

## ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ АКУСТИЧНИХ ГУСТИНОМІРІВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОБЛІКУ ГАЗУ

© Савицький В., 2002

Розглянуто принципи побудови густиномірів, що побудовані на базі газодинамічних акустичних перетворювачів, які застосовуються для вимірювання густини природного газу в нормальних умовах а також в умовах вимірювання. Наведені похибки вимірювання.

The principles of construction densimeters, which constructed on base of gas-dynamics acoustic converters for measurement of natural gas density in normal conditions and also in conditions of measurement are considered. The uncertainty of measurement are presented.

Густина газу є одним з найважливіших параметрів під час вимірювання витрати та кількості газу, переважно визначається лабораторним пікнометричним методом відомими лабораторіями організацій що видобувають, транспортують та розподіляють газ 2 – 4 рази на добу і результати вимірювання приводяться до нормальних умов. Це означає, що приведення результатів вимірювання витрати газу у робочих умовах до нормальних умов для фінансових розрахунків споживачів за спожитий газ є виключною монополією названих організацій.

Отже, для паритетних стосунків постачальників і споживачів газу густину газу повинна вимірювати або незалежна державна метрологічна установа, або окремо кожен споживач.

Необхідність у безперервному вимірюванні густини газу є очевидною, оскільки найважливішим є її миттєве значення під час вимірювання витрати газу.

Нами були досліджені діафрагмові газодинамічні акустичні перетворювачі (ДГАП) для задач неперервного вимірювання густини газу [1,2], а також розроблені дослідні зразки густиномірів за одноканальною та диференційною схемами вимірювання. Схеми таких густиномірів наведені на рис.2 і 4.

До особливостей ДГАП слід віднести однозначну лінійну залежність генерованого частотного вихідного сигналу  $f$  від швидкості  $v$  газу, що протікає через площу перетину  $S$  вхідного і вихідного отворів і не залежить від його густини:

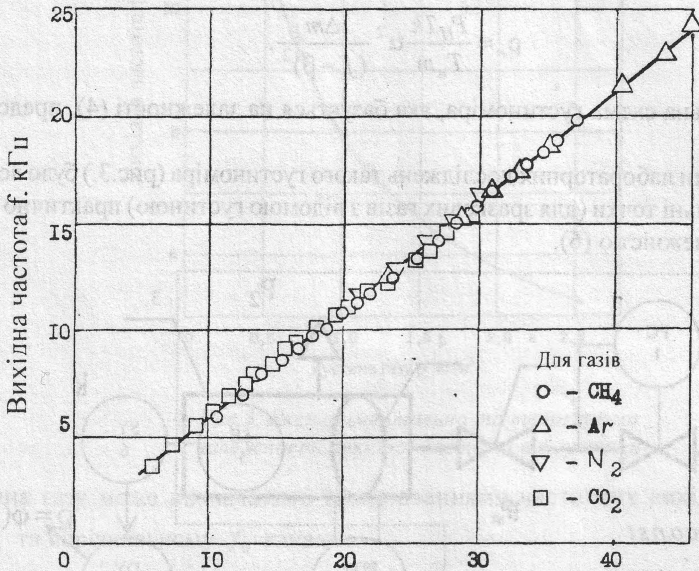
$$f = aQ + b, m^3/c, \quad (1)$$

де  $a$  і  $b$  – сталі (наприклад, для діаметрів вхідного та вихідного отворів ДГАП  $d = 0,7$  мм  $a = 1,155 \cdot 10^9$  і  $b = 1,45 \cdot 10^3$ );  $Q = Sv$  – витрата газу як функція швидкості газу через ДГАП. Результати експериментальних досліджень [3,4] підтверджують це, оскільки практично всі експериментальні точки лягають на прямо пропорційну залежність (2) (див. рис.1).

У цьому зв'язку слід зауважити, що частотний сигнал генерується при певній початковій швидкості газового потоку і він лінійний у досить широкому діапазоні швидкості газу.

Згідно з Бернуллі [5] квадрат швидкості через ДГАП (як турбулентний опір) є прямо пропорційний до перепаду тиску на ньому і обернено пропорційний до густини газу

$$v^2 = \frac{\Delta P}{\rho} \quad (2)$$



Величина  $\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$

Рис. 1. Залежність вихідної частоти ГДАП як функції  $\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$ .

Підставимо (2) у (1). Частота вихідного сигналу пов'язується з густиною газу залежністю:

$$f = \alpha \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} + \beta, \quad (3)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – сталі (для  $d=0,7$  мм.  $\alpha = 1406$ ,  $\beta = 900$  Гц);  $\Delta P$  – перепад тиску на ДГАП;  $\rho$  – густина газу.

