

УДК 004.942

**ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ В УМОВАХ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ****Н. Б. Клочко, Т. Р. Павлів, О. В. Піндус***Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська,  
15, м.Івано-Франківськ, 76019*

*Тенденції розвитку витратовиміральної техніки останніх років дозволяють вважати ультразвуковий метод вимірювання витрати газу одним із кращих завдяки широкому діапазону та можливості застосування мікропроцесорної техніки, що в результаті дозволяє досягти високої точності результатів. Головна мета статті полягає у оцінюванні функціональної надійності та ефективної роботи обладнання комерційних вузлів вимірювання витрати газу на базі ультразвукових лічильників газу, встановлених на газорозподільчих станціях філії ПАТ Укртрансгаз.*

*Ключові слова: лічильник газу, надійність, ультразвукове обладнання.*

*Тенденции развития расходоизмерительные техники последних лет позволяют считать ультразвуковой метод измерения расхода газа одним из лучших благодаря широкому диапазону и возможности применения микропроцессорной техники, что в результате позволяет достичь высокой точности результатов. Главная цель статьи заключается в оценке функциональной надежности и эффективной работы оборудования коммерческих узлов измерения расхода газа на базе ультразвуковых счетчиков газа, установленных на газораспределительных станциях филий ПАТ Укртрансгаз.*

*Ключевые слова: счетчик газа, надежность, ультразвуковое оборудование.*

*The trends in the development of metering devices in recent years suggest that the ultrasonic method of gas flow measurement is one of the best due to the wide range and the possibility of using microprocessor technology, which results in achieving high accuracy. The main objective of the paper is to evaluate the functional reliability and efficient operation of the equipment used for commercial measuring gas basing on ultrasonic gas meters installed at gas distribution stations of Ukrtransgaz.*

*Key words: gas meter, reliability, ultrasonic methods.*

Ситуація, що складається в Україні і світі з забезпеченням паливно-енергетичними ресурсами, потребує суворого державного контролю за їх використанням в усіх сферах господарства, як це зазначено в Законі України «Про енергозбереження» [1]. Визначені завдання та функції державного управління енергозбереженням реалізуються в рамках Комплексної Державної програми енергозбереження України [2] і передбачають: – удосконалення обліку, контролю за витратами енергоресурсів та створення автоматизованих систем управління їх транспортуванням та споживанням у галузях господарства незалежно від адміністративної підпорядкованості та форм власності;

– скорочення втрат енергоресурсів на підприємствах побутової сфери, комунального господарства та житловому секторі.

У [2] відмічено, що щорічно на житлові, комунальні та побутові потреби населення України витрачається п'ята частина паливних ресурсів та електроенергії і третина теплової енергії, які використовуються в економіці, тобто по обсягах енергоспоживання ця галузь займає третє місце після енергетики та чорної металургії.

Закордонний досвід реалізації політики енергозбереження [3] свідчить про комплексне впровадження енергозберігаючих заходів, зокрема, оснащення всіх енергоприймачів пристроями вимірювання, обліку та регулювання, а також впровадження оплати вартості енергоносіїв, яка відповідає реальним

витратам. Така стратегія суттєво впливає на скорочення споживання палива, енергії та інших ресурсів в економіці та невиробничій сфері. За кордоном серійні прилади для вимірювання витрати плинного середовища (рідин, газів і пари) виробляють, наприклад, фірми KROHNE (Німеччина), CONTRLONRON, PANAMETRICS (США) та інші. Такі прилади у відповідності з Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [4] мають пройти процедуру сертифікації і внесення до Державного реєстру ЗВТ, що збільшує їх і так велику вартість. До того ж, методи випробувань цих приладів достатньо складні і потребують використання додаткового обладнання. Таким чином, завдання з використання інформаційних технологій не можна вважати вирішеним. Також, до сьогоднішнього дня залишаються невирішеними завдання метрологічного забезпечення (калібрування, перевірка) витратомірів та лічильників природного газу великих діаметрів (DN>300); підвищення точності, достовірності вимірювання витрати газу в умовах спотвореної структури його потоку та наявності різноманітних місцевих опорів в магістральних газопроводах; створення національних витратомірів природного газу з метрологічними характеристиками на рівні кращих сучасних закордонних аналогів.

