

УДК 006.86:681.121.4

Н.Б. Ключко, Б.В. Долішній, Н.М. Піндус, С.А. Чеховський

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

## ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ОПРАЦЮВАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ТУРБІННИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ ПРИ ЇХ КАЛІБРУВАННІ

*Розглянуто можливості оптимізації алгоритму обробки вимірювальної інформації турбінних лічильників газу. Визначено стандартні невизначеності основних джерел з використанням результатів експериментальних досліджень лічильників на установках природного газу. Розроблено методуку калібрування лічильників газу, в якій викладено концепція оцінки випадкової складової похибки турбінних лічильників шляхом обліку виду закону розподілу результатів вимірювання об'єму. Показано, що використання розробленої методуки дозволяє істотно підвищити точність турбінних лічильників газу.*

**Ключові слова:** еталонна установка, турбінний лічильник газу, калібрування.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В даний час оцінка точності промислових лічильників газу, в тому числі і турбінних, здійснюється за допомогою еталонних установок вимірювання об'єму та витрати газу, що працюють на повітрі.

В силу того, що застосування для вказаної мети еталонних установок з функціонуванням на природному газі набуває останнім часом все більшого поширення, виникає необхідність вдосконалення методів оцінки точності турбінних лічильників в умовах, коли робочим середовищем є природний газ.

При цьому оптимізація методів обробки вимірювальної інформації на базі імовірнісних підходів для оцінки метрологічних характеристик засобів обліку природного газу є одним із пріоритетних завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі дослідження в області витратометрії природного газу, стосуються, перш за все, розробки еталонних засобів витратометрії і вдосконалення методологічних аспектів проектування і експлуатації робочих засобів вимірювання об'єму та витрати природного газу і створення науково-методичної та приладової бази в зазначеній галузі [1 – 3]. Однак питання вивчення імовірнісних характеристик лічильників газу, в тому числі і турбінних, при їх метрологічних дослідженнях з використанням калібрувальних установок на природному газі потребують суттєвого доопрацювання.

**Мета статті.** Удосконалення методів оцінки точності турбінних лічильників газу шляхом використання теорії невизначеності для оптимізації алгоритму обробки вимірювальної інформації при проведенні досліджень на установках, що працюють на природному газі.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень турбінних лічильників на природному газі застосовуються калібрувальні установки з еталонними лічильниками газу роторного та турбінного типів, що працюють на природному газі.

Калібрувальні установки повинні бути атестовані Головною організацією з вимірювання об'єму та об'ємної витрати газу. Діапазон відтворюваних калібрувальною установкою об'ємних витрат повинен перебивати діапазон робочих витрат випробовуваного лічильника газу. Границі основної допустимої відносної похибки передачі одиниці об'єму калібрувальної установки не повинні перевищувати 0,4%.

В основному, запропоновані в результаті наших досліджень удосконалення щодо корекції випадкової похибки стосуються етапів визначення довірчих границь відносної похибки еталонного лічильника та невизначеності. Результати експериментальних досліджень еталонного турбінного лічильника газу типорозміром G400 при заданих значеннях об'ємної витрати газу 50 м<sup>3</sup>/год (що знаходиться в діапазоні  $q_{\min} \cdot 0,2q_{\max}$ ) та 200 м<sup>3</sup>/год (що знаходиться в діапазоні  $0,2q_{\max} \cdot q_{\max}$ ) подані в табл. 1, 2, де позначено:

$N$  – кількість імпульсів;  
 $t$  – час проходження контрольного об'єму газу, с;  
 $q_v$  – об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/год;  
 $V$  – вимірювальний об'єм газу, м<sup>3</sup>).