Отже, базуючись на залежності (3), густину газу можна вимірювати безпосередньо як функцію частоти, стабілізувавши перепад тиску  $\Delta P$  на ДГАП на певному значенні

$$\rho = \alpha^2 \frac{\Delta P}{(f - \beta)^2} \quad (4)$$

причому значення густини  $\rho$  в умовах вимірювання, тобто при певному абсолютному тиску і температурі газу на вході і виході ДГАП. Вимірювальний канал такого густиноміра містить послідовне з'єднання стабілізатора тиску 1 турбулентного дроселя 2 і модуля ДГАП, що містить приймач акустичних коливань 3 разом з підсилювачем 4 і обчислювач 5.

Замінивши у (4) значенні  $\Delta P = P_a - P_2$  тиски  $P_a$  і  $P_2$  через рівняння стану

$$\rho = \rho_H \frac{T_H P}{T P_H k}, \quad (5)$$

отримаємо залежність для вимірювання густини, що приведена до нормальних умов

$$\rho_H = \frac{P_H T k}{T_H m} \alpha^2 \frac{\Delta m}{(f - \beta)^2}. \quad (6)$$

Вимірювальна схема густиноміра, яка базується на залежності (4), представлена на рис.2.

Результатами лабораторних досліджень такого густиноміра (рис.3.) було встановлено, що експериментальні точки (для зразкових газів з відомою густиною) практично збігаються з теоретичною залежністю (6).

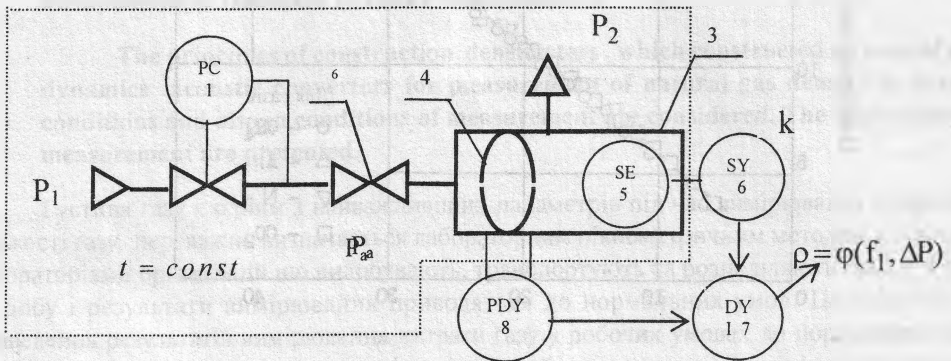


Рис.2. Схема одноканального густиноміра газу

За диференціальним методом, враховуючи, що вимірювальна схема містить вимірювальний та порівняльний канали, густину газу в нормальних умовах визначають з таких залежностей:

$$\rho_{1H} = \frac{P_n T_1 k_1}{T_n m_1} \alpha_1^2 \frac{\Delta m_1}{(f - \beta_1)^2} \quad (7)$$

$$\rho_{0H} = \frac{P_n T_o k_o}{T_n m_o} \alpha_o^2 \frac{\Delta m_o}{(f_o - \beta_o)^2}, \quad (8)$$

або

$$\rho_{1H} = \rho_{0H} \frac{TP_o k_1 \alpha_1^2 \Delta P_1 (f_o - \beta_o)^2}{T_o P_1 k_o \alpha_o^2 \Delta P_o (f_1 - \beta_1)^2} \quad (9)$$

де індекси "1" і "0" відносяться до параметрів газового потоку вимірювального та порівняльного каналів;  $\Delta P$  - різниця тисків на ДТАП.

Враховуючи те, що умови протікання вимірювального та порівняльного газу є практично однаковими, то можна вважати сталою величину

$$C = \frac{TP_o k_1 \alpha_1^2 \Delta P_1}{T_o P_1 k_o \alpha_o^2 \Delta P_o} = const.$$

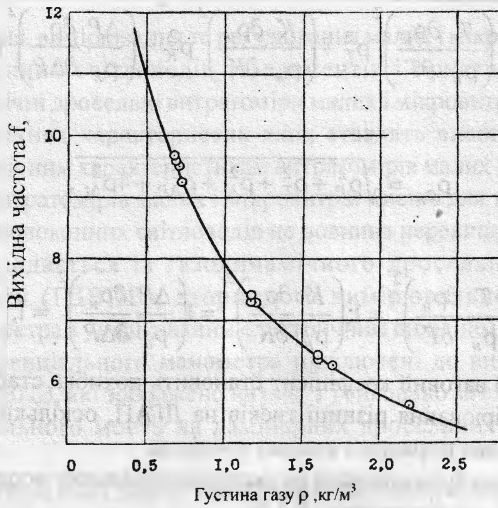


Рис.3. Експериментальна та теоретична залежності вихідної частоти від густини

Густина газу може визначатись вимірюваннями частотних вихідних сигналів у робочому  $f_1$  та порівняльному  $f_0$  каналах -

$$\rho_{1H} = \rho_{0H} C \frac{(f_0 - \beta_0)^2}{(f_1 - \beta_1)^2} \quad (10)$$