Все це визначає актуальність модернізації та удосконалення обліку, контролю за витратами енергоресурсів та розроблення автоматизованих систем управління їх транспортуванням та споживанням, створення сучасних вітчизняних витратомірів і засобів обліку природного газу.

Для прикладу у статті розглянуто ГРС однієї із філій ПАТ Укртрансгаз. Модернізація пункту обліку витрати газу здійснювалася на базі ультразвукового лічильника газу FLOWSIC600. Ці лічильники можуть застосовуватися на підприємствах газової, хімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості.

Принцип дії лічильників заснований на вимірюванні різниці часу проходження ультразвуку у напрямку потоку газу та проти нього [5]. Залежно від цієї різниці часу розраховують швидкість газового потоку, а також, з урахуванням площі поперечного перерізу трубопроводу, витрату та об'єму газу за стандартних умов (при цьому перетворювачі температури та абсолютного тиску газу встановлюються на трубопроводі окремо).

Для діагностики системи FLOWSIC600 застосовується програма MEPAFLOW600 CBM. Вона дає доступ до всіх системних параметрів,

виводить на дисплей інформацію по діагностиці в вигляді схем і графіків, генерує повідомлення і файли даних, які можуть бути експортовані і використані для запису даних. База даних програми дає можливість керування в режимі онлайн чи оффлайн параметрами, повідомленнями, файлами сесій чи журналами подій. Інформація, що відображається на рідкокристалічному дисплеї на передній панелі FLOWSIC 600 може бути перевірена з метою удостоверення правильної роботи системи.

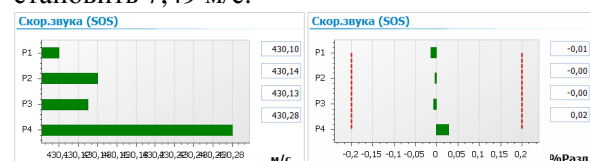
Регламентним повіркам підлягають наступні значення: швидкість звуку, продуктивність, чутливість прийому (AGC), співвідношення сигнал-шум. До уваги бралися результати отримані на ГРС з використанням УЗЛ FLOWSIC600 DN200. Під час зовнішнього огляду УЗЛ та вимірювального трубопроводу пошкоджень не виявлено. Кришка блоку обробки сигналів лічильника, фланці, перетворювачі тиску та температури були запломбовані. Під'єднання живлення та сигналів до лічильника виконано роздільними кабелями. Над лічильником газу змонтовано укриття від атмосферних опадів та прямого сонячного випромінювання. Прямі ділянки та вимірювального трубопроводу не теплоізовані. Загальна довжина прямої ділянки вимірювального трубопроводу перед лічильником становить 28D. Лічильник під'єднано до вимірювального комплексу Флоутек-ТМ з вимірювальними перетворювачами тиску Fisher-Rosemount та температури ПТ-П.

Нижче наведені результати та аналіз отриманої інформації після зняття діагностичної сесії (рис.1-рис.6).



**Рисунок 1 – Швидкість газу та профіль потоку**

Профіль потоку газу через лічильник (рис.1) стабільний з невеликими флуктуаціями. Середня швидкість газу у перерізі трубопроводу становить 7,49 м/с.

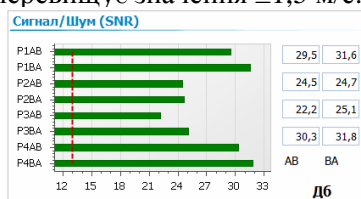


**Рисунок 2 – Швидкість звуку**

Швидкість звуку виміряна лічильником по променях та відхилення швидкості звуку по променях від середньої швидкості звуку у перерізі лічильника (рис. 2) становить:

- по першому променю 430,10 м/с, відхилення -0,01%;
- по другому променю 430,14 м/с, відхилення 0,00%;
- по третьому променю 430,13 м/с, відхилення 0,00%;
- по четвертому променю 430,28 м/с, відхилення +0,02%.

