

Аналіз стану вимірювання витрати природного газу методом змінного перепаду тиску

Г. Коваль, кандидат технічних наук, доцент, ректор інституту підготовки фахівців, ДП «УкрНДНЦ проблем стандартизації, сертифікації та якості», м. Київ
І. Омельчук, ДП «Житомирстандартметрологія», м. Житомир

Анализ состояния измерения расхода природного газа методом переменного перепада давления

Г. Коваль, кандидат технических наук, доцент, ректор института подготовки специалистов, ГП «УкрНИУЦ проблем стандартизации, сертификации и качества», г. Киев
 И. Омельчук, ГП «Житомирстандартметрология», г. Житомир

Analysis of the Status Concerning Natural Gas Flow Measurement with Differential Pressure Method

G. Koval, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Rector of the Experts Training Institute, «Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality Problems» State Enterprise, Kyiv
 I. Omelchuk, «Zhitomyrstandartmetrologia» State Enterprise, Zhytomyr

У статті виконано аналіз наукових публікацій вітчизняних фахівців щодо метрологічного забезпечення обліку природного газу. Окреслено напрямки подальших досліджень.

Газотранспортна система (ГТС) України — одна з найбільших у світі — виконує дві основні функції: забезпечення природним газом внутрішніх споживачів та транзит природного газу через територію України в країни Західної та Центральної Європи.

Пропускна здатність ГТС на вході становить приблизно 288 млрд. м³, на виході — 178 млрд. м³ газу на рік, зокрема 142 млрд. м³ у європейські країни. Слід зазначити, що проектні показники не є тільки теоретичними, вони фактично підтверджуються. В осінньо-зимові періоди ГТС України забезпечувала транзит газу в Європу на рівні 140 млрд. м³ на рік.

Із метою збереження конкурентоспроможності та привабливості ГТС України для експортерів газу розроблено й упроваджуються програми реконструкції компресорних станцій, лінійної частини системи, газорозподільних і газовимірювальних станцій, метою яких є підтримання параметрів ГТС України на сучасному світовому рівні.

Основними транзитними напрямками ГТС України є і залишатимуться магістральні газопроводи «Союз», Уренгой — Помари — Ужгород, «Прогрес» та система газопроводів Єлець — Кременчук — Ананьїв — Ізмаїл.

Проблема надійності та точності обчислення об'єму газу є основною у міжнародних документах — Європейській Енергетичній Хартії та Європейській Директиві по газу. Абсолютно очевидно, що за наявного об'єму транспортування на-

віть найменша похибка вимірювання має вирішальне значення та спричиняє значні економічні наслідки. Тому особливо актуальним є аналіз усіх можливих чинників, що впливають на вимірювання витрати газу, та їх врахування під час обчислення сумарної похибки. Саме тому, на сьогоднішній день існує багато практичних і наукових розробок, пов'язаних із витратометрією природного газу та розрахунком складників похибки.

У теоретичній та практичній метрології все ширше застосовують поняття «невизначеність вимірювання» для оцінювання якості та точності результатів вимірювання. В Україні це поняття було уведено у ДСТУ 2681-94 [1] та Законі України про метрологію та метрологічну діяльність [2].

Основні чинники, що впливають на невизначеність вимірювання витрати газу:

- невизначеність вимірювання лінійних розмірів трубопроводу та звужувального пристрою;
- невизначеність вимірювання тиску та перепаду тиску;
- невизначеність вимірювання фізико-хімічного складу газу;
- невизначеність вимірювання термодинамічної температури;
- похибки, що виникають під час обчислення фізичних характеристик природного газу [3].

За кожним із цих складників проведено окреме наукове дослідження відомими науковцями у галузі видобування, транспортування та перероблення природного газу та нафти. У роботі [4] розглянуто ►

питання обчислення невизначеності вимірювань витрати й кількості сухої частини вологого газу методом змінного перепаду тиску.

У багатьох країнах світу виконують обчислення не за кількістю газу, яку отримав споживач, а за його якісною характеристикою, такою як енерговміст. Витрата енерговмісту газу залежить від витрати газу. Вологість газу зменшує його питому теплоту згорання, а отже — і енерговміст, а значить урахування цього чинника під час вимірювання витрати та кількості сухої частини вологого газу є актуальною проблемою сьогодення. Обчислення невизначеності результату вимірювань витрати та кількості газу розроблено тільки для сухого газу. Автором було сформульовано основні засади та отримано рівняння для обчислення невизначеності вимірювання витрати та кількості сухої частини вологого газу за методом змінного перепаду тиску [4].

