

Лекція 18. Вимірювання витрат рідких та газоподібних речовин

Вимірювання витрат речовин широко застосовують у різних галузях народного господарства, зокрема у водопровідних системах, в газових системах, в нафтогазотранспортних системах і т.д.

Витрати є головним параметром руху потоків газоподібних речовин.

Витратою називається кількість речовини, що протікає через поперечний розріз за одиницю часу. Розрізняють об'ємну витрату Q_v , коли кількість речовини вимірюється в об'ємних одиницях ($\text{м}^3/\text{с}$), і масовий Q_m , коли вона вимірюється в одиницях маси ($\text{кг}/\text{с}$). Залежність між цими витратами виражається формулою

$$Q_m = Q_v \cdot \rho, \quad (4.135)$$

де

$$Q_v = V \cdot S \quad (4.136)$$

ρ – щільність речовини; V – середня швидкість потоку за перерізом; S – площа перерізу потоку;

Прилади для вимірювання витрат називаються витратомірами, а для вимірювання кількості речовини – лічильниками кількості або коротко лічильниками. Кількість речовини в цьому випадку визначається як різниця показів лічильника на початку і в кінці цього

проміжку часу. За допомогою лічильника можна визначити лише середні витрати за визначений проміжок часу на відміну від витратомірів, що дозволяють визначити витрати в будь-який момент.

Існує велике різноманіття методів вимірювання та конструктивних різновидів витратомірів і лічильників. Найпоширенішим є витратоміри змінного перепаду тисків із звужувальними пристроями, тахометричні, теплові, ультразвукові, індукційні витратоміри і т.д.

4.8.2. Вимірювання витрат за перепадом тиску

Метод вимірювання витрат за перепадом тиску заснований на використанні звужувального пристрою в трубопроводі, що створює в ньому перепад тиску з двох сторін звужувального пристрою.

В якості завужувальних пристроїв використовуються діафрагми, сопло, труба Вентурі тощо.

На рис. 4.50,*а* зображена ділянка трубопроводу 1 зі звужувальним пристроєм 2 у вигляді діафрагми, а на рис. 4.50,*б* – характер розподілу тиску вздовж стінки трубопроводу.

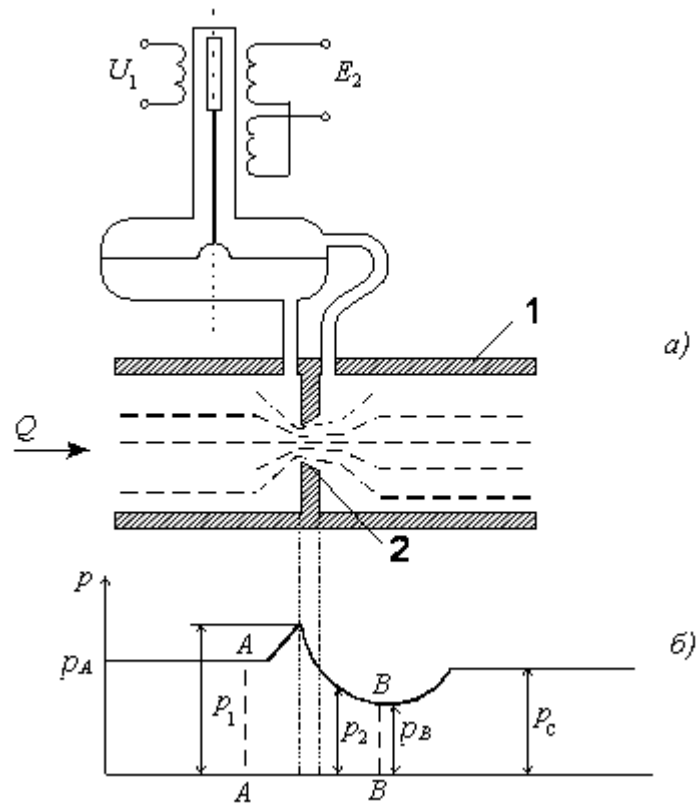


Рис. 4.50

Діафрагма являє собою диск з отворами. У трубопроводі до діафрагми (до перерізу $A-A$) струмінь досліджуваної рідини має середню швидкість V_A і тиск p_A .

