



потребують додаткового виділення території, не наносять шкоду навколишньому середовищу, система працює не залежно від погодних умов.

### Література

1. Ю. М. Поплавко П'єзоелектрики: навч. посіб. / Ю. М. Поплавко, Ю. І. Якименко. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 328 с.
2. Кэди У. Пьезоэлектричество и его практическое применение / У. Кэди; пер. с англ. — М.: ИЛ, 1949. — 720 с.
3. Piezoelectric Energy Harvesting: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://piceramic.com/applications/piezo-energy-harvesting.html>
4. Жуков С. О пьезокерамике и перспективах ее применения: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01\\_01/stat-48.htm](http://www.compitech.ru/html.cgi/arhiv/01_01/stat-48.htm)
5. Innowattech Alternative Energy Harvesting System Roads Solution: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.youtube.com/watch?v=AEpiDulKc8s>
6. Электроэнергия от наших шагов: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gizmonews.ru/2011/10/26/elektroenergiya-ot-nashix-shagov>
7. С. Жуков О Пьезокерамике и прспективах ее применения / С. Жуков // Компоненты и технологии №1, 2001. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2001\\_01\\_48.pdf](http://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2001_01_48.pdf)

УДК 006.86:681.121.4

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ ВИМІРЮВАННЯ ОБ'ЄМУ ГАЗУ ТУРБІННИМ ЛІЧИЛЬНИКОМ**

***С.А. Чеховський, Н.Б. Клочко, Б.В. Долішній***

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019. (097)653-70-72*

Облік природного газу має велике значення для його економії і раціонального використання. Для організації дієвої системи енергозбереження необхідно реалізувати ефективну систему вимірювання і обліку витрати та кількості природного



газу. Стан обліку природного газу визначається технічною базою обліку, зокрема наявністю відповідних методів і технічних засобів. При цьому актуальними є розв'язування задач розроблення і вдосконалення методів оцінювання метрологічних характеристик турбінних лічильників при їх застосуванні як сталонних засобів вимірювання витрати і об'єму природного газу.

Теоретичні дослідження впливу елементів конструкції та експлуатаційних факторів на метрологічні характеристики турбінних лічильників газу при розробленні удосконалень методів оцінювання їх точності показали, що рівняння вимірювання об'єму газу турбінними лічильниками потребує доповнення шляхом врахування конструктивних параметрів турбіни і параметрів вимірювально потоку [1,2]. За основу уточнення рівняння вимірювання турбінними лічильниками газу було взяти фізичну модель запозичену в іноземних авторів [3,4]. Доповнення уже існуючих моделей залежностями, якими визначається число Рейнольдса, в результаті дало уточнену параметрами природного газу та геометрією турбіни математичну модель для визначення залежності коефіцієнта перетворення турбінного лічильника від наведених параметрів:

$$K = \frac{\tan \beta}{rS} - \frac{0.285 n(R+a)SA^{-2} \sin \beta}{\bar{r}^2} \times \left( \frac{St \cdot 4q_v \rho d (\rho_c^{0.5} + 2.08 - 1.5(x_{N_2} + x_{CO_2}))}{D^2 \pi (T^{0.5} + 1.37 - 9.09 \rho_c^{0.125}) \cdot 10^{-6}} \right)^{-0.2} \quad (1)$$

де  $\beta$  – кут нахилу лопатей турбіни,  $\bar{r}$  – ефективний радіус турбіни (середньоквадратичне значення внутрішнього  $a$  та зовнішнього  $R$  радіусів турбіни),  $m$ ,  $S$  – кільцевий поперечний переріз потоку,  $m^2$ ,  $A$  – площа поперечного перерізу труби,  $m^2$ ,  $n$  – кількість лопатей турбіни,  $D$  – зовнішній діаметр лопаті турбіни ( $D=2R$ ),  $m$ ;  $d$  – ширина потоку через лопаті турбіни ( $d=R-a$ ),  $m$ ,  $\rho_c$  – густина газу,  $kg/m^3$ ,  $x_{N_2}$  – молярна частка азоту;  $x_{CO_2}$  – молярна частка діоксиду вуглецю;  $T$  – абсолютна температура газу,  $K$ .

Одержана модель (1) є наближеним виразом для визначення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника  $K$ , оскільки не враховує впливу кількох гальмівних моментів турбіни. Тим не менш, показує, що нелінійність зміни кутової швидкості за рахунок зміни витрати при нормальних умовах експлуатації, є функцією деяких основних геометричних параметрів та критерію Рейнольдса.

Оскільки прослідкувати за впливом вищезгаданих факторів практично неможливо, пропонується ввести експериментально визначений коефіцієнт, який максимально би



наблизив теоретичні значення до експериментальних, тим самим враховуючи параметри, зв'язок з якими важко врахувати теоретично.

