

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ВИХРОВОГО ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ОБ'ЄМНОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

*Наведено математичну модель роботи вихрового первинного вимірювального перетворювача витрати газу. Запропоновано схему експериментальної установки для дослідження вихрового перетворювача. Подано результати експериментального дослідження.*

### Вступ

Визначаючи витрати газу за допомогою мікропроцесорного обчислювача, необхідно отримувати інформацію з первинних вимірювальних перетворювачів витрати газу, тиску газу, його температури та враховувати фізичні характеристики газу та фізичні параметри вузла обліку газу. Поряд з поширеними первинними вимірювальними перетворювачами (ПВП) на звужувальних елементах, турбінними та ротаційними пристроями відносно новими на ринку України є вихрові первинні вимірювальні перетворювачі об'ємної витрати газу, які мають спеціальний нерухомий елемент тіла обтікання, при обтіканні якого газом з двох боків виникають вихори з частотою пропорційною об'ємній витраті газу. У цьому зв'язку актуальним є дослідження роботи нових первинних перетворювачів та формулювання методики їх повірки під час експлуатації.

### Основна частина

Експериментальні дослідження проводились з вихровим ПВП моделі «Ірвіс-К-300» (Ду80), який має терморезистивний чутливий елемент, що сприймає вихрові пульсації за тілом обтікання та формує їх частоту  $f$ , як вихідний сигнал ПВП в діапазоні від нуля до 1000 Гц, який пропорційний об'ємній витраті газу  $Q_p$  в робочих умовах.

Для числового визначення миттєвої об'ємної витрати газу необхідно використовувати мікропроцесорний обчислювач, який визначає  $Q_p$  за такою математичною моделлю:

$$Q_p = K_{Q\eta} F_{sb20} d_{20} K_T K_\epsilon f, \quad (1)$$

де  $K_{Q\eta}$  — поправковий коефіцієнт, який враховує в'язкість газу;  $F_{sb20}$  — площа прохідного отвору вихрового ПВП за стандартних умов;  $d_{20}$  — діаметр тіла обтікання за стандартних умов;  $K_T$  — поправковий коефіцієнт, який враховує зміну розмірів елементів конструкції від температури  $t$  та коефіцієнта теплового розширення  $\alpha$  за співвідношенням  $K_T = 1 + \alpha(t - 20)$ ;  $K_\epsilon$  — поправковий коефіцієнт, який враховує розширення газу за тілом обтікання.

Для зведення миттєвої витрати до стандартних умов  $Q_c$  в обчислювачі використовується співвідношення

$$Q_c = Q_p \frac{P}{P_{st}} \frac{T_{st}}{T} \frac{1}{K}, \quad (2)$$

де  $P$ ,  $P_{st}$  — абсолютний тиск газу за робочих та стандартних умов;  $T$ ,  $T_{st}$  — абсолютна та стандартна температура газу;  $K$  — коефіцієнт стисливості газу.

Для визначення об'єму газу  $Q_{op}$  в робочих та в стандартних умовах  $Q_o$  обчислювач виконує інтегрування за часом  $t$

$$Q_{op} = \int_t Q_p dt; \quad (3)$$

$$Q_o = \int_t Q_c dt. \quad (4)$$

У співвідношенні (1) коефіцієнти  $F_{sb20}$  та  $d_{20}$  є паспортними даними вихрового ПВП, а для визначення коефіцієнта  $K_{Qn}$  необхідно використовувати інтерполяцію даних таблиці, яка визначає його експериментальну залежність від числа Рейнольдса  $Re$ , оскільки на кожний вихровий ПВП в його паспорті наведена індивідуальна таблиця залежності  $K_{Qn} = f(Re)$ , яка містить чотирнадцять значень. Число ж Рейнольдса обчислюється за співвідношенням [2]

$$Re = d_{20}^2 \rho \frac{1}{\mu} f, \tag{5}$$

де  $\rho$  — густина газу за робочих умов;  $\mu$  — динамічна в'язкість газу.