Розбіжність значень вимірної швидкості звуку не перевищує значення  $\pm 1,5$  м/с.



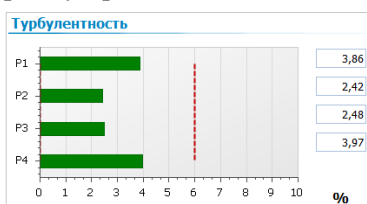
**Рисунок 3 – Співвідношення сигнал-шум**

Співвідношення сигнал/шум по всіх променях знаходиться в межах типових значень – не менше ніж 13 дБ.

Турбулентність (рис.4) обчислюється лічильником по кожному променю як розбіжність результатів у серії послідовних вимірювань.

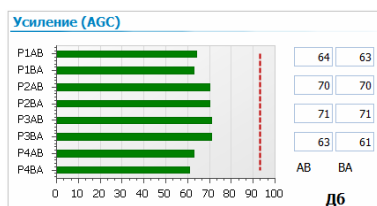
Значення турбулентності за окремими променями становлять:

- по першому променю 4,35 %;
- по другому променю 3,09 %;
- по третьому променю 2,9 %;
- по четвертому променю 3,84 %.



**Рисунок 4 – Турбулентність**

Турбулентність знаходиться в допустимому рівні, не перевищує границю в 6.

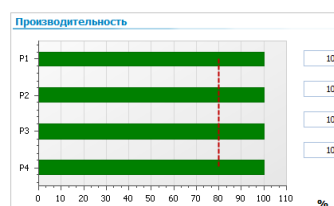


**Рисунок 5 – Чутливість приймання акустичного сигналу**

Рівень підсилення прийнятого електроакустичним перетворювачем сигналу (рис.4) становить:

- по першому променю 64 дБ у прямому та 63 дБ зворотному напрямках;
- по другому променю 70 дБ у прямому та 70 дБ зворотному напрямках;
- по третьому променю 71 дБ у прямому та 71 дБ зворотному напрямках;
- по четвертому променю 63 дБ у прямому та 61 дБ зворотному напрямках.

Рівень підсилення по кожному променю знаходиться у нормі – не перевищують граничного значення 93 дБ.



**Рисунок 6 – Продуктивність**

Продуктивність (рис.6) характеризують у відсотковому значенні від кількості прийнятих сигналів по кожному променю. По всіх променях продуктивність становить 100%. Усі сигнали приймаються лічильником. В журналах подій виявлено поодинокі повідомлення про збої променів. Отримані результати діагностики дозволяють робити позитивні висновки по пункту вимірювання витрати газу із застосуванням ультразвукового лічильника FLOWSIC600 DN200.

Наступним етапом дослідження був метрологічний аналіз. З цією метою розроблено причинно-наслідкову діаграму, що відображає фактори, що впливають на вимірювання витрати газу ультразвуковими лічильниками (рис.7). Проаналізуємо основні з них: людський фактор, який визначається рівнем кваліфікації оператора під час роботи на пункті вимірювання витрати газу; швидкість розповсюдження ультразвуку у вимірювальному середовищі, яка залежить від таких фізико-хімічних характеристик вимірювального середовища як: концентрація, тиск та густина, в'язкість, температура; вплив навколишнього середовища; точність лічильника газу; вид потоку газу: ламінарний, турбулентний, перехідний; час переміщення сигналів: вздовж напрямку потоку та проти нього; спотворення структури потоку, що визначається довжиною дослідної ділянки та впливом місцевих опорів, що зумовлюють збільшення похибки УЗЛ.