Відповідно до діючої методуки [4] довірчі границі визначають в такій послідовності:

а) обчислюють границі невилученої систематичної похибки еталонного лічильника:

$$\Theta = 1.1 \cdot \sqrt{\delta_E^2 + \delta_{\text{ІМП}}^2}, \quad (1)$$

Таблиця 1

Результати калібрування  
еталонного турбінного лічильника газу  
типорозміром G400 ( $q_v=50 \text{ м}^3/\text{год}$ )

N	t	$q_v$	V
27982	6,960	52,09	0,1007
27980	6,980	51,94	0,1007
27923	7,030	51,57	0,1007
27906	7,023	51,62	0,1007
27905	7,200	50,35	0,1007
$u_A(K) = 0,11 \%$			
$u_B(V) = 0,08 \%$			

Таблиця 2

Результати калібрування  
еталонного турбінного лічильника газу  
типорозміром G400 ( $q_v=200 \text{ м}^3/\text{год}$ )

N	t	$q_v$	V
26898	1,830	198,11	0,1007
26897	1,830	198,11	0,1007
26900	1,820	199,20	0,1007
26926	1,810	200,30	0,1007
26982	1,840	197,03	0,1008
$u_A(K) = 0,10 \%$			
$u_B(V) = 0,08\%$			

де  $\delta_E$  – похибка передачі одиниці об'єму еталоном одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, %;  $\delta_{\text{імп}}$  – відносна похибка зумовлена дискретністю лічильника імпульсів, яка визначається за формулою:

$$\delta_{\text{імп}} = \frac{2}{N_{\text{min}}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

де  $N_{\text{min}}$  – мінімальна кількість імпульсів з еталонного лічильника, що відповідає пропущеному контрольному об'єму ( $N_{\text{min}}=27000 \text{ імп}/\text{м}^3$ ).

$$\Theta = 0.0019 \text{ імп}/\text{м}^3;$$

б) обчислюють коефіцієнт, що залежить від співвідношення випадкової та невилученої систематичної похибок:

$$t_{\Sigma j} = \frac{\Theta + k_c \cdot \sigma_{Kj}}{S_{\Theta} + \sigma_{Kj}} , \quad (3)$$

де  $k_c$  – квантиль Стюдента;  $K$  - коефіцієнт перетворення по  $j$  - тому значенні об'ємної витрати, що визначається як  $N/V$ ;

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta}{\sqrt{3}} \cdot t_{\Sigma j} = 2.43 ;$$

в) обчислюють довірчі границі відносної похибки еталонного лічильника для  $j$ -го значення об'ємної витрати:

$$\delta_j = \pm t_{\Sigma j} \cdot \sqrt{S_{\Theta}^2 + \sigma_{Kj}^2} . \quad (4)$$

Відповідно, довірчі межі похибки еталонного лічильника становлять:

$$\delta_j = \pm 0.56 \% .$$

При цьому, апріорі вважається, що закон розподілу нормальний і довірна ймовірність становить  $P = 0.95$ .

Оцінювання невизначеності результату вимірювання починається із визначення джерел невизначеності. Основними джерелами невизначеності при метрологічній атестації (калібруванні) еталонного лічильника є:

- невизначеність відтворення еталоном одиниці об'єму газу;
- випадковий ефект, що характеризує повторюваність результатів вимірювань;
- складова, що зумовлена дискретністю лічильника імпульсів;
- відтворюваність результатів вимірювань.

Стандартну невизначеність середнього значення коефіцієнта перетворення за  $j$ -го значення об'ємної витрати визначають за наступною формулою:

$$u_A(\bar{K}_j) = \frac{S_{Kj}}{\sqrt{n}} 100\% = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{ji} - \bar{K}_j)^2}{n(n-1)}} ; \quad (5)$$

$$u_A(\bar{K}_j) = 0,11\% .$$

Оцінюють стандартну невизначеність кількості імпульсів. Ця складова зумовлена тим, що на початку і в кінці вимірювання можливо не врахувати по 1 імпульсу.

Стандартну невизначеність кількості імпульсів розраховують за формулою:

$$u_B(N) = \frac{2\sqrt{3}}{K_j} \times 100\% ; \quad (6)$$

$$u_B(N) = 0,0041\% .$$

Оцінюють стандартну невизначеність контрольного об'єму газу. Ця складова визначається за результатами атестації еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу, що застосовується при метрологічній атестації еталонного лічильника.

$$u_B(V) = \frac{U(V)}{\sqrt{3}} ; \quad (7)$$

$$u_B(V) = 0,08\% .$$

Оцінку стандартної невизначеності, зумовлену відтворюваністю результатів вимірювань визначається за формулою:

$$u_B(K) = \frac{\delta_{B\max}}{\sqrt{3}}, \quad (8)$$

де  $\delta_{B\max}$  – максимальне значення оцінки відтворюваності,

$$u_B(K) = 0,0057\%.$$

Всі вхідні величини вважаємо некорельованими.

