ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 23, 2009

УДК 389:681.121.089

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПРИ КАЛІБРУВАННІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ТА КІЛЬКОСТІ ГАЗУ

Ю.І. Бродин[1)], З.М. Бродин[2)]

*1) Метрологічний центр НАК «Нафтогаз України», вул.Б.Хмельницького,6, м.Київ, 01010, тел.(044)**406-33-35***

2) Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул.Карпатська, 15, м.Івано-Франківськ, 76019, тел.(03422)4-21-27

Обговорюється європейський досвід аналізу невизначеності, спільні підходи та відмінності, які існують у різних документах стосовно аналізу невизначеності при вимірюванні витрат та кількості газу. Здійснений аналіз сучасного стану застосування в Україні європейських підходів до оцінювання невизначеності при калібруваннях засобів вимірювання витрати та кількості газу.
Ключові слова: витрата газу, калібрування, невизначеність, кількість газу, стандартні умови, робочі умови, бюджет невизначеності.

Обсуждается европейский опыт анализа неопределенности, общие подходы и отличия, которые существуют в разных документах относительно анализа неопределенности при измерении расходов и количества газа. Осуществлен анализ современного состояния применения в Украине европейских подходов к оцениванию неопределенности при калиброваниях средств измерения затраты и количества газа.
Ключевые слова: затрата газа, калибрования, неопределенность, количество газа, стандартные условия, рабочие условия, бюджет неопределенности.

European experience of analysis of vagueness, general approaches and differences which exist in different documents in relation to the analysis of vagueness at measuring of charges and gas amount, come into a question. The analysis of the modern state of application is carried out in Ukraine of the European going near the evaluation of vagueness at calibrations of facilities of measuring of expense and gas amount.
Keywords: expense of gas, calibration, vagueness, gas amount, standard terms, workings terms, budget of vagueness.

Для оцінювання невизначеностей при вимірюванні витрати і кількості газу в Європі на даний момент застосовують два основні документи: «Guide to the expression of uncertainty in measurement» [1] (прийняте скорочення – GUM) та ISO 5168 [2]. Існує ще один практичний документ – рекомендації EA-4/02 [3], створені Європейською асоціацією з акредитації EAL (European Accreditation Cooperation for Laboratories) для акредитації калібрувальних лабораторій [4].

У перелічених документах відображені сучасні підходи до аналізу невизначеності, основою яких є тлумачення невизначеності як кількісної міри відсутньої інформації. При проведенні вимірювань ми здійснюємо спостереження за об'єктом або системою, про які нам потрібна інформація. Чим більше вимірювань ми проводимо, тим більше інформації отримуємо. Оскільки об'єкт вимірювання найчастіше описується змінними у часі параметрами, а інтервал часу для вимірювання цих параметрів є обмеженим, це призводить до неможливості збору повної інформації про систему. З цих причин вводиться поняття величини, яка описує кількість відсутньої інформації – невизначеність.

У даній статті обговорюється європейський досвід проведення аналізу невизначеності, спільні підходи та відмінності, які існують у різних документах стосовно цього питання, а також наводиться приклад аналізу невизначеності при вимірюванні кількості газу за допомогою турбінного лічильника. На завершення, проводиться аналіз сучасного стану застосування в Україні європейських підходів до оцінювання невизначеності при калібруваннях засобів вимірювання, в т.ч. лічильників газу.

Для оцінювання невизначеності наводиться процес вимірювання турбінним лічильником газу (далі – ЛГ) об'єму природного газу, який

через нього проходить для потреб комерційного обліку. Електронний коректор з входами для вимірювальних сигналів давачів тиску і температури газу застосовується з ЛГ для того, щоб перетворити виміряне ЛГ значення об'єму газу за робочих умов на значення об'єму за нормальних (стандартних) умов V_{n}. Вимірювальна система схематично зображена на рис. 1. Калібрувальні криві засобів вимірювання (об'єму, тиску, температури) занесені попередньо в пам'ять коректора. Це означає, що на відомі відхилення вносяться корекції, проводиться розрахунок коефіцієнта стисливості.

