

УДК 681.121.84

Федір Матіко, д.т.н., доцент, Віктор Джигирей, аспірант, Віталій Нагорняк
Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАЗОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ У ВИТРАТОМІРАХ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ ЗАСОБАМИ CFD МОДЕЛЮВАННЯ

За допомогою методів CFD-моделювання досліджено газодинамічні явища у витратомірах змінного перепаду тиску. Виконано оцінку похибок вимірювання витрати, що виникають внаслідок невідповідності конструкції вимірювального трубопроводу вимогам стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009.

Ключові слова: витратоміри змінного перепаду тиску, газодинамічні явища, конструкція витратоміра, похибка вимірювання витрати.

Fedir Matiko, Viktor Dzhyhyrei, Vitalii Nahorniak

INVESTIGATION OF GAS-DYNAMIC EFFECTS AT VARIABLE DIFFERENTIAL PRESSURE FLOWMETERS USING CFD MODELING

Gas-dynamic effects at variable differential pressure flowmeters are investigated using CFD-modeling. Flowrate measurement errors caused by unconformity of measuring pipe to standards GOST 8.586.1-5: 2009 are estimated in the paper.

Keywords: variable differential pressure flowmeter, gas-dynamic effects, flowmeter design, flowrate measurement error.

Витратоміри змінного перепаду тиску (ВЗПТ) широко застосовують в системах обліку плинних речовин, контролю та автоматизації технологічних процесів. Однак газодинамічні явища у цих витратомірах можуть суттєво впливати на результат вимірювання витрати. Зокрема, дефекти конструкції звужувального пристрою та вимірювального трубопроводу, відхилення від вимог стандартів щодо їх конструкції та монтажу можуть спричинити небажані газодинамічні явища, внаслідок чого виникають додаткові похибки вимірювання витрати. Тому актуальним є завдання дослідження газодинамічних явищ у ВЗПТ та розроблення рекомендацій щодо зменшення додаткових похибок зумовлених цими явищами.

Нами досліджено додаткові похибки ВЗПТ, що виникають внаслідок невідповідності конструкції вимірювального трубопроводу вимогам стандартів ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 [1]. Зокрема, досліджено вплив наявності зварних швів на невеликій віддалі від діафрагми на результат вимірювання витрати. Дослідження газодинамічних явищ у вимірювальному трубопроводі виконане за допомогою методів CFD-моделювання, реалізованих у програмному пакеті SolidWorks.

Дослідження додаткових похибок ВЗПТ виконане за такою методикою:

- побудова твердотілої моделі витратоміра (див. рис. 1);
- формування початкових та граничних умов, що відповідають значенням технологічних параметрів під час експлуатації витратоміра; моделювання потоку за допомогою CFD-методів та визначення параметрів потоку (перепаду тиску на діафрагмі, тиску в камерах, температури);
- обчислення витрати газового потоку за рівнянням витрати (5.6) із стандарту ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 на основі результатів CFD-моделювання;
- виконання п.1 – 3 для моделі витратоміра, конструкція якого відповідає вимогам стандартів [1], та для моделі, що має дефект конструкції; порівняння значень витрати та визначення відносного відхилення витрати, що виникає внаслідок

дефекту конструкції.

Зокрема, в середовищі SolidWorks реалізована модель ВЗПТ із такими характеристиками: внутрішній діаметр трубопроводу – 0,1 м; діаметр отвору діафрагми (за температури 20°C) – 0,05м; геометричні характеристики камер відповідають вимогам [1]; тип середовища – повітря; вхідний тиск – 110кПа; масова витрата повітря – 0,5кг/с.

Для визначення впливу особливостей конструкції витратоміра на результат вимірювання витрати газу, були виконані дослідження за наведеною методикою для таких типових елементів конструкції, що виникають під час монтажу витратоміра як званий шов. Зокрема досліджено додаткову похибку витратоміра, що виникає за наявності зварного шва висотою більше 0,003D в межах ділянки трубопроводу довжиною 2D безпосередньо перед діафрагмою.