$K, \text{ імп/м}^3$

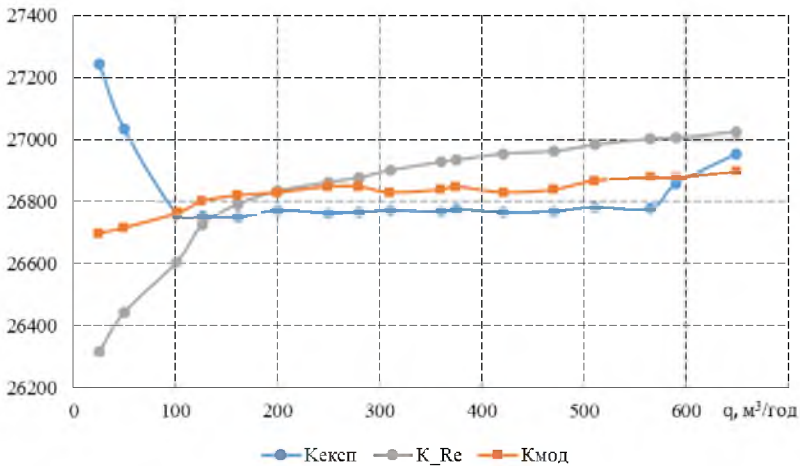


Рис. 1. Графічне представлення дослідження моделей вимірювання об'ємної витрати турбінними лічильниками.

На рис.1  $K_{експ}$  – експериментально отримані значення,  $K_{мод}$  – значення, отримані із використанням моделі (1),  $K_{Re}$  – значення розраховані за моделлю, де не врахована частота пульсацій потоку. Для якісного оцінювання результатів порівняння обчислювалась похибка репрезентативності вибірки, яка виникає як наслідок того, що опрацюванню підлягала не вся генеральну сукупність значень коефіцієнтів перетворення лічильника, а тільки її частина. Як відомо [5], похибка репрезентативності залежить від об'єму вибірки і буде тим меншою, чим більший об'єм досліджуваної вибірки. За результатами аналітичного порівняння моделей вимірювання об'ємної витрати турбінними лічильниками одержано:

- для експериментальних  $K$ :  $\overline{K_{експ}} = 26827 \text{ імп/м}^3$ ,  $СКВ=132,48 \text{ імп/м}^3$ , довірчі межі становлять  $26764,28 \leq K_{експ} \leq 26890,23$  при імовірності 0,95, похибка репрезентативності  $m_{експ} = 33,12$  ;

- для значень отриманих з використанням моделі (3.7):  $\overline{K_{мод}} = 26825,38 \text{ імп/м}^3$ ,  $СКВ=53,96 \text{ імп/м}^3$ , довірчі межі  $26799,72 \leq K_{мод} \leq 26890,23$  при імовірності 0,95, похибка репрезентативності  $m_{мод} = 19,49$  ;



- для значень розрахованих за моделлю, де число Рейнольдса береться з експериментальних даних:  $K_{Re} = 26832,93 \text{ імп/м}^3$ , СКВ=203,12 імп/м<sup>3</sup>, довірчі межі  $26736,38 \leq K_{Re} \leq 26929,49$  при імовірності 0,95, похибка репрезентативності  $m_{Re} = 50,78$ .

Отже, судячи із результатів обчислень можна зробити висновок, що розсіювання значень при розрахунку коефіцієнта перетворення турбінного лічильника за запропонованою моделлю (1) є найменшим, що дозволило зменшити похибку репрезентативності результатів визначення коефіцієнта перетворення турбінного лічильника у 2,5 рази та звузити довірчі межі, чим підвищується достовірність отриманих результатів. При цьому одночасно досягнуто покращення стабільності значень К на всьому діапазоні робочих об'ємних витрат.

На основі цього пропонується коефіцієнт перетворення лічильника при його калібруванні розраховувати за (1), що дозволяє коригувати систематичну складову похибки турбінних лічильників газу в межах до 0,1-0,2% на стадії проектування і калібрування.

### Літературні джерела.

1. Долішня Н.Б. Підвищення точності опосередкованого вимірювання витрати газу з урахуванням властивостей потоку та фізичних основ роботи турбінних лічильників /Н.Б. Долішня, Л.А. Витвицька, Н.М. Піндус// Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 06(82). – С.198-204.
2. Клочко Н.Б. Вдосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу /Н.Б. Клочко, С.А.Чеховський// Метрологія та прилади. – 2014. – №1П(45). – С.101-105.
3. Wadlow D. Chapter 28.4 Turbine and vane flowmeters / Wadlow D., Webster J.G. // The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook. – Boca Raton, FL: CRC Press. – Dec. 1998.
4. John D. Wright. What is the “best” transfer standard for gas flow? National Institute of Standards and Technology, 2003. – p.27.
5. Метрологія, стандартизація і измерення в техніке святи. Учебное пособие для вузов / [Хромой Б.П., Кандинов А.В., Сенявский А.Л. и др.]; под ред. Б. П. Хромого. — М: Радио и связь, 1986. — 424 с.