

УДК 623.004.67

І.В. Мішньова, А.М. Науменко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

АНАЛІЗ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ РІДИНИ

В статті розглядається вимірювальна система, яка дозволяє вирішити вказану задачу вимірювання комплексу параметрів потоку, включаючи витрати, в'язкість і його щільність, без застосування спеціальних автоматичних аналітичних приладів.

Ключові слова: лічильники, щільноміри, масова витрата рідини, коефіцієнт витрати.

Вступ

Постановка задачі. У наш час значення лічильників, щільномірів та, особливо витратомірів рідини, газу, і пару дуже велике. Раніше основне застосування мали лічильники води та газу переважно в комунальних господарствах міст. Але з розвитком промисловості усе більше значення придбали щільноміри та витратоміри рідини, газу і пару. Тому комплексне оцінювання параметрів рідини набуває актуального значення.

Аналіз літератури В відомій літературі [1 – 3] визначаються теоретичні основи побудови та застосуванні різноманітних типів вимірювачів параметрів рідини, але в цій літературі не визначається питання, що пов'язані з застосуванням комплексних систем для визначення параметрів потоку рідини.

Метою статті є аналіз вимірювальної системи, яка дозволяє вирішити задачу щодо вимірювання комплексу параметрів потоку, включаючи витрату, в'язкість і його щільність, без застосування спеціальних автоматичних аналітичних приладів.

Основний матеріал

Структурна схема параметрів потоку рідини вимірювальної системи показана на рис. 1.

При закритій заслінці 9 весь потік речовини в трубопроводі 1 проходить через звужуючий пристрій 10. Величина перепаду тиску Δp на звужуючий пристрій 10 при закритій заслінці 9, виміряна диференціальним манометром 11, поступає на вхід управляючого обчислювального пристрою 4. На виході 4 періодично виробляється сигнал, який управляється виконуючим механізмом 8, який відкриває заслінку 9.

Частина речовини із трубопроводу 1 при відкритій заслінці 9 через байпасний відвід 2 відводиться у потік за звужуючий пристрій 10.

Масова витрата рідини в трубопроводі

$$Q = Q_1 + Q_6, \quad (1)$$

де Q_1 і Q_6 – масові витрати рідини через звужуючий пристрій 10 і через байпасний відвід 2 при відкритій заслінці 9.

Вимірювання диференціальним манометром 11 значення перепаду тиску Δp_1 на звужуючому при-

строї 10 при відкритій заслінці 9 в період відводу речовини через байпас 2 поступає на вхід пристрою 4.

При відкритій заслінці 9, виміряне диференціальним манометром 6 значення перепаду тиску Δp_6 на звужуючому пристрої 7, розташованому в байпасі 2, і величина обсягу видатку $Q_{об}$ в байпаснім відводі 2, виміряне об'ємним вимірювачем видатку 5, також поступає на вхід пристрою 4.

В обчислювальному пристрої 4 обробляються результати вимірювань і визначаються в'язкість, щільність і витрата вимірювального потоку рідини, які реєструються пристроєм виводу 3.

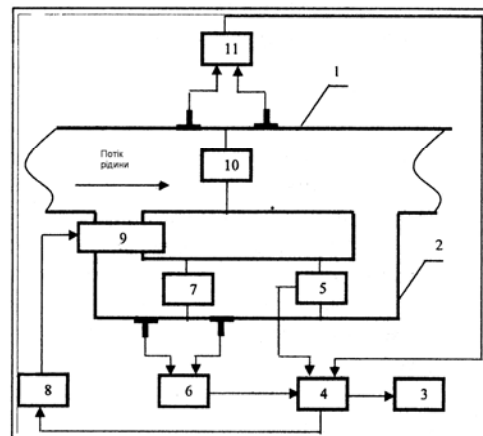


Рис. 1. Структурна схема системи вимірювання витрати речовини зі змінними щільністю та в'язкістю

Робота системи вимірювання витрати може бути ілюстрована наступним чином.

Масова витрата рідини через звужуючий пристрій 10 при закритій заслінці 9 виражається як:

$$Q = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2 \Delta p \rho}, \quad (2)$$

де α – коефіцієнт витрати звужуючого пристрою; d – діаметр отвору звужуючого пристрою; Δp – перепад тиску на звужуючому пристрої при закритій заслінці 9, виміряний диференціальним манометром 11; ρ – щільність вимірюваного потоку рідини.

Вимірювання витрати при розгляді структурної схеми здійснюється для потоків рідини з числами

Рейнольда вище граничних, які забезпечують постійність коефіцієнта витрати звужуючих пристроїв.

Масова витрата рідини через звужуючий пристрій 10 при відкритій заслінці 9 виразиться наступним чином:

$$Q_1 = \alpha \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\Delta p_1 \rho}, \quad (3)$$

де Δp_1 – перепад тиску на звужуючому пристрої 10 при відкритій заслінці 9, вимірний диференціальним манометром 11.