У науковій праці [5] було розроблено основні засади вимірювання витрати сухої частини вологого газу, нові математичні моделі обчислення перепаду тиску на пристрої звужування потоку, коефіцієнта розширення сухої частини вологого газу та отримано рівняння для обчислення витрати сухої частини вологого газу за методом змінного перепаду тиску.

Основна відмінність сухої частини вологого газоподібного середовища від сухого газоподібного середовища полягає у тому, що остання не містить водяних парів. Отже, парціальний тиск сухого середовища є меншим, ніж вологого, що неодмінно впливає на його рух через звужувальний пристрій. Урахування цього чинника під час виведення рівняння обчислення витрати сухої частини вологого газу було поставлено автором за мету дослідження [5].

Установлення якісного та кількісного впливу теплового режиму потоку газу на виміряні витрату та об'єм стало метою праці [6]. Ціллю також було визначення залежності для обчислення додаткових похибок вимірювання температури й відповідних їм похибок вимірювання витрати, та формулювання рекомендації для усунення цих додаткових похибок та підвищення точності обліку природного газу.

Одним з основних завдань під час вимірювання витрати газу та приведення його об'єму до нормальних умов є визначення його температури, бо газ є стискуваною речовиною. Оскільки на похибку вимірювання температури впливає цілий ряд чинників, то цю наукову роботу і присвячено огляду, аналізу та оціненню їх впливу. Похибка вимірювання температури газу, зумовлена теплообміном між гільзою термоперетворювача та стінкою трубопроводу, виникає внаслідок неоднакової температури між зануреною у газ гільзою та стінкою трубопроводу (температурного напору), що утворює теплообмін між

ними. Цей теплообмін здійснюється теплопровідністю та випромінюванням. Також температура газу у трубопроводі змінюється внаслідок теплообміну між потоком газу та навколишнім повітрям через стінку трубопроводу, тому температура газу в місці встановлення пристрою звуження потоку (ПЗП) відрізняється від температури газу в місці встановлення термоперетворювача. Похибка вимірювання температури газу, зумовлена дроселюванням газу під час протікання через ПЗП, виникає у разі встановлення термоперетворювача після ПЗП. Похибка зумовлена дією ізотермічного процесу, через що відбувається коливання температури газу внаслідок звуження струменя потоку газу під час його протікання крізь ПЗП та наступного розширення струменя потоку.

Авторами проаналізовано вплив інерційності термоперетворювача на похибку вимірювання температури газу у випадку її періодичної зміни. Результатом роботи є розроблення ряду технічних заходів, покликаних усунути причини виникнення похибок вимірювання. Загалом вжиття запропонованих у цій роботі заходів дає змогу усунути додаткові похибки вимірювання температури газу й значно підвищити точність його обліку [6].

У роботі [7] було розглянуто похибки вимірювання витрати та кількості природного газу за допомогою витратомірів змінного перепаду тиску за нестационарного руху потоку.

Рух газу у вимірювальному трубопроводі є не завжди усталеним. На це впливає ряд чинників — режим споживання, пульсації, що виникають у компресорних станціях, пульсації, що виникають в імпульсних трубках вимірювачів перепаду тиску, пульсації тиску, зумовлені суміжними гілками трубопроводу, перехідні температурні режими тощо.

Автори цієї роботи провели дослідження та аналіз похибок визначення усередненого значення витрати газу на основі моделей сигналів перепаду тиску. Було проведено дисперсійний аналіз тиску та похибок вимірювання його перепаду і виявлено, що неврахування відносних перепаду тиску та дисперсій тиску відповідно завищують середнє значення витрати. Завищення витрати, знайденої за усередненими значеннями, є більшим, що більшими є дисперсії сигналів тиску та перепаду тиску.

Проведено аналіз та обґрунтовано, що імпульсна лінія вимірювального перетворювача перепаду тиску характеризується незначною інерційністю (стала часу дорівнює приблизно 0,01 с), однак збільшення значення сталої часу додаткового (програмного) фільтра призводить до збільшення відносної похибки вимірювання миттєвих значень перепаду тиску, а також до збільшення відносної різниці середніх значень нефільтрованого та фільтрованого сигналів

перепаду тиску. Авторами проаналізовано вплив додаткового фільтра та його сталості часу на сумарну похибку вимірювання витрати. У ході роботи було сформульовано конкретні рекомендації, щодо покращання роботи систем обліку, застосованих для вимірювання витрати та об'єму швидкозмінних потоків природного газу [7].