**Рисунок 7 – Діаграма Іскави для ультразвукових лічильників газу**

Для зменшення впливу випадкових ефектів виконано серію вимірювань витрати газу, отримано результати та розраховано невизначеність цих результатів вимірювання. Невизначеність типу А, яка характеризує випадкову складову вимірювання за таким виразом [6]:

$$u_A = S(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.09 \quad (1)$$

Стандартна невизначеність типу В із врахуванням усіх складових становить [6]:

$$u_{B\Sigma} = \frac{\theta(0.95)}{1.1\sqrt{B}} = 2.89 \% \quad (2)$$

Оцінку стандартної сумарної невизначеності визначаємо за формулою [6]:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_{B\Sigma}^2} = 0,09 \% \quad (3)$$

Оцінка ефективного числа степенів вільності обчислюється за виразом:

$$v_{\text{eff}} = (n-1) \cdot \left(1 + \frac{u_A^2}{u_{B\Sigma}^2}\right)^{-2} = 1,2 \quad (4)$$

Значення  $t_{0,95}(4)=2,78$ . Розрахуємо розширену невизначеність результатів вимірювання за виразом:

$$U_{0,95} = t_{0,95}(v_{\text{eff}}) \cdot u_C = 2.78 * 0.09 = 0.25\%$$

На основі отриманих результатів обчислення складових розширеної невизначеності результату вимірювання витрати природного газу ультразвуковим лічильником складено бюджет невизначеності (табл.1). У результаті проведених експериментальних досліджень ультразвукових лічильників газу в умовах експлуатації із використанням програми MERAFL0W600 отримано графіки (рис.1-6) за основними параметрами: швидкість газу та профіль потоку, швидкість звуку, співвідношення сигнал/шум, турбулентність, чутливість приймання акустичного сигналу та

продуктивність, відповідно до яких зроблено висновки про доцільність застосування даних лічильників.

**Таблиця 1 - Бюджет невизначеності результатів вимірювання витрати природного газу ультразвуковими лічильниками**

Вхідна величина	Оцінка вхідної величини	Стандартна невизначеність	Вид закону розподілу	Внесок невизначеності
Інструментальна похибка	5,5 %	$u_B$	рівномірний	2,887%
Коефіцієнт розширення тиску	$3 \cdot 10^{-4} \text{ бар}^{-1}$	$u_B(\beta)$	рівномірний	$1,06 \cdot 10^{-6} \text{ бар}^{-1}$
Різниця тисків	50 бар	$u_B(\Delta P)$	рівномірний	28,9 бар
Коефіцієнт розширення температури	$2,8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$u_B(\theta)$	рівномірний	$1,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Різниця температур	40 °C	$u_B(\Delta T)$	рівномірний	23,09 °C
Вимірювана величина	Результат вимірювання	Сумарна стандартна невизначеність, %	Коефіцієнт охоплення	Розширена невизначеність, %
Витрата	$3,55 \pm 0,25$	0,09	4	0,25

Складено бюджет невзначеності та розраховано розширену невизначеність результатів вимірювання витрати, яка становить 0,25%.

1.Про енергозбереження. Закон України від 01.07.1994 № 74/94-ВР. Редакція станом на 01.01.2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua>laws/ano74/94-вр.  
2.Про Комплексну державну програму енергозбереження України. Постанова Кабінету Міністрів України від 05.02.1997 р. № 148 [Електронний ресурс].  
3.Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Action Plan to Improve Energy Efficiency in the European Community. Brussels, 29.02.2000.  
4.Про метрологію та метрологічну діяльність. Закон України від 05.06.2014 № 1314-VII. Редакція станом на 02.08.2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua>laws/show/1314-18/page  
5.Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: справочник / П.П. Кремлевский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.  
6.Захаров И.П., Кукуш В.Д. Теория неопределенности в измерениях. - Харьков: КОНСУМ, 2002. - 256

Поступила в редакцію 25.09.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Середюк О. Є., докт. техн. наук, проф. Костишин В. С.