

Аналіз причин появи додаткових похибок вимірювання витрати природного газу, зумовлених змінами параметрів нестационарного потоку

Роман Федоришин, Ярослав Грень, Федір Матіко

Кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів, Національний університет "Львівська політехніка",
УКРАЇНА, м. Львів, вул.С. Бандери, 12, E-mail: romanfedoryshyn@yahoo.com

Abstract – This paper deals with influence of non-stationary flow parameters variations on the results of natural gas flow rate and volume measurement by means of standard pressure differential devices. Results of investigation of such an influence are given. The additional errors of natural gas accounting caused by non-stationary and pulsating regime of flow at measuring section of the pipeline are revealed. The existing approaches to defining and eliminating the influence of non-stationary flow parameters variations on the results of natural gas flow rate and volume measurement are analysed.

Key words – flow rate, measurement, natural gas, pressure differential device, non-stationary regime, flow pulsations, additional errors.

I. Вступ

Завдяки широкому розповсюдженню витратомірів з пристроями звуження потоку (ПЗП) можливість вимірювання за їх допомогою витрат нестационарних потоків представляє великий практичний інтерес. Але далеко не завжди їх застосування для цієї мети дає задовільні результати. Це видно з результатів аналізу існуючих підходів [1], [2] та з результатів виконаних досліджень. Причина полягає у великій кількості джерел додаткових похибок (див.Рис.1), які в деяких випадках можуть досягти недопустимо великих значень. Встановлення цих додаткових похибок допоможе визначити межі і умови застосування ПЗП для вимірювання витрат нестационарних потоків.

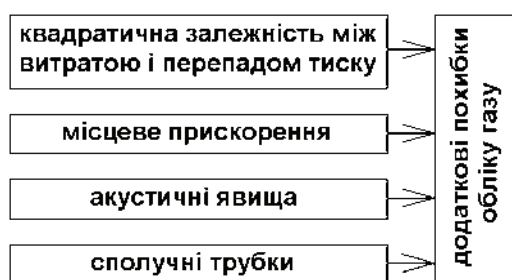


Рис. 1. Причини появи додаткових похибок вимірювання витрати та об'єму природного газу зі змінними параметрами нестационарного потоку

II. Вплив квадратичної залежності між витратою і перепадом тиску

Основним джерелом похибки вимірювання пульсуючої витрати є квадратична залежність між витратою і перепадом тиску на ПЗП [3]. Дифманометр внаслідок власної інерційності за час t_0 покаже усереднений перепад тиску, корінь квадратний з

якого є більший за середню величину кореня квадратного з миттєвих значень перепаду тиску Δp . Звідси виникає похибка ΔQ_{cp} вимірювання середнього значення пульсуючої витрати, яка визначається з виразу:

$$\frac{\Delta Q_{cp}}{Q_{cp}} = \left[\left(\int_0^{t_0} Q^2 dt \right)^{0.5} - \left(\int_0^{t_0} Q_{cp} dt \right)^{0.5} \right] / Q_{cp} \cdot (1)$$

У всіх випадках похибка внаслідок квадратичної залежності має додатний знак. Але це не значить, що її можна з достатньою точністю врахувати відповідною поправкою, оскільки форма, а іноді і частота пульсацій не відомі з достатньою точністю.

III. Вплив місцевого прискорення

При пульсуючих та інших змінних витратах під час проходження через ПЗП швидкість v і тиск p , а значить, в загальному випадку і густина ρ змінюються не лише по довжині трубопроводу, але і в часі.

Припустимо, що пульсація швидкості або витрати, що має частоту f , змінюється по пилкоподібній кривій з амплітудою $\Delta v = 2 \cdot a \cdot v$, де a – коефіцієнт пульсації. Тоді $\Delta v / \Delta t$ буде пропорційне $\Delta v f$ або $a \cdot v \cdot f$. Для пульсації іншої форми можна ввести поправний множник b , тоді в загальному вигляді $\partial v / \partial t$ буде пропорційне $a \cdot b \cdot v \cdot f$. Якщо перейти від відношення нескінченно малих величин $\partial v / \partial x$ до відношення кінцевих величин v/x , то одержимо, що відношення $\partial v / \partial t$ до $v \cdot \partial v / \partial x$ пропорційне $a \cdot b \cdot f \cdot x / v$ або пропорційне $a \cdot b \cdot Sh$, де $Sh = f \cdot x / v$ – число Струхалія, в якому b – характерний розмір, наприклад діаметр трубопроводу D або отвору ПЗП d , звідки витікає, що вплив місцевого прискорення на похибку зростає із збільшенням коефіцієнта пульсації a і числа Струхалія, тобто із збільшенням частоти f [4]. Отже, безрозмірну величину $a \cdot b \cdot Sh$ або зворотну їй $(a \cdot b \cdot Sh)^{-1}$ можна прийняти як критерій, що враховує вплив місцевого прискорення. При важкості визначення значення $a \cdot b$ можна перейти від коефіцієнта пульсації витрати до коефіцієнта пульсації тиску в трубопроводі або до коефіцієнта пульсації перепаду тиску на ПЗП, враховуючи, що $\Delta p_d / \Delta p_{cp} \approx 4 \cdot a \cdot b$.