Під час обчислення витрати природного газу важливу роль відіграють його фізичні властивості, які залежать від температури, хімічного складу та тиску. Для обчислення показників фізичних властивостей природного газу та порівняння результатів обчислення за різними методами у Національному університеті «Львівська політехніка» розроблено програму «Газ-ФВ» обчислення фізичних характеристик природного газу. Програма виконує розрахунок коефіцієнта стискуваності, показника адіабати, в'язкості, густини, швидкості звуку, охоплює методи чинних стандартів щодо обчислення фізичних характеристик природного газу та деякі інші методи, зокрема розроблені у НУ «Львівська політехніка». Методи для програмної реалізації вибрано так, що програма дає змогу обчислити розглянуті фізичні характеристики чи за відомим повним компонентним складом газу, чи за його спрощеними даними (густина у стандартних умовах ρ , вміст азоту та вуглекислого газу за стандартних умов) у діапазоні тиску від 0,1 МПа до 25 МПа та діапазоні температури принаймні від 250 К до 325 К [8].

Не залишаються осторонь цієї тематики й метрологічні центри. Так, у статті [9] поряд з іншими питаннями було проаналізовано та встановлено основні чинники, які обмежують точність вимірювання, удосконалено, порівняно із зарубіжними аналогами, математичну та метрологічну моделі створюваного державного вторинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на базі установки еквівалентного витіснення рідини у частині визначення чинника дії виштовхувальної сили під час зважування мастила та густини навколишнього повітря, розроблено та впроваджено у метрологічну практику нову повірочну схему із використанням вторинних еталонів та еталонів передавання, а також методологію передавання розміру одиниць об'єму та об'ємної витрати газу від державного еталона до вторинних та робочих еталонів методом прямих вимірювань та методом безпосереднього звірення, який є найточнішим у метрологічній практиці і дає змогу виявити систематичні складники похибки еталонів, а також забезпечує проведення міжнародних звірень державного еталона. Втілення цих розробок значно покращить метрологічне забезпечення у сфері витратометрії природного газу [9].

Розрахунок невизначеності вимірювань під час оцінення точності засобів вимірювальної техніки

(ЗВТ) присвячено роботу групи науковців [10]. У роботі розглянуто питання особливостей застосування методів теорії невизначеності вимірювань. У результаті проведеного аналізу настанов і рекомендацій міжнародних організацій щодо визначення понять простежуваності та невизначеності вимірювань було показано процес розрахунку невизначеності вимірювань та на конкретних прикладах розглянуто особливості концепцій представлення результатів вимірювань у вигляді похибки вимірювань та невизначеності вимірювань.

Результатом цієї роботи став аналіз наявних підходів оцінок точності ЗВТ відповідно до концепції невизначеності та простежуваності вимірювань, було розглянуто основні положення понять «похибка» і «невизначеність» разом з їхніми концепціями. На основі вище перерахованих результатів було наведено етапність отримання значень невизначеності вимірюваної величини, та описано методикою оцінення вимірюваної величини та її невизначеності. Як демонстраційний матеріал було наведено результати міжнародних звірень електrolітичної провідності, зокрема оцінення розширеної невизначеності. Одним із ключових моментів, у ході написання даної роботи було поняття передавання розміру одиниці.

Саме питанню передавання розміру одиниці, простежуваності результатів вимірювання та гармонізації на національному рівні термінологічних стандартів із загальноприйнятою на міжнародному рівні термінологією щодо простежуваності вимірювань присвячено статтю [11]. У статті розглянуто основну термінологію, положення, напрямки і сучасні тенденції, що забезпечують простежуваність вимірювання, описано основи простежуваності вимірювань для різних рівнів метрологічних робіт, а також показано важливість невизначеності вимірювання як елемента забезпечення їхньої простежуваності. Порушено питання сучасних способів забезпечення простежуваності вимірювання. Оскільки останнім часом значну увагу приділяють питанням впливу та впровадженню сучасних інформаційних технологій у метрологічну практику, електронна простежуваність (e-traceability чи e-trace) калібрування ЗВТ знаходить своє поширення завдяки малим термінам реалізації таких послуг, зменшення їх вартості, можливості всевітнього застосування та прийнятної точності. Цю організаційно-технічну систему вже легалізовано у деяких країнах, і їхні уряди виділяють значні бюджетні кошти на реалізацію таких проектів.