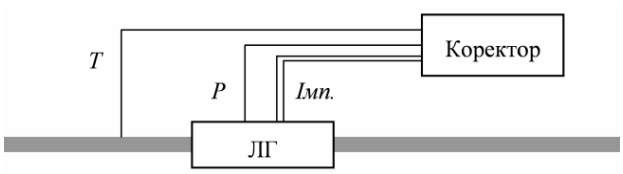


Рисунок 1 – Схематична структура системи комерційного обліку природного газу високого тиску

До стандартної процедури оцінювання невизначеності входить складання математичної моделі вимірювального процесу. Оскільки вимірювання потоку газу є неперервним процесом, розбитим на безліч малих інтервалів, вводиться припущення, що в межах цих інтервалів усі параметри процесу є усталеними. Припускається також, що трубопровід і корпус лічильника є абсолютно жорсткими, не піддаються деформаціям і їх розміри не змінюються із зміною температури і тиску. В такому випадку перетворення об'єму за робочих умов та приріст об'єму за нормальних (стандартних) умов базується на законі збереження маси у відповідний момент часу, тобто

$$\rho_1 \Delta V_1 = \rho_2 \Delta V_2 , \qquad (1)$$

де ρ_1, ρ_2 – густина газу за робочих і нормальних умов, відповідно; ΔV_1, ΔV_2 – прирости об'єму газу за робочих і нормальних умов, відповідно.

Значення густин визначаються за допомогою рівняння стану реального газу:

$$P = Z_i \rho_i R_a T , \ (i = 1,2), \qquad (2)$$

де P – абсолютний тиск; T – абсолютна температура; $R_a = R / M$ – специфічна газова стала (для повітря або природного газу), яка визначається як відношення універсальної газової сталої R до молярної маси M газової суміші; Z – коефіцієнт стисливості реального природного газу, який залежить від P, T та хімічного складу газу.

Величина, яка отримується при калібруванні такої вимірювальної системи – це відносне відхилення турбінного лічильника газу e_m (по суті – відносна похибка ЛГ). Ця величина визначається як відносна різниця між кількістю газу, яка вимірюється ЛГ, та кількістю газу, яка насправді через нього протікає, тобто

$$e_m = \frac{\Delta V_m}{\Delta V_1} - 1 , \qquad (3)$$

де приріст об'єму ΔV_m визначається з кількості імпульсів ΔN_m, отриманих за певний проміжок часу, та коефіцієнта перетворення лічильника I_m таким чином:

$$\Delta V_m = \Delta N_m / I_m . \qquad (4)$$

Підстановка рівнянь (3)–(4) у рівняння балансу (1) дозволяє отримати наступну результуючу формулу для приросту об'єму ΔV_n, приведеного до нормальних (стандартних) умов:

$$\Delta V_n = \frac{P_m}{P_n} \frac{Z_n}{Z_m} \frac{T_0}{(T_0 + t_m)} \frac{\Delta N_m}{I_m} \frac{1}{(1 + e_m)} , \qquad (5)$$

де P_{m} – відповідно значення абсолютного тиску за робочих умов; $P_{\text{n}} = P_0 = 101{,}325$ кПа – нормальний (стандартний) тиск; t_{m} – температура газу в °С за робочих умов; $T_0 = 273{,}15$ К.

Загальне значення об'єму, приведеного до нормальних (стандартних) умов, дорівнює сумі усіх приростів об'єму.

Усі засоби вимірювання калібровані у лабораторії, оснащеній відповідними еталонами. У сертифікатах калібрування, які надаються цією лабораторією, для усіх засобів вимірювання вказується відхилення (похибка) та розширена невизначеність (невизначеність, яка представлена у вигляді подвійного стандартного відхилення). Ці значення вказані для певних умов калібрування. Якщо засіб вимірювання буде застосовуватись в робочих умовах, відмінних від умов калібрування, вказаних у сертифікаті, то внаслідок цього можуть виникати додаткові складові невизначеності.