IV. Вплив акустичних явищ

Разом з хвилями швидкості при пульсуючих витратах виникають і хвилі тиску, що переміщуються

із швидкістю звуку. Вони відображаються від різних перешкод на своєму шляху, у тому числі і від стінки діафрагми, і за деяких умов, сприяючи виникненню резонансу в трубопроводах, в останніх можуть утворюватися „стоячі хвилі”. Все це може спотворити розподіл тиску в трубі, пов'язаний з рухом потоку, і стояти на заваді при правильному вимірюванні перепаду тиску, що створюється ПЗП. Похибка вимірювання перепаду тиску може виникнути також через високочастотні коливання (більше 1000 Гц) [5], так звані звукові шуми, що виникають з різних причин, наприклад при витіканні струменя газу з регулюючого клапана. Врахувати вплив перерахованих акустичних явищ на точність вимірювання важко. Але вони є причиною великих похибок в деяких випадках під час вимірювання витрат пульсуючих потоків. Акустичними ефектами можна знехтувати, якщо діаметр отвору діафрагми малий в порівнянні з довжиною четвертої частини звукової хвилі. Тобто для діаметру, який є меншим за 100 мм допустимі частоти становлять 50–75 Гц. Виконання цієї вимоги дійсно необхідне, але воно може виявитися недостатнім у разі виникнення резонансу, залежного від конфігурації трубопроводу.

III. Вплив сполучних трубок

Сполучні трубки між ПЗП і дифманометром можуть бути додатковим джерелом похибок при вимірюванні пульсуючих витрат через можливу нерівність опорів обох трубок, а також нелінійністю через можливі акустичні явища в трубках. При вимірюванні пульсуючих витрат речовина, що знаходиться в сполучних трубках, безперервно переміщається в ту або іншу сторону. Тому треба уникати в трубках нелінійних опорів. Вони спотворюють передачу перепаду тиску тим більше, чим більше несиметричні форми пульсації. При цьому тиск в кінці трубки може виявитися і менше, і більше середнього. Слід застосовувати лише повністю відкриті прямоточні клапани. При вимірюванні пульсуючих витрат нерідко вимагається демпферувати сполучні лінії. Однак для цього не рекомендується встановлювати на імпульсних лініях комбінації із звужень і ємностей, оскільки їх опір нелінійний і залежить від напрямку руху.

Акустичні явища, що виражаються в появі хвиль тиску в сполучних трубках і їх віддзеркалень від кінців останніх, можуть також бути джерелом появи додаткової похибки. Необхідно виключати появу резонансу в сполучних трубках.

Висновок

Проведений аналіз джерел похибок вимірювання пульсуючих витрат за допомогою ПЗП, дозволяє зробити наступні висновки. При невеликій частоті пульсації (менше 3–5 Гц) визначальний вплив має додаткова похибка, викликана квадратичною залежністю між витратою і перепадом тиску. При невеликому

коєфіцієнті пульсації витрати (менше 0,2) цією додатковою похибкою можна знехтувати. В решта випадків, знаючи амплітуду і форму пульсації, можна вирахувати з деяким наближенням значення необхідної поправки.

Із збільшенням частоти пульсації f зростає значення додаткової похибки, зумовленої впливом місцевого прискорення. Врахувати цю похибку дуже важко, не дивлячись на ряд досліджень, направлених на виявлення її залежності від частоти і амплітуди пульсації. Запропоновані критерії для оцінки похибки, включаючи число Струхаля, виявилися не універсальними і дають цю оцінку з вельми обмеженим наближенням. Причини цього – велике число впливаючих обставин крім числа Струхаля і амплітуди пульсації, пов'язаних з конфігурацією трубопроводу, розташуванням джерела пульсації до або після ПЗП, відносним діаметром отвору ПЗП d/D , стисливістю вимірюваної речовини, будовою дифманометра і сполучних трубок, характером пристроїв для вимірювання амплітуди і форми пульсації, а також можливими акустичними впливами і перешкодами.

Вимірювання пульсуючих витрат, що мають одночасно високу частоту f і значну амплітуду пульсації з достатньою точністю можна здійснити, якщо до надходження в ПЗП їх амплітуда пульсації буде певною мірою понижена за допомогою особливих фільтрів-заспокоювачів. Висока ж частота пульсації при малій їх амплітуді помітно не впливатиме на результати вимірювання. Якщо коефіцієнт пульсації тиску $a_p = (\Delta p_{\max} - \Delta p_{\min}) / \Delta p_{cp}$ не перевищує 0,1, то незалежно від частоти пульсації похибка вимірювання витрати не перевищить 1%. Ці дані відносяться до вимірювання витрати природного газу.

References

- [1] ISO 5167-1,2,3,4:2003 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – part 1,2,3,4.
- [2] E. van Bokhorst and M.C.A.M. Peters. Optimisation of flow measurements in a pulsating flow // 19th International North Sea Flow Measurement Workshop, 22–25 October 2001 – Kristiansand, Norway.
- [3] ISO/TR 3313:1998 Measurement of fluid flow in closed conduits – Guidelines on the effects of flow pulsations on flow-measurement instruments.
- [4] Dobrowolski B., Kabza Z., Pospolita J. The analysis of metrology performance of constriction flowmeters under pulsating flow-condition // The Proceedings of the X-th IMEKO World Congress. 1985. Vol.8. P. 25–32.
- [5] Floyd J.H. The effect of high frequency pulsations on differential meter accuracy // Pipe Line News. 1963. Vol. 35. N 2. P. 19–23.