Сумарну стандартну невизначеність коефіцієнта перетворення за  $j$ -го значення об'ємної витрати визначають так:

$$u_{c_j}(\bar{K}_j) = \sqrt{u_A^2(\bar{K}_j) + \left(\frac{\partial \bar{K}}{\partial N}\right)^2 \cdot u_B^2(N) + \left(\frac{\partial \bar{K}}{\partial V}\right)^2 \cdot u_B^2(V) + u_B^2(K)}; \quad (9)$$

$$u_{c_j}(\bar{K}_j) = 0,135\%.$$

Розширену невизначеність розраховуємо, приймаючи довірчу ймовірність рівною 0,95, приймаючи коефіцієнт охоплення  $k_0 = 2$ :

$$U_{0,95j}(K) = k_0 u_{c_j}(\bar{K}_j); \quad (10)$$

$$U_{0,95}(q_v = 50 \text{ м}^3 / \text{год}) = 0,27\%.$$

З метою подальшого аналізу результати оцінювання невизначеності результату вимірювання були розглянуті при заданому значенні об'ємної витрати  $q_v = 200 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Основна відмінність у визначенні довірчих границь між існуючою методикою та запропонованою полягає у врахуванні в останній закону розподілу результатів вимірювання об'ємної витрати. При обчисленні коефіцієнта, що залежить від співвідношення випадкової та невилученої систематичної похибок, замість квантиля Стюдента, який характерний для нормального закону розподілу, пропонується брати ентропійний коефіцієнт  $k$ , що залежить від виду закону розподілу.

Відповідно,  $t_{\Sigma j}$  із врахуванням формул (про систематичну похибку) набуде значення:

$$t_{\Sigma j} = \frac{\Theta + k \cdot \sigma_{Kj}}{S_{\Theta} + \sigma_{Kj}}; \quad (11)$$

$$t_{\Sigma j} = 1,815.$$

При цьому довірчі границі відносної похибки еталонного лічильника для  $j$ -го значення об'ємної витрати становлять:

$$\delta_j = \pm 0.46\%.$$

При цьому, закон розподілу результатів вимірювання об'ємної витрати при заданому значенні  $q_v = 50 \text{ м}^3 / \text{год}$  близький до нормального.

При оцінюванні розширеної невизначеності коефіцієнт охоплення відповідно до діючої методики [4] приймається рівним  $k_0 = 2$ .

Відомо [5], що коефіцієнт охоплення в теорії невизначеності – це квантиль розподілу похибки у теорії похибок.

Відповідно пропонується при визначенні розширеної невизначеності результату вимірювання об'ємної витрати еталонними турбінними лічильниками газу коефіцієнт охоплення приймати рівним ентропійному коефіцієнту  $k$ , як основної характеристики закону розподілу результатів вимірювання.

Формула (10) набуде вигляду:

$$U_{0,95j}(K) = k u_{c_j}(\bar{K}_j). \quad (12)$$

І розширена невизначеність об'ємної витрати при заданому значенні  $q_v = 50 \text{ м}^3 / \text{год}$  становитиме

$$U_{0,95}(q_v = 50 \text{ м}^3 / \text{год}) = 0,267\%.$$

Для порівняння до уваги бралися і результати отримані при метрологічних дослідженнях того ж еталонного турбінного лічильника газу типорозміром G400 при заданому значенні об'ємної витрати  $q_v = 200 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Розширена невизначеність відповідно до діючої методики [4] становила

$$U_{0,95}(q_v = 200 \text{ м}^3 / \text{год}) = 0,25\%,$$

а із врахуванням запропонованих змін

$$U_{0,95}(q_v = 200 \text{ м}^3 / \text{год}) = 0,232\%.$$

З одержаних результатів можна зробити висновок, що врахування закону розподілу результатів вимірювання об'ємної витрати турбінним лічильником газу дає можливість підвищити оцінку точності результату вимірювання.

Враховуючи вимоги до турбінних еталонних лічильників газу та отримані результати експериментальних досліджень, розроблено методику калібрування лічильників газу [6].