Для прикладу, візьмемо такі значення [5]: невизначеність калібрування ЛГ становить 0,27%. Під час первинної повірки коректора встановлено, що відхилення V_{n} є меншими за 0,15%. Це означає, що існують відомі нескориговані відхилення, що призводить до

додаткової невизначеності 0,30%. Невизначеність алгоритму розрахунку коефіцієнта стисливості становить 0,10%.

Внаслідок залежності коефіцієнта стисливості Z від температури і тиску, мають місце коваріації. Цими коваріаціями у даному прикладі можна знехтувати через те, що прямий вплив невизначеностей тиску P і температури T буде значно більшим, ніж додатковий вплив через коефіцієнт Z.

Для того, щоб оцінити невизначеність результату калібрування в GUM пропонується розглянути ряд джерел невизначеності [1]. Ці джерела наведені нижче у вигляді списку. Букви, якими маркуються позиції у списку, будуть використані в тексті як посилання:

b - недосконала реалізація визначення вимірюваної величини;

d - впливи умов оточуючого середовища відомі не достеменно, або виміряні недосконало;

f - скінченна роздільна здатність приладу;

g - неточні значення вимірювальних еталонів або еталонних взірців;

i - апроксимації та припущення, що входять до складу методу і процедури вимірювання;

j - варіація при повторних спостереженнях вимірюваної величини за однакових умов проведення експерименту.

7 - невизначеність внаслідок незастосування корекцій, до якої входить лінійна інтерполяція між запрограмованими точками калібрування.

Для даного процесу вимірювання кількості газу оцінки невизначеностей змінних величин наведені в табл. 1. Для кожної змінної вказано виміряне значення, коефіцієнт чутливості, джерела невизначеності та оцінки її невизначеності. Джерела невизначеності показані в табл. 1 цифрами і буквами, які відповідають джерелам невизначеності. Таку таблицю в європейській практиці прийнято називати «бюджетом невизначеності». Складання бюджету невизначеності передбачено процедурою оцінювання невизначеності, що дозволяє зручно згрупувати дані та відобразити схему утворення невизначеності при калібруванні у зручний для користувача спосіб. З табл. 1 видно, що серед усіх джерел невизначеності можна виокремити два основних: похибка ЛГ та невизначеність через невикористання коригувань.

На даний момент в Україні немає національного документа, у якому чітко прописувалася б процедура оцінювання невизначеності при калібруванні ЛГ. В державі діє міждержавний стандарт ГОСТ 8.324-2002 [6], який описує методику повірки лічильників газу різних типів, а також група «гармонізованих» стандартів на основі EN [7, 8, 9], які являють собою технічні умови, і включають в тому числі і вимоги до проведення випробувань турбінних, роторних та мембранних ЛГ, відповідно. Для побутових ЛГ різних типів діє ДСТУ 3607-97 [10]. В жодному з цих документів про оцінювання невизначеності при калібруванні не згадується взагалі.

Таблиця 1 – Бюджет невизначеності калібрування турбінного ЛГ [5]

Змінна x_i	Значення $[x_i]$	Коеф-т чутлив. c_i	c_i $[x_i]^{-1}$	Джерело невизн.	$u(x_i)$ $[x_i]$	$u_i(\Delta V_m)$, $[м^3]$	$u_i(\Delta V)/$ $\Delta V,\%$
P_m, МПа	36,25	$\Delta V_n / P_m$	2,8	(*d*) (*g*) (*j*)	0,0181 0,0181 0,0036	0,072	0,07
P_n,МПа	1,01325			-			
Z_n	0,9997	$\Delta V_n / Z_n$	100	(*i*)	0,000999	0,1	0,1
Z_m	0,9752	$-\Delta V_n / Z_m$	-100	(*i*)	0,000975	0,1	0,1
T_0, °C	273,15			-			
t_m, °C	15,35	$-\Delta V_n / (T_0 + t_m)$	-0,35	(*d*) (*g*) (*j*) (*b*)	0,05 0,05 0,05 0,02	0,031	0,03
ΔN_m	19384,63	$\Delta V_n / \Delta N_m$	-0,028		0	0	0,00%
I_m, $м^{-3}$	6646,16			-			
e_m, %	+0.25	$-\Delta V_n / (1 + e_m)$	-100	(*g*)	0,0027	0,27	0,27
ΔV_n, $м^3$				7	0,303	0,3	0,3
ΔV_n, $м^3$	101,02					0,44	0,43