У висновках автор зазначив необхідність і доцільність гармонізації на національному рівні термінологічних стандартів із загальноприйнятою на міжнародному рівні термінологією щодо простежуваності вимірювань, гармонізацію національних нормативно-правових актів і НД з метрології з положеннями ▶

настанов і рекомендацій міжнародних і регіональних метрологічних організацій з питань звірень еталонів і калібрування ЗВТ, необхідність суворо дотримуватись вимог гармонізованого на національному рівні міжнародного стандарту ISO/IEC 17025, який регламентує положення щодо компетентності акредитованих лабораторій.

З огляду на перераховані вище наукові праці, на нашу думку, доцільним є продовження дослідження у сфері витратометрії природного газу. Подаючи результат вимірювання будь-якої величини, необхідно кількісно оцінити якість вимірювань, без такого оцінення результати вимірювань неправомірно порівнювати.

Згідно з ДСТУ 2681-94 (5.15) [1] невизначеність вимірювань визначається як оцінка, що характеризує діапазон значень, в якому є істинне значення вимірюваної величини.

Згідно з ДСТУ 2681-94 (8.16) [1] передавання розміру одиниці (traceability) — це зведення одиниці фізичної величини, яка відтворюється або зберігається ЗВТ, що повіряється, до розміру одиниці, що відтворюється або зберігається еталоном, зразковим ЗВТ, яке відбувається під час їхнього звірення (повірки). Іншими словами, властивість результату вимірювання або значення еталона, за якого цей результат можна пов'язати із визначеними еталонами, зазвичай, національними чи міжнародними, застосовуючи неперервний ланцюг звірень, які мають відомі невизначеності. Оцінюючи невизначеність вимірювання як елемент забезпечення передавання розміру одиниці (простежуваності), на різних рівнях метрологічних робіт необхідно максимально повно урахувати всі можливі складники загальної невизначеності, які б охоплювали компоненти невизначеності робочих еталонів і процесів калібрування робочих ЗВТ на етапі експлуатації.

Зважаючи на перераховане вище, можна зробити висновок, що аналіз складників розширеної не-

значеності та їх систематизація для подальшого використання в обчисленнях розширеної невизначеності вимірювань є важливим завданням сьогодення. Також вбачається необхідність прийняття єдиного загальноприйнятого переліку чинників впливу та протоколу, що їх би відображав. Для покращання роботи із протоколом усі дані та розрахунковий блок мають бути у формі кінцевого програмного продукту з інтерфейсом користувача та автоматичним формуванням протоколу затвердженого зразка з усіма вхідними даними та розрахованими результатами. Такий підхід дасть змогу досягнути більшої конкретизації у сфері витратометрії природного газу із положеннями настанов і рекомендацій міжнародних і регіональних метрологічних організацій з питань звірень еталонів і калібрування ЗВТ.

Автори провели теоретичні дослідження щодо необхідності урахування коефіцієнта кінематичної в'язкості природного газу як одного із складників під час обчислення невизначеності вимірювання витрати природного газу методом змінного перепаду тиску, оскільки розрахунок залежності роботи, витраченої на подолання сил тертя (L_{mp}) від температури газу, його тиску та діаметру трубопроводу не до кінця розкрито. У розрахунковому рівнянні [3] L_{mp} прийнято за нульове значення, що не є цілком коректно у фізичному змісті, оскільки робота на подолання сил тертя між шарами газу відбувається і залежить від температури газу та його фізико-хімічних властивостей [13].

Таким чином, урахування цього складника, що характеризується коефіцієнтом кінематичної в'язкості газу, дасть змогу покращити точність розрахунку витрати природного газу методом змінного перепаду тиску та оптимізувати розрахунок невизначеності результату вимірювання внаслідок охоплення більшої кількості впливних чинників.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 113/98-ВР від 11.02.1998 (зі змінами, внесеними згідно із Законом № 762-IV від 15.05.2003, у редакції Закону № 1765-IV від 15.06.2004). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-вр
3. Пістун Є. П., Лесовой Л. В. Нормування витратомірів змінного перепаду тиску. — Львів: Вид-во ЗАТ «Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв», 2006. — 576 с.
4. Лесовой Л. В. Розрахунок невизначеності результату вимірювань витрати і кількості сухої частини вологого газу за методом змінного перепаду тиску // Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація: Зб. наук. праць № 677 / Відповідальний редактор Є. П. Пістун. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2010. — С. 104 — 113.
5. Лесовой Л. В. Розрахунок витрати сухої частини вологого газу за методом змінного перепаду тиску // Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація: Зб. наук. праць № 712/ Відповідальний редактор Є. П. Пістун. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2011. — С. 112—120. — Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/12368>
6. Матіко Ф.Д. Дослідження впливу температурного режиму потоку природного газу на точність вимірювання

