачі (п'єзоелементи) посилають через рухоме середовище дві звукові хвилі в протилежних напрямках. Якщо середовище нерухоме, то обидві хвилі проходять ту саму відстань  $L$  до приймаючих п'єзоелементів за однаковий час. Рухоме середовище прискорює одну звукову хвилю і сповільнює іншу. Різниця часу  $\Delta t$  проходження відстані  $L$  цими хвилями пропорційна швидкості  $v$  середовища. Одним зі способів вимірювання  $\Delta t$  є вимірювання різниці фаз змінних напрямків, що виникають на приймаючих п'єзоелементах

Вираз для визначення витрати середовища ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) при використанні частотного ультразвукового витратоміра:

$$Q = \frac{F \cdot L}{2} \cdot (f_1 - f_2), \quad (3.18)$$

де  $F$  – перетин трубопроводу (каналу),  $\text{м}^2$ ;

$L$  – відстань між приймачами ультразвукового сигналу, м;  
 $f_1, f_2$  – відповідно частота проходження імпульсів при прямому проходженні ультразвуку і при зустрічному проходженні ультразвуку.

Як бачимо з формули (3.18), показання частотного витратоміра не залежить від швидкості проходження ультразвуку в середовищі, що є важливою перевагою такого методу вимірювання витрати рідких і газоподібних середовищ.

В інших типах витратомірів ультразвукова хвиля спрямовується перпендикулярно до осі труби, і за величиною відхилення ультразвукової хвилі від перпендикуляра визначається витрата або середня швидкість потоку. У міру збільшення середньої швидкості потоку  $v$  напрямком ультразвукового сигналу зі швидкістю  $c$  усе більше відхиляється за напрямком швидкості потоку (рис.3.25). Кут відхилення напрямку сигналу  $\alpha$  буде визначатися виразом:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{v}{c}\right). \quad (3.19)$$

Зі збільшенням середньої швидкості середовища  $v$  кількість енергії, що надходить на приймач П1, зменшується, а та, що надходить на приймач П2 - збільшується. Різниця сигналів від приймачів П1 і П2 збільшується зі зростанням середньої швидкості, а отже, і витрати, і надходить у витратомір V[3,4].

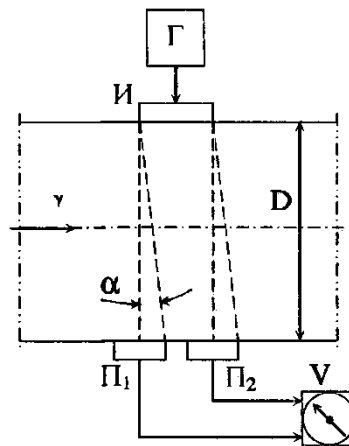


Рисунок 3.25 - Ультразвуковий витратомір з вертикальним відхиленням ультразвуку

Витратоміри з такою схемою прості за будовою, але мають обмежену точність через мале відхилення променя. Крім того, швидкість ультразвуку, що входить у розрахункові формули витрати, може мінятися при зміні фізичних параметрів і складу обмірюваного середовища, що вносить додаткову похибку.

Розроблено інші типи ультразвукових витратомірів нового покоління, таких, як часоімпульсні і фазові. У часоімпульсних витрато-мірах періодично здійснюється вимірювання різниці часу проходження дуже коротких імпульсів тривалістю 0,1-0,2 мікросекунд, по ходу і проти ходу руху

середовища в трубопроводі. Обмірювана різниця часів дуже мала навіть при більших швидкостях руху середовища, що вимагає застосування електронних вимірювальних систем підвищеної точності. Крім того, показання таких витратомірів залежать від зміни швидкості ультразвуку в середовищі. Такі витратоміри застосовуються в основному для вимірювання витрати рідких середовищ, для яких у процесі вимірювання істотно не змінюються такі параметри, як густина, температура, тиск.

У фазових ультразвукових витратомірах використовується ефект Доплера, тобто вимірюється різниця фаз ультразвукових коливань, які поширюються по потоку і проти нього. Недоліком таких витратомірів також є залежність показань від зміни швидкості ультразвуку в середовищі.

Розроблені різні модифікації ультразвукових часоімпульсних і доплерівських (фазових) витратомірів, які застосовуються в нафтовій, металургійній, хімічній та інших областях промисловості для вимірювання витрати мазуту, нафти, нафтопродуктів та інших рідин, у тому числі середовищ, забруднених твердими і газоподібними включеннями. Перевагою таких витратомірів є широкий діапазон вимірювальних витрат від 0,45 до 110000 м<sup>3</sup>/год для трубопроводів діаметром від 40 до 1800 мм із похибкою вимірювання не більше 2%.

Сучасні ультразвукові витратоміри комплектуються вбудованими мікропроцесорами, які забезпечують обробку інформації, що надходить від датчиків, вимірювання і індикація витрати середовища (за годину, добу, місяць), виготовлення уніфікованого струмового сигналу при використанні системи автоматичного регулювання, введення необхідних коригувальних і керуючих команд та ін.

На практиці дістали поширення і переносні ультразвукові витратоміри, які мають такі самі метрологічні характеристики, як і стаціонарні. До комплекту приладу входять безпосередньо витратомір, портативна ЕОМ, багатофункціональний блок живлення із вбудованим акумулятором, монтажні пристрої для швидкого і правильного розміщення датчиків на поверхні трубопроводу. Такі прилади використовуються для оперативного контролю витрат обраного типу середовища на різних ділянках трубопроводів, які мають різний діаметр і товщину стінки.

Ультразвукові витратоміри є найбільш перспективними приладами для вимірювання витрат різних рідких і газоподібних середовищ. Найбільшу точність вимірювання показують одноканальні ультразвукові витратоміри з урізаними датчиками, похибка яких не перевищує 0,3%.

### **3.4.9 Силкові витратоміри**

Ці витратоміри ґрунтуються на залежності від масової витрати ефекту силового впливу, який надає потоку прискорення того або іншого роду. Таке прискорення виникає в процесі надання потоку певного руху (наприклад, закручування) [3,4].

Додаткове прискорення пропорційно масовій витраті. Тому силові витратоміри вимірюють масову витрату, що є їхньою істотною перевагою. Крім того, завдяки малій залежності від профілю швидкостей, у них немає жорстких вимог до прямої ділянки труби перед перетворювачем витрати.

Силові витратоміри застосовуються для вимірювання витрати як однофазних, так і двофазних середовищ, сипучих речовин і пульпових матеріалів (наприклад, шламу).

У всіх інших випадках застосовуються тільки коріолісові силові витратоміри. Турбосилові витратоміри досить зручні для вимірювання витрати однофазних середовищ, не придатні для двофазних, тому що при закручуванні потоку відбувається сепарація фаз під впливом відцентрової сили. Це порушує рівномірний розподіл фаз по перетину і змінює величину вимірювального моменту. У коріолісових витратомірів вимірювальна речовина рухається перпендикулярно осі обертання потоку.