В виразах (2) і (3) коефіцієнти витрати прийняті однаковими. Їх рівність забезпечується тим, що звужуючий пристрій 10 в основному трубопроводі 1 вибирається з таким розрахунком, щоб при максимальному перетокі через байпас витрата через звужуючий пристрій відповідала б числу Рейнольда, перевершувала його граничне мінімальне значення.

Масова витрата рідини через байпасний відвід при відкритій заслінці 9 може бути представлена як:

$$Q_6 = Q_{06} \rho, \quad (4)$$

де Q_{06} – обсяг витрати рідини в байпасному відводі 2, вимірний обтяжним вимірювачем витрати рідини 5.

Підставляючи вираження (2), (3) і (4) в рівняння балансу (1) після перетворення одержимо вираження для щільності рідини:

$$\rho = \left(\alpha F \frac{\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\Delta p_1}}{Q_{06}} \right)^2, \quad (5)$$

$$\text{де } F = \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2}.$$

Так як звужуючий пристрій 7 (рис. 1) і обтяжний вимірювач витрати 5 розташовані послідовно в байпасному відводі 2, то для рідин, які не є палаючих обсяжні витрати рідини через ці пристрої рівні між собою, тобто обсяжна витрата Q_{06} через звужуючий пристрій 7 представиться як:

$$Q_{06} = (a + b \text{Re}_6^{-0,75}) \frac{\pi d_6^2}{4} \sqrt{2\Delta p_6 / \rho}, \quad (6)$$

де Re_6 – число Рейнольда в байпасному відводі 2;

a і b – коефіцієнти, залежні від відносного діаметра β_6 звужуючого пристрою 7;

d_6 – діаметр отвору звужуючого пристрою 7;

Δp_6 – перепад тиску на звужуючому пристрої 7, вимірний диференціальним манометром 6.

В байпасному відводі 2 повинен забезпечуватися потік рідини при числах Рейнольда нижче граничних, виходить, коефіцієнт витрати звужуючого пристрою 7 не постійний.

Значення обсяжної витрати Q_{06} в байпасному отворі, віднесене до діаметра бай паса D_6 , пов'язане з числом Рейнольда:

$$\text{Re} = \frac{4Q_{06}}{\pi D_6 v}, \quad (7)$$

де v – кінематична в'язкість рідини.

Підставляючи в формулу (6) вираження (5) для визначення щільності рідини, з урахуванням вираження (7) для визначення числа Рейнольда, і розв'язуючи його відносно кінематичної в'язкості рідини v , одержимо:

$$v = \frac{4Q_{06}}{\pi D_6} \left[\frac{\alpha F (\sqrt{\Delta p} - \sqrt{\Delta p_1})}{b F_6 \sqrt{\Delta p_6}} - \frac{a}{b} \right]^{\frac{4}{3}}, \quad (8)$$

$$\text{де } F_6 = \frac{\pi d_6^2}{4} \sqrt{2}.$$

Підставляючи вираження (5) у формулу (2) для визначення витрати рідини, одержимо:

$$Q = \alpha^2 F^2 \left(\frac{\Delta p - \sqrt{\Delta p \Delta p_1}}{Q_{06}} \right). \quad (9)$$

Таким чином, як видно із залежностей (5), (8) і (9) по вимірюванням перепаду тиску Δp на звужуючому пристрої до відводу рідини і перепаду тиску Δp_1 в періоді відводу частини рідини через байпас, а також по вимірюванням перепаду тиску Δp_6 на звужуючому пристрої в байпасному відводі і обсяжній витраті Q_{06} в ньому, визначається щільність, кінематична в'язкість і витрата вимірюваного потоку рідини. Знаючи кінематичну в'язкість і щільність рідини, із залежності $v = \mu/\rho$ легко визначити динамічну в'язкість потоку рідини. По одержаним аналітичним вираженням (5), (8) і (9) були розраховані середньоквадратичні відносні похибки σ_p, σ_v і σ_Q для масової витрати рідини. Похибки розраховувалися для потоку речовини з щільністю $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ і динамічної в'язкості $\mu = 5,88 \cdot 10^{-4} \text{ Па}\cdot\text{с}$ при протіканні по трубопроводу з внутрішнім діаметром $D = 0,1$. В якості перетворювача витрати в основному трубопроводі розглядалися стійкість до спрацювання діафрагм. В байпасному відводі в якості звужуючого пристрою застосовувалася стандартна діафрагма.

Розрахунки проводилися для різної долі основного потоку речовини, перепускаючи через байпасний відвід. Крім того, розрахунки були проведені для різних значень відносних діаметрів звужуючого пристрою в основному трубопроводі $\beta = d/D$ в байпасному відводі $\beta_6 = d_6/D_6$. Значення α і відносних середньоквадратичних похибок коефіцієнта витрати звужуючого пристрою для різних значень β і β_6 визначались згідно методикам * 1,2 *. Похибки вимірювання перепаду тиску $\delta_{\Delta p}$ і похибка вимірювання обтяжної витрати припинилися, відповідно, 0,1 % і 0,2 % від вимірюваної величини, що відповідно похибкам сучасних засобів вимірювання.