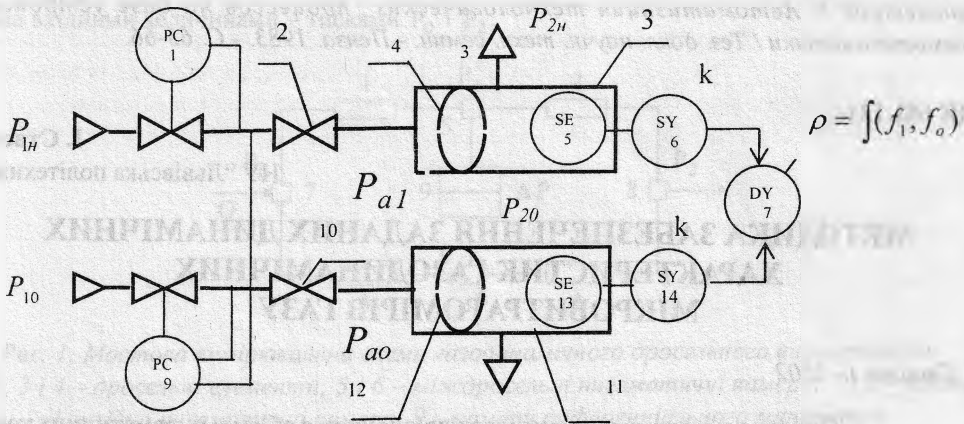


Рис.4. Схема диференціального густиноміра газу

На рис.4. наведена схема диференціального густиноміра, що реалізує залежність (10). Вона порівняно з одноканальною схемою має порівняльний канал, де протікає газ з відомою густиною. Ця схема не потребує як температурної стабілізації, так і стабілізації абсолютного тиску на входах робочого і порівняльного каналів. Вхідні тиски стабілізуються регуляторами надлишкового тиску 1 і 9.

Аналіз приведеної середньоквадратичної похибки вимірювання густини газу, наприклад, для одноканального густиноміра

$$\delta_{\rho_H} = \sqrt{\left(\frac{\rho_H}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial P}\right)^2 \rho_P^2 + \left(\frac{T}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial T}\right)^2 \rho_T^2 + \left(\frac{K}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial K}\right)^2 \rho_K^2 + \left(\frac{\Delta P}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial \Delta P}\right)^2 \rho_{\Delta P}^2 + \left(\frac{\Delta f}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial \Delta f}\right)^2 \rho_{\Delta f}^2},$$

або

$$\rho_{\rho_H} = \sqrt{\rho_P^2 + \rho_T^2 + \rho_K^2 + \rho_{\Delta P}^2 + 4\rho_{\Delta f}^2},$$

де

$$\left(\frac{\rho_H}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial P}\right)^2 = -1; \left(\frac{T}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial T}\right)^2 = 1; \left(\frac{K}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial K}\right)^2 = 1; \left(\frac{\Delta P}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial \Delta P}\right)^2 = 1; \left(\frac{\Delta f}{\rho_H} \frac{\partial \rho_H}{\partial \Delta f}\right)^2 = -2,$$

показує, що найбільший ваговий коефіцієнт становить похибка стабілізації тиску на вході газового потоку та вимірювання різниці тисків на ДГАП, оскільки вимірювання частоти можливе як мінімум на два порядки з вищою точністю.

Дослідженнями, які були виконані на експериментальних моделях густиномірів, було встановлено що точність не перевищує 0,3 %.

За простотою конструкції і алгоритму вимірювання, зокрема, одноканальний густиномір може застосовуватись для оперативних лабораторних вимірювань.

1. А.С. № 570413 /СССР/. Пневмоакустический преобразователь /Савицкий В.К. Опубл. в Б.И.1977.№ 32. 2. Савицкий В.К. Измерение плотности газа газодинамическими акустическими преобразователями // Теплоэнергетические и электромеханические системы № 174 / Вест. Львов. политехн. ин-та . 1983. С. 141-144 3. Савицкий В.К. Применение диафрагменных пневмоакустических преобразователей для измерения технологических параметров // Автоматизация технологических процессов на базе устройств пневмоавтоматики / Тез. докл. научн. техн. семин. - Пенза. 1983. - С. 65-66.

УДК 681.121

I. Стасюк

НУ "Львівська політехніка"

## МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНИХ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОДИНАМІЧНИХ МІКРОВИТРАТОМІРІВ ГАЗУ

© Стасюк І., 2002

Описано методику визначення співвідношення об'ємів пневматичних камер газодинамічних дросельних витратомірів малих і мікровитрат газів під час їх конструювання з погляду забезпечення заданих динамічних характеристик таких витратомірів.

The procedure of the definition of a relation between volumes of pneumatic cameras gas dynamic throttle flowmeters for gas small and microflow is described with their designing from a standpoint of ensuring of the given dynamic characteristics such flowmeters.