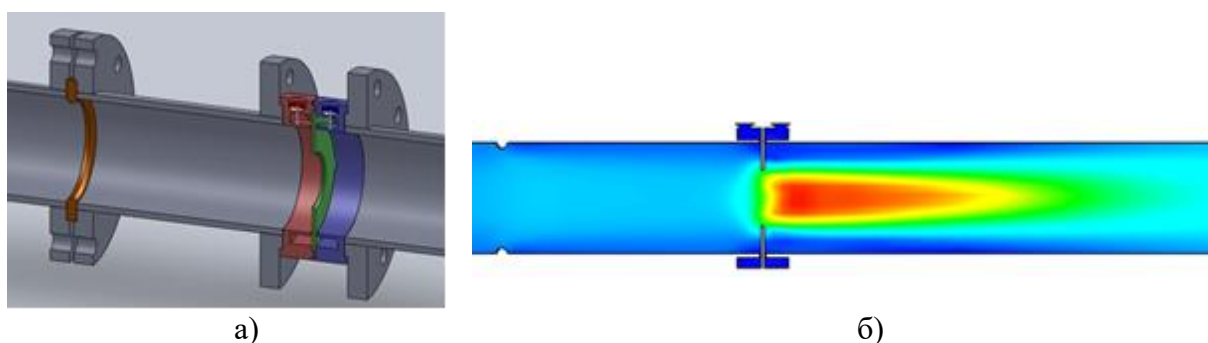


Рис.1. а) твердотіла модель витратоміра із зварним швом висотою 5 мм і шириною 10 мм; б) профіль швидкості потоку у ВТ із зварним швом.

Результати досліджень для моделі витратоміра із зварним швом всередині ВТ на відстані $L_{ш} = 2D$ перед діафрагмою, представлено у таблиці 1, де застосовано такі позначення: Q_B – масова витрата газу, обчислена за формулою (5.6) стандарту ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 на основі результатів CFD-моделювання; Q_2 – значення масової витрати, задане на “кришці” твердотілої моделі; P_+ – тиск у вхідній камері витратоміра; ΔP – перепад тиску на діафрагмі; T_2 – температура в перерізі розміщення термоперетворювача; C – коефіцієнт витікання; α , ε – коефіцієнт витрати та розширення середовища. Значення відносної похибки δ_Q отримане за формулою

$$\delta_Q = (Q_{B\delta} - Q_{B[1]}) / Q_{B[1]} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де $Q_{B[1]}$ – значення витрати газу, обчислене для витратоміра, конструкція якого відповідає вимогам [1]; $Q_{B\delta}$ – значення витрати газу, обчислене для витратоміра з дефектом конструкції (наявністю зварного шва).

Як видно з табл.1, висота зварного шва суттєво впливає на додаткову похибку вимірювання витрати. За результатами виконаних досліджень (див. табл. 1), побудовано залежність додаткової похибки вимірювання витрати від відносної висоти зварного шва $\delta_Q = f(h/D)$. На рисунку 2, представлено графік цієї залежності. На графіку символом «o» позначено значення похибки, отримані за результатами моделювання, суцільною лінією позначено залежність $\delta_Q = f(h/D)$, побудовану за методом найменших квадратів. Для досліджуваної конструкції витратоміра похибка вимірювання витрати є від’ємною. Як видно з рис.2, при невеликій висоті ЗШ похибка є незначною, але при збільшенні висоти ЗШ, похибка також за модулем збільшується. Усереднене значення зміни похибки становить 0,38% на 1мм висоти зварного шва.

Для відтворення фізичної суті залежності $\delta_Q = f(h/D)$ при малих значеннях h доцільно застосувати складну функцію, яка має вигляд:

$$\delta_Q = \begin{cases} 0, \text{ для } 0 \leq h_g \leq 0.017; \\ 190.55h_g^2 - 57.08h_g + 0.92, \text{ для } 0.017 \leq h_g \leq 0.08. \end{cases} \quad (2)$$

де $h_g = h/D$ – відносна висота зварного шва.