Результати розрахунків приведені на (рис. 2 – 4). Як видно із представлених графіків, похибки σ_Q і σ_p різко знижуються із збільшенням долі потоку, який відводиться від 0,05 до 0,3, а при подальшому збільшенні долі потоку, який відводиться, похибки залишаються постійними. Похибка ж вимірювання кінема-

тичної в'язкості збільшується із збільшенням доли потоку, який відводиться. Було виявлено, що для значення β , які змінюються в межах від 0,22 до 0,63, похибки σ_Q і σ_p не залежать від значення β , а при значеннях $\beta > 0,63$ із зростанням β похибки збільшуються. Похибки вимірювання кінематичної в'язкості σ_v із зростанням β_0 збільшуються. Як видно із приведених графіків, для одержання найменших похибок вимірювання щільності в'язкості і витрати потоку необхідно вибрати значення в межах від 0,22 до 0,63, а значення β_0 – не більше чим 0,32. При цьому доля потоку, який відбирається в байпас повинна знаходитися в межах 0,2...0,3 від основного потоку.

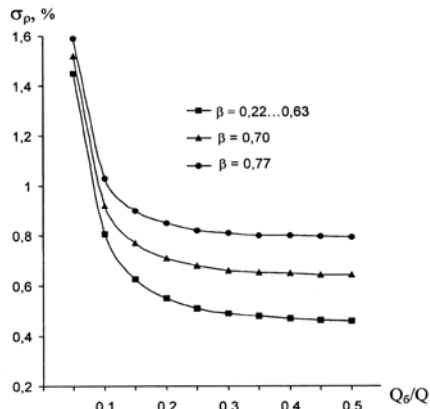


Рис. 2. Похибки вимірювання щільності потоку рідини σ_p в залежності від частки перепуску крізь байпас

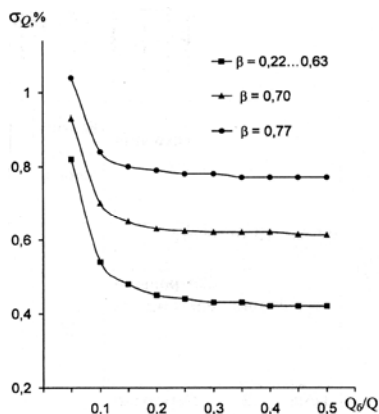


Рис. 3. Похибки вимірювання витрати рідини σ_Q в залежності від частки перепуску крізь байпас

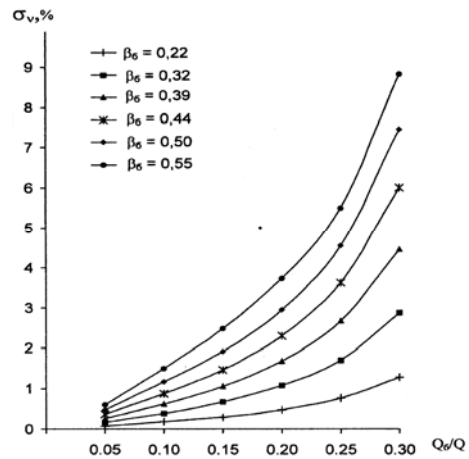


Рис. 4. Похибки вимірювання кінематичної в'язкості σ_v в залежності від частки перепуску крізь байпас

ВИСНОВКИ

1. Запропонована схема вимірювання дозволяє з допомогою простих і надійних засобів вимірювання, таких як звужуючі пристрої, без пристосування спеціальних засобів вимірювання щільності і в'язкості визначити масову витрату потоку рідини, а також його щільність і в'язкість в робочих умовах з достатньою для практики точністю.

2. Похибки витрати σ_Q і σ_p різко знижуються із збільшенням доли потоку, який відводиться від 0,05 до 0,3, а при подальшому збільшенні доли потоку, який відводиться, похибки залишаються постійними.

3. Похибка ж вимірювання кінематичної в'язкості збільшується із збільшенням доли потоку, який відводиться.

Список літератури

1. Измерение массы, объёма, плотности / С.И. Гаузнер, С.С. Кивилис, А.П. Осокина, А.Н. Павловский. – М.: Наука, 1984. – 220 с..
2. ДСТУ 3339-96. Теплосчетчики. Общие технические условия. Киев: Госстандарт Украины.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества / П.П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.

Надійшло до редколегії 25.05.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ЖИДКОСТИ

И.В. Мишнёва, А.Н. Науменко

В статье рассматривается измерительная система, которая позволяет решить указанную задачу измерения комплекса параметров потока, включая расходы, вязкость и его плотность, без применения специальных автоматических аналитических приборов.

Ключевые слова: счетчики, плотномеры, массовая затрата жидкости, коэффициент затраты.

ANALYSIS OF SYSTEM OF COMPLEX MEASURING OF PARAMETERS OF STREAM OF LIQUID

I.V. Mishn'ova, A.N. Naumenko

The measuring system is examined in the article what allows to decide the indicated task of measuring of complex of parameters of stream, including charges, viscosity and his closeness, without application of the special automatic analytical devices.

Keywords: meters, consolidometer, mass expense of liquid, coefficient of expense.