Таким чином, згідно чинних в Україні документів, при повірці оцінювання невизначеності не проводиться, а для калібрувань засобів, замовниками яких виступають українські фірми чи організації, оцінювання невизначеності та складання бюджету невизначеності залишається додатковою опцією. Якщо така послуга замовляється, розрахунок невизначеності проводиться за методикою, описаною в російському документі РМГ 43-2001 [11], який по суті є тлумаченням GUM. Ця послуга зазвичай не включається до вартості калібрування і тарифікується вимірювальними лабораторіями окремо. Така сама ситуація є і з калібруванням/повіркою засобів вимірювання усіх додаткових параметрів, які визначаються при калібруванні ЛГ та входять складовими до їх бюджету невизначеності: тиску, температури, хімічного складу газу тощо.

В Україні зараз ведеться робота над створенням гармонізованого документу ДСТУ ISO 5168. Цей документ являтиме собою прямий переклад ISO 5168: 2005. Роботи по створенню документу можна знайти у Плані національної стандартизації України на 2008 р. (публікується на сайті Держспоживстандарту України в розділі: технічне регулювання стандартизація план національної стандартизації). Виконавець робіт – Укрметртестстандарт. На даний час документ знаходиться на стадії затвердження, яке повинно бути проведено до кінця 2009 р., а офіційне видання документу планується на 2010 р.

ВИСНОВКИ

На даний момент в Україні немає стандарту, який обумовлює процедуру аналізу невизначеності при калібруванні або повірці ЛГ. В Європі основним документом рівня міжнародного стандарту, який обумовлює процедуру аналізу невизначеності при калібруванні засобів вимірювання, залишається GUM [1].

Для аналізу процедур калібрування, які входять до складу документів системи якості калібрувальних лабораторій (наприклад, згідно ISO 17025:2006), застосовуються рекомендації EA-4/02 [3], створені Європейською асоціацією з акредитації EAL.

Одним з основних припущень, на яких базується GUM, є те, що на відомі відхилення вноситься корекція. Якщо корекції не вносяться – інформація втрачається. Це призводить до появи додаткової невизначеності, що дорівнює подвійному абсолютному значенню відхилення. Коефіцієнт 2 є результатом представлення невизначеності як еквівалента подвійного стандартного відхилення.

Для розрахунку невизначеності при калібруванні або повірці лічильників газу в Україні та державах СНД на даний момент доцільно користуватися документом РМГ 43-2001 [10], доки не буде видано новий гармонізований ДСТУ ISO 5168.

Guide to the expression of uncertainty in measurement (BIPM/IEC/IFCC/ISO/IUPAC/ IUPAP/OIML : 1993). 2. Measurement of fluid flow – Procedures for the evaluation of uncertainties: Second Edition (ISO 5168: 2005). 3. Guidelines for the expression of the uncertainty of measurement in calibrations, Revision of WEEC (Doc.19 :1990) : EA-4/02: 1997. 4.Guidelines for the expression of the uncertainty of measurement in calibrations (WEEC Doc. 19: 1990). 5. Recent developments in the uncertainty analysis of flow measurement processes / J.G.M. Grinten, van der. // Proceedings of the North Sea Flow Measurement Workshop, Kristiansand, Norway, 1997. 6. Счетчики газа. Методика поверки: ГОСТ 8.324-2002. 7. Лічильники газу турбінні. Загальні технічні умови : ДСТУ EN 12261:2002. 8. Лічильники газу роторні. Загальні технічні умови : ДСТУ EN 12480:2002.9. Лічильники газу мембранні. Загальні технічні умови: ДСТУ EN 3867:1999. 10. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань: ДСТУ 3607:1997. 11. Применение руководства по выражению неопределенности измерений: РМГ 43:2001. – Минск: ИПК, Издательство стандартов, 2001.

Поступила в редакцію 28.10.2009р.

Рекомендував до друку докт. техн. наук, проф. каф. МПКЯ і СП Середюк О.Є.