Таблиця 1

Результати дослідження додаткової похибки вимірювання витрати при зміні висоти зварного шва на відстані $L_{из} = 2D$ перед ЗП ($Q_2 = 0,5 \text{ кг/с}$)

S, мм	Результати моделювання в SolidWorks			Результати обчислення витрати в САПР "Расход - РУ"					$\alpha = \frac{Q_e}{Q_2}$	$\delta_Q, \%$
	P_+ , КПа	ΔP , КПа	$T_2(0,7)$, К	C	ε	α_0	Q_e , кг/с	Re		
2x10	110,313	25,287	292,08	0,60546	0,9371	0,58914	0,29843	210235	0,59686	-0,0703
3x10	110,022	25,024	292,11	0,60547	0,9376	0,58947	0,29663	208952	0,59326	-0,6731
4x10	109,738	24,795	292,12	0,60548	0,9381	0,58974	0,29502	207814	0,59004	-1,2122
5x10	109,690	24,677	292,12	0,60549	0,9383	0,58993	0,29434	207336	0,58868	-1,4399
6x10	109,346	24,635	292,14	0,60549	0,9382	0,58987	0,29360	206798	0,58720	-1,6877
7x10	108999	24,491	292,13	0,60550	0,9384	0,58999	0,29233	205914	0,58466	-2,1129
8x10	108,521	24,405	292,12	0,60550	0,9384	0,58995	0,29117	205101	0,58234	-2,5013

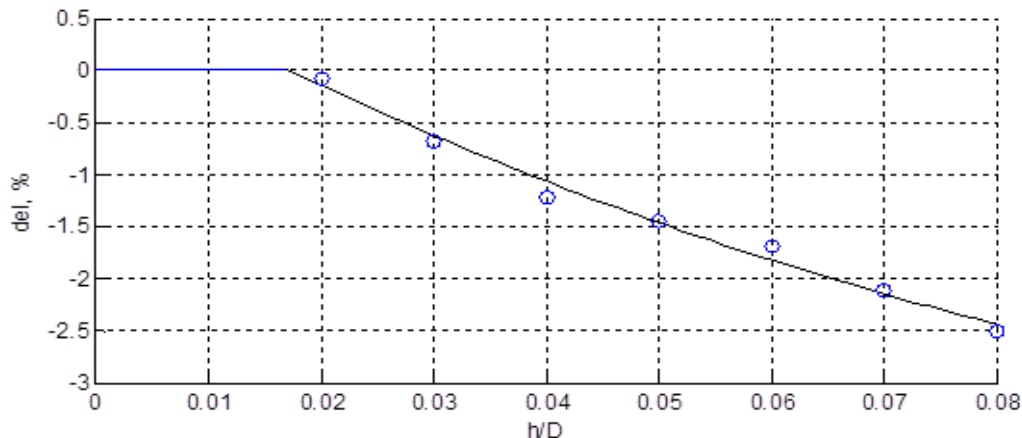


Рис. 2. Залежність похибки вимірювання витрати від відносної висоти зварного шва.

Отже, за результатами виконаних досліджень встановлено, що наявність зварного шва на відстані $L_{из} = 2D$ перед діафрагмою призводить до зниження вимірюваного значення витрати. Це зумовлено «загостренням» профілю швидкості потоку внаслідок наявності зварного шва, зменшенням вимірюваного значення перепаду тиску, а, відповідно, і вимірюваного значення витрати.

Значення додаткової похибки залежить, зокрема, і від висоти зварного шва. Із тал.1. видно, що додаткова похибка вимірювання витрати може досягати -2,5% для відносної висоти зварного шва $h/D = 0,08$. Такі значення відносної висоти зварного шва характерні для трубопроводів з внутрішнім діаметром до 100 мм.

Запропонована авторами методика дослідження витратомірів дає можливість дослідити вплив різних особливостей конструкції на похибку витратомірів та розробити рекомендації щодо їх виготовлення та монтажу.

Література

1. ДСТУ ГОСТ 8.586.1-5:2009 Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. – К.: Держспоживстандарт України, 2010.