Особливістю розробленої методики є відображення в ній методологічного та алгоритмічного підходу до визначення систематичної складової похибки турбінних лічильників із врахуванням поправки на експериментально отримані значення коефіцієнта перетворення.

В ній також викладено концепція оцінювання випадкової складової похибки турбінних лічильників шляхом врахування виду закону розподілу результатів вимірювання об'єму.

Методика відображає процедуру визначення довірчих границь відносної похибки еталонного лічильника із врахуванням поправки на систематичну складову похибки та виду закону розподілу випадкової похибки лічильника.

У розробленому нормативному документі також передбачено оцінювання метрологічних характеристик еталонних турбінних лічильників здійснювати на базі основних положень теорії невизначеності у вимірюваннях.

### **Висновки**

Розроблена методика калібрування дозволяє підвищити достовірність отриманих результатів метрологічних досліджень турбінних лічильників газу шляхом застосування основних етапів математичної статистики, а саме: відсіювання промахів, ідентифікація закону розподілу та перевірка відтворюваності дослідів.

Крім цього, це також забезпечує покращення оцінювання точності турбінних лічильників на основі врахування конкретного виду закону розподілу та уточнення на його базі довірчих меж похибки лічильників.

### **Список літератури**

1. Петришин І.С. До питання ідентифікації закону розподілу похибок еталонів / І.С. Петришин, Я.В. Безгачнюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – № 1 (7). – С. 59-62.
2. Воциньський В.В. Математична модель швидкості потоку в кільцевому січній турбінного лічильника

газу / В.В. Воциньський // Методи та прилади контролю якості – № 6. – 2000. – С. 61-63.

3. Удосконалення методів оцінювання точності турбінних лічильників газу: дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.01.02 "Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення" / Н. Б. Клочко. – Івано-Франківськ, 2014. – 156 с.

4. Метрологія. Еталонні лічильники газу. Типова програма та методика державної метрологічної атестації: МДУ 016/03-2006 / І. Петришин, Я. Безгачнюк, Д. Середюк. – [Чинна від 2006-05-18]. – Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2006. – 12 с. – (Нормативний документ Держспоживстандарту України: Інструкція).

5. Новицький П.В. Оцінка погрешностей результатов измерений. / П.В. Новицкий, И.А. Зограф – Л.: Энергоатомиздат, 2001. – 303 с

6. Метрологія. Турбінні лічильники газу. Методика калібрування: МК 03/03-2013 / Я.Безгачнюк, В.Гулик, П. Джочко, Н Клочко. – [Чинна від 2013-06-07]. – Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2013. – 13 с. – (Нормативний документ Мінекономрозвитку України: Інструкція).

Надійшла до редколегії 22.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Н. Райтер, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ТУРБИНЫХ СЧЕТЧИКОВ ГАЗА ПРИ ИХ КАЛИБРОВКЕ**

Н.Б. Клочко, Б.В. Долишний, Н.Н. Пиндус, С.А. Чеховский

*Рассмотрены возможности оптимизации алгоритма обработки измерительной информации турбинных счетчиков газа с использованием теории неопределенности. Определены стандартные неопределенности основных источников с использованием результатов экспериментальных исследований счетчиков на установки природного газа. Разработана методика калибровки счетчиков газа, в которой изложены концепция оценки случайной составляющей погрешности турбинных счетчиков путем учета вида закона распределения результатов измерения объема. Показано, что использование разработанной методики позволяет существенно улучшить расширенную неопределенность.*

**Ключевые слова:** неопределенность, эталонная установка, турбинный счетчик газа.

### **THE OPTIMIZATION OF ALGORITHM OF MEASUREMENT INFORMATION PROCESSING OF TURBINE GAS METERS AT THEIR CALIBRATION**

N.B. Klochko, B.V. Dolishniy, N.N. Pindus, S.A. Chehovskiy

*The possibilities of optimization the processing algorithm of turbine gas meters measuring data using uncertainty theory were observed. There were calculated standard uncertainties of main sources using the results of experimental data. Experiment was held using test installation of turbine gas meters. There was developed a calibration methodology for turbine gas meters, which sets out a concept evaluation of the error's random component of turbine meters by taking into account the type of distribution law. It is shown that the use of developed methods makes it possible to significantly improve the expanded uncertainty.*

**Keywords:** uncertainty, test installation, turbine gas meter.