- його витрати методом змінного перепаду тиску [Research the impact of temperature on the gas flow measuring accuracy of its costs by variable pressure drop]. / Ф.Д. Матіко, Р.М. Федоришин // Автоматика, вимірювання та керування: Зб. наук. праць № 574/ Відп. ред. В. Б. Дудикевич. — Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. — С. 29—38. — Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/2175>
7. Матіко Ф.Д. Аналіз похибок витратомірів змінного перепаду тиску в умовах нестационарного потоку / Ф.Д. Матіко, Я.В. Грень, М.Б. Гутник // Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація: Зб. наук. праць №581 / Відп. ред. О. Грабовська. — Л.: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2007. — С. 94—104. — Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/2293>
 8. Матіко Федір Програма розрахунку фізичних властивостей природного газу / Федір Матіко // Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація: Зб. наук. праць № 460 / Відповідальний редактор Є. П. Пісун. — Львів: Вид-во Нац. унів. «Львівська політехніка», 2002. — С. 19—24. — Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/8470>
 9. Петришин І. С. Науково-методологічні та технічні заходи забезпечення точності вимірювань витрати природного газу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.11.01 «Прилади та методи вимірювання механічних величин» / Петришин І. С. — Львів, 2007. — 41 с.
 10. Деякі аспекти простежуваності і невизначеності вимірювань / В.У. Ігнатків, Л.М. Віткін, В.А. Литвиненко, О.І. Білий // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2009. — Вип. 3 (11). — С. 95—104.
 11. Величко О.М. Гармонізація національних нормативних документів щодо простежуваності вимірювань / О.М. Величко // Стандартизація, сертифікація, якість. — 2008. — №1. — С. 25—32.
 12. International vocabulary of basic and general terms in metrology (VIM). (Міжнародний словник основних і загальних термінів у метрології). ISO, 1993.
 13. Капцов І. І. Конспект лекцій з дисципліни «Газопостачання» Ч. 1. «Газопроводи і газосховища. Фізико-хімічні властивості природних газів. Підготовка газу до дальнього транспортування» (для студентів 4—5 курсів денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво» спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція») / І. І. Капцов, А. В. Ромашко. — Х.: ХНАМГ, 2010. — 89 с. ■

Скоротити кількість харчових відходів, застосовуючи стандарти ISO

Щорічно у відходи потрапляє 1,3 млрд тонн харчової продукції. Це еквівалентно сумарній кількості харчового виробництва країн Центральної Африки. Гасло: «Думай. Їж. Заощаджуй» стало темою Всесвітнього дня охорони довкілля, яке щорічно святкується 5-го червня. Його метою є боротьба зі втратами та відходами харчової продукції, а також стимулювання зниження «харчового сліду». Стандарти ISO допомагають досягати цих цілей.

У глобальному масштабі харчове виробництво охоплює 25% заселеної території, споживає 70% прісної води, 80% лісів і відповідає за 30% викидів парникових газів, тому важливо максимально підвищити його ефективність. Застосування стандартів ISO підвищує ефективність і допомагає знизити небажані втрати шляхом гармонізації вимог та оптимізації виробничих процесів.

Перелік стандартів, які можуть допомогти у вирішенні цих питань, включає стандарти управління, призначені для оптимізації процесів: ISO 9001 (якість), ISO 14001 (екологія), ISO 50001 (енергетика). Крім того, стандарт ISO 14051 на облік мате-

ріальних потоків дозволяє компаніям скорочувати втрати і знижувати емісію парникових газів, одночасно покращуючи екологічні показники.

Стандарти ISO на управління водними ресурсами також допомагають економити цінні природні багатства. Майбутній стандарт ISO 14046 на «водний слід» дозволить організаціям відслідковувати споживання водних ресурсів. Триває розроблення стандарту ISO 16075-1 на повторне використання стічних вод для іригації. Урахування 70% запасів прісної води, споживаної під час виробництва харчової продукції, може надати істотний екологічний ефект.

Стандарти ISO 14020, ISO 14021, ISO 14024, ISO 14025 на екологічне маркування можна використовувати задля інформування екологічного впливу, що дозволяє споживачам здійснювати інформований вибір.

Всесвітній день охорони довкілля проводить Програма Організації Об'єднаних Націй з довкілля спільно з Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН (ФАО). ■

За матеріалами www.iso.org