Коефіцієнт  $K_\varepsilon$  обчислюється за співвідношенням

$$K_\varepsilon = 1 + C_\varepsilon f^2 \frac{1}{T}, \tag{6}$$

де  $C_\varepsilon$  — коефіцієнт, який враховує властивості газу та конструкцію ПВТ на розширення газу за тілом обтікання.

Дослідження проводились з використанням еталонних ПВП об'єму газу турбінного типу, які входять до складу установки УПЛГ-2500. Така установка має клас точності 0,25 та призначена для повірки промислових лічильників газу, які мають імпульсний вихідний сигнал. За фізичне середовище використовується повітря.

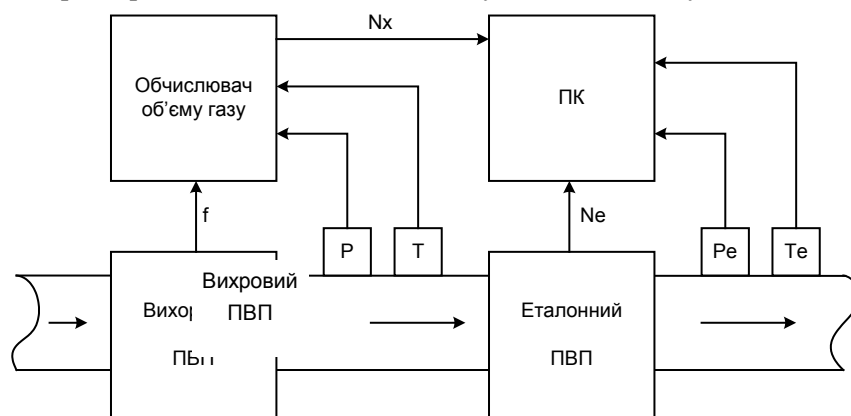


Схема експериментальної установки

вище використовується повітря.

Схема експериментальної установки показана на рис. Установка включає датчики тиску  $P$  та температури  $T$  для вихрового ПВП, сигнали з яких подаються на обчислювач об'єму газу, що дозволяє привести об'єм газу до стандартних умов (тиск в 101,325 кПа та температура 20 градусів по Цельсію). Для визначення тиску та температури в еталонному ПВП об'єму газу

служують датчики  $P_e$  та  $T_e$ , сигнал з яких надходить у персональний комп'ютер (ПК), який є складовою частиною установки УПЛГ-2500.

Вимірювання проводились між мінімальною  $Q_{min}$  та максимальною  $Q_{max}$  витратами згідно паспорта на вихровий ПВП, який декларує діапазон вимірювання об'єму газу від  $18 \text{ м}^3$  за годину (відповідає мінімальній витраті газу) до  $787 \text{ м}^3$  за годину (відповідає максимальній витраті газу). Відносна похибка вимірювання об'єму не повинна перевищувати одного відсотка.

Оскільки турбінний еталонний лічильник об'єму формує кількість імпульсів  $N_e$  та частоту їх надходження, пропорційних еталонному об'єму газу, то і мікропроцесорний обчислювач виконує формування вихідних імпульсів  $N_x$ , кількість та частота яких пропорційні об'єму газу, виміряного обчислювачем за допомогою вихрового ПВП за співвідношенням (3), що дозволяє виконувати повірку вихрових ПВП з частотним вихідним сигналом на повірочній установці УПЛГ-2500.

Результати дослідження показані в таблиці, причому тиск газу є надлишковим, а об'єми газу відповідають в робочих умовах.

Оскільки в таблиці надлишковий тиск та температура газу на еталонному та вихровому ПВП є різними (робочі умови газу відрізняються), то для розрахунку значення відносної похибки за об'ємом газу в останньому стовпчику таблиці виконувалось зведення до стандартних умов еталонного об'єму та об'єму газу за показами обчислювача з використанням співвідношення (2).