Починаючи з перерізу $A-A$, струмінь рідини звужується, а середня швидкість потоку зростає і зростає також його кінетична енергія. Це викликає зменшення потенціальної енергії, яка визначається статичним тиском. Тиск у звуженому потоці менший, ніж тиск p_A в потоці до звуження. На деякій ділянці після діафрагми, внаслідок інерції, струмінь продовжує звужуватися і продовжує зменшуватися тиск потоку. В перерізі $B-B$ тиск досягає найменшого значення p_B . Різниця тисків $\Delta p = p_A - p_B$ зростає із збільшенням швидкості потоку в перерізі $B-B$ і є мірою витрат. Звужувальний пристрій є перетворювачем швидкості потоку (чи його витрат) у різницю тисків.

Після перерізу $B-B$ струмінь починає розширюватися, швидкість потоку зменшуватися, а тиск зростає до деякого значення $p_c < p_A$.

Вимірюючи різницю статичних тисків $\Delta p = p_A - p_B$ потоку до звуження і в звуженому перерізі, визначають витрати протікаючого середовища. Визначити залежність різниці тисків Δp від витрати можна користуючись рівнянням Бернуллі, яке описує стан потоку в перерізах $A-A$ і $B-B$:

$$\frac{p_A}{\rho_A \cdot g} + \frac{V_A^2}{2g} + h_1 = \frac{p_B}{\rho_B \cdot g} + \frac{V_B^2}{2g} + h_2 + \xi \frac{V_B^2}{2g},$$

(4.137)

де p_A та p_B – тиск у перерізах, відповідно, $A-A$ і $B-B$ трубопроводу;
 ρ_A і ρ_B – густина досліджуваної речовини в перерізах A та B ;
 V_A і V_B – швидкість течії речовини в цих же перерізах; h_1 і h_2 – висоти перерізів A і B над горизонтальним умовним рівнем; ξ – коефіцієнт втрат енергії; g – прискорення вільного падіння.

Для подальшого аналізу рівняння (4.137) допускають, що:

- труба цілком заповнена середовищем;
- труба розміщена горизонтально, тобто $h_1 = h_2$;
- втрати енергії від тертя потоку в трубі незрівнянно малі, тобто $\xi = 0$.

В цьому випадку рівняння (4.137) матиме вигляд

$$\frac{p_A}{\rho_A} + \frac{V_A^2}{2} = \frac{p_B}{\rho_B} + \frac{V_B^2}{2}.$$

(4.138)

Враховуючи умову нестисливості рідини, коли $\rho_A = \rho_B = \rho$, з рівняння (4.138) отримаємо

$$\Delta p = p_A - p_B = \frac{\rho}{2}(V_B^2 - V_A^2),$$

(4.139)

Отже, різниця тисків Δp зростає зі збільшенням швидкості V_B потоку після діафрагми.

З урахуванням неперервності струменя витрати в перерізі A та в перерізі B будуть однакові, тому, як випливає з (4.136),

$$Q_V = V_A \cdot S_A = V_B \cdot S_B,$$

(4.140)

де S_A та S_B – площі струменя в перерізах A і B .

З рівняння (4.140) випливає

$$V_A = \frac{V_B \cdot S_B}{S_A}.$$

(4.141)

Підставивши (4.141) в (4.139) отримаємо

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot \frac{V_B^2 (S_A^2 - S_B^2)}{S_A^2} = \frac{\rho}{2} \cdot V_B^2 \left[1 - \left(\frac{S_B}{S_A} \right)^2 \right].$$

(4.142)

Отже швидкість потоку в перерізі B

$$V_B = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \left[1 - \left(\frac{S_B}{S_A} \right)^2 \right]}}$$

(4.143)

Об'ємні витрати

$$Q_V = V_B \cdot S_B = S_B \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho \left[1 - \left(\frac{S_B}{S_A} \right)^2 \right]}}$$

(4.144)

У реальних умовах розрахунок витрат зручно виконувати виходячи з розміру S_o – площі отвору звужувального пристрою.

Крім цього, в реальних конструкціях витратомірів із звужувальною діафрагмою вимірювання тиску здійснюється безпосередньо до і після звужувальної діафрагми (рис. 4.50,а), а не в перерізах A і B . В цьому випадку $\Delta p = p_1 - p_2$ дещо відрізняється від $\Delta p = p_A - p_B$. Ця відмінність враховується при експериментальному визначенні коефіцієнта A – коефіцієнта витрат, який вводиться в формулу (4.144) для її корекції. В цьому разі об'ємні витрати

$$Q_V = A \cdot S_o \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

(4.145)

а масові витрати

$$Q_M = \rho \cdot Q_V = A \cdot S_o \sqrt{2\rho \cdot \Delta p},$$

(4.146)

Коефіцієнт A характеризує також співвідношення між площинами перерізів S_o , S_A та S_B , параметрів середовища, режиму течії (числа Рейнольдса) і визначається експериментально.

Різниця тисків Δp може вимірюватись диференціальним манометром 3 (рис. 4.50,а), що градується в одиницях витрат.

Перевагою витратомірів із звужувальними пристроями є їхня універсальність. Вони придатні для вимірювання витрат в трубах будь-якого діаметра і при будь-якому тиску. Звужувальні пристрої виготовляються стандартними і застосовуються у комплекті з дифманометрами без проведення індивідуального градуювання. Основними недоліками витратомірів із звужувальними пристроями є нелінійна функція перетворення і труднощі при вимірюванні пульсуючих і змінних витрат. Основна приведена похибка витратомірів цього типу становить 3%.

Для нестандартних звужувальних пристроїв залежність між витратами та перепадом тиску встановлюється з малою ймовірністю, а похибка взагалі не нормується.

4.8.3. Турбінні витратоміри

Турбінні витратоміри мають більш високу точність вимірювання витрат рідини в трубах у порівнянні з витратоміром із звужувальною діафрагмою.

Пристрій турбінного витратоміра складається з турбінки встановленої в трубі, по якій протікає досліджуваний потік. Вісь турбіни закріплена в підшипниках. Принцип дії цього лічильника засновано на вимірюванні швидкості обертання турбіни під дією досліджуваного потоку рідини. Для нормальної роботи лічильника необхідна відсутність завихрень у потоці, що надходить у турбіну. В цьому випадку частота обертання турбіни пропорційна швидкості руху потоку. Для усунення завихрень у потоці використовують спеціальні випрямлячі струменя досліджуваної речовини, виконані у вигляді набору трубок або пластин, вмонтованих по перерізу трубопроводу перед турбіною та після неї. Для вимірювання витрат гарячої та холодної води застосовують турбінні лічильники з механічним лічильним механізмом, наприклад, крильчасті водоміри КВ-1,5. Вони мають діапазон об'ємних витрат 0,06...3,0 м³/год з похибками вимірювань $\pm 2\%$, а поріг чутливості не перевищує 0,03 М³/год.

При вимірюванні малих витрат турбінними лічильниками можуть виникати значні похибки, викликані механічним тертям у місцях з'єднання турбіни з механічним лічильником обертів. Ці

похибки значно менші в індуктивних лічильниках турбінного типу (рис. 4.51).

Даний пристрій складається з турбіни 1, вісь якої закріплена підшипниками 2. На одній з лопаток турбіни розташований постійний магніт 4. Турбіна встановлена в трубі 3, що виготовлена з немагнітного матеріалу. Ззовні труби розміщений імпульсний індукційний перетворювач 5. При поступальному переміщенні рідини по трубі турбінка обертається.

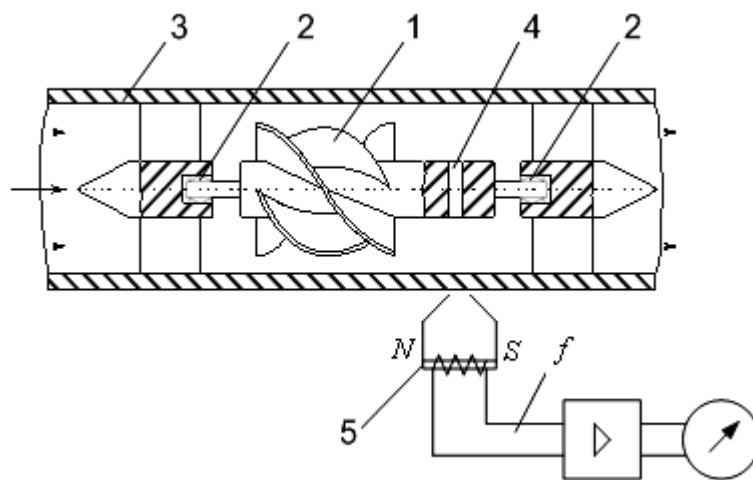


Рис. 4.51

Частота обертів турбіни пропорційна швидкості руху рідини. При обертанні турбіни постійний магніт індукує у вимірювальній обмотці імпульсного індукційного перетворювача імпульси напруги. Частота цих імпульсів пропорційна частоті обертання турбіни і, отже, витраті рідини. Ця частота імпульсів вимірюється частотоміром, проградуєваним в одиницях витрат.

Недоліком турбінних витратомірів є їхня придатність для вимірювання витрати чистих рідин. Тверді домішки в рідині збільшують тертя у підшипниках, що призводить до збільшення похибок витратоміра.