## Результати експерименту з використанням вихрового ПВП «Ірвіс-К-300» (Ду80)

Витрата	Дійсне значення витрати	Об'єм виміряний еталонним ПВП	Об'єм виміряний обчислювачем	Тиск в еталонному ПВП	Тиск у вихровому ПВП	Температура в еталонному ПВП	Температура в вихровому ПВП	Відносна похибка
	м <sup>3</sup> /год.	м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup>	Кпа	КПа	°С	°С	%
$Q_{\min}$	18,583	2,700	3,000	-0,006	0,003	19,84	19,98	11,03
$Q_{\min}$	18,370	0,893	1,000	-0,006	0,003	19,82	19,96	11,93
$0,05 Q_{\max}$	39,560	0,993	1,000	0,011	0,013	19,83	19,97	0,72
$0,05 Q_{\max}$	39,670	0,994	1,000	0,010	0,012	19,83	19,97	0,59
$0,31 Q_{\max}$	251,294	4,970	5,000	0,476	0,505	19,79	19,91	0,53
$0,31 Q_{\max}$	251,426	4,982	5,000	0,476	0,504	19,79	19,90	0,30
$0,50 Q_{\max}$	406,051	4,986	5,000	1,233	1,298	19,84	20,00	0,16
$0,50 Q_{\max}$	406,117	4,993	5,000	1,233	1,298	19,85	20,02	0,01
$0,69 Q_{\max}$	560,355	4,989	5,000	2,330	2,442	19,80	19,94	0,06
$0,69 Q_{\max}$	560,223	4,990	5,000	2,329	2,448	19,80	19,94	0,02
$1,00 Q_{\max}$	788,466	4,958	5,000	4,558	4,568	19,66	19,86	0,76
$1,00 Q_{\max}$	787,383	4,971	5,000	5,558	4,569	19,72	19,90	0,50

За умови, що розподіл похибок є нормальним, а самі похибки є незалежними, похибку визначення обчислювачем об'єму газу  $\delta_V$ , який зводиться до стандартних умов, обчислюють за співвідношенням

$$\delta_V = \left\{ \delta_{v_x}^2 + \delta_c^2 + \delta_p^2 + \delta_T^2 + \delta_K^2 \right\}, \quad (7)$$

де  $\delta_{v_x}$  — похибка вихрового ПВП;  $\delta_c$  — похибка обчислювача об'єму газу, яка включає похибку визначення вихідної частоти вихрового ПВП, похибку обчислення об'єму газу та похибку синтезу вихідної частоти для формування імпульсів  $N_x$  для еталонної установки УПЛГ-2500;  $\delta_p$  — похибка датчика тиску вихрового ПВП;  $\delta_T$  — похибка датчика температури вихрового ПВП.

## Висновок

1. Похибка вимірювання об'ємної витрати газу вихровим ПВП в один відсоток має місце тільки в діапазоні від максимальної витрати  $Q_{\max}$  до витрати газу величиною  $0,05 Q_{\max}$ .
2. Для значення об'ємної витрати газу  $Q_{\min}$  похибка вихрового ПВП є ненормованою.
3. Для перевірки вихрових ПВП можна використовувати повірочні установки, що використовуються для перевірки турбінних та камерних промислових лічильників газу за наявності в обчислювачі об'єму газу імпульсного виходу, кількість імпульсів якого пропорційна об'єму газу в робочих умовах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник: Кн.1,2. — 5-е изд. перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2002.
2. Преобразователи расхода газа вихревые. ИРВИС-К-300. Руководство по эксплуатации ИРВС 0103.0000.00 РЭ.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом III Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2007)» (31.05—2.06.2007 р.)

Надійшла до редакції 30.09.07  
Рекомендована до друку 04.10.07

**Дементьєв Юрій Вікторович** — доцент кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури.

Вінницький національний технічний університет