

УДК 681.121

Л.А. Витвицька, С.А. Чеховський

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

МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ КОНДЕНСАЦІЙНОГО ВОЛОГОМІРА ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Запропонована удосконалена конструкція конденсаційного вологоміра, проведено його метрологічний аналіз, оцінена сумарна невизначеність вимірювання температури точки роси природного газу. Обґрунтована доцільність використання удосконаленого вологоміра для контролю якості природного газу.

Ключові слова: конденсаційний вологомір, точка роси, аналізатор вологості, невизначеність.

Вступ

Вимірювання вологості – одна із найважливіших задач при контролі якості природного газу, зокрема, його енерговмісту. З розвитком технологій газорозподілу, нафтохімії і газоперероблення для забезпечення якості продукції, коли вимагається перейти до гранично низьких концентрацій, виникла необхідність у швидкому відгуку аналізатора вологості, в тому числі і для газів змінного складу, при цьому задача вимірювання вологості значно ускладнилася. Особливі труднощі її вирішення виявились там, де необхідне визначення вологості: на потоці, в реальних технологічних газах і при газопереробленні. В цих випадках вимагається прийняття швидкого рішення, наприклад неконтрольований рівень вмісту води може призвести до аварійної ситуації, до отримання неякісного продукту. Складність вимірювання вологості природного газу також полягає у тому, що вона повинна визначатись у вибухонебезпечних умовах при різних тисках [1, 2]. Для природного газу неможливо точно визначити коефіцієнт стисливості, що також ускладнює вимірювання його вологості. Нагромадження цих проблем потребує пошуку таких методів контролю і засобів вимірювання вологості природного газу, які б відповідали таким особливим вимогам. В якості об'єкта дослідження нами вибрано конденсаційний (сорбційний) вологомір, конструкція якого удосконалена та проведено його метрологічний аналіз.

Виклад основного матеріалу

Вимірювання абсолютної вологості газів методом точки роси полягає у визначенні температури, до якої необхідно охолодити при сталому тискові ненасичений газ, для того, щоб він став насиченим. Якщо додатково виміряти температуру газу, то можна визначити і відносну вологість.

У потоці аналізованого газу розташовують металеве дзеркальце, яке охолоджується за допомогою напівпровідникового елемента Пельтьє (термопари). На дзеркальце від джерела світла через лінзу

спрямовується промінь світла, який, відбившись від нього, через другу лінзу потрапляє на фотоелемент. Викликаний у фотоелементі струм підсилюється і через регулятор струму живить елемент Пельтьє. Якщо на дзеркалі відсутня волога, то промінь світла від дзеркала практично повністю відбивається і потрапляє на фотоелемент, викликаючи струм зворотного зв'язку і, відповідно, охолодження дзеркала. Температура дзеркала буде зменшуватися доти, доки на дзеркалі не випаде роса. В цьому випадку на фотоелемент буде потрапляти ослаблений потік світла, струм через елемент Пельтьє буде зменшуватися, а температура дзеркала почне зростати внаслідок нагрівання досліджуванним газом. Це призведе до випаровування роси, збільшення світлового потоку, струму зворотного зв'язку і до охолодження дзеркала. Отже, температура дзеркала буде підтримуватись близькою до температури точки роси, яка вимірюється контактним термоелектричним термометром [3].

Пропонується виконання конденсаційного вологоміра на технологічно сучасній елементній базі. Зокрема, у ролі охолоджуваного елемента конденсаційного вологоміра використано двокаскадну високоефективну термобатарей. Термоелементи першого каскаду у кількості п'яти пар припаяні до системи тепловідводу, що складається із електрично ізольованих один від одного шести латунних брусків, в середині яких є канали для проходження води. Вода подається до термобатарей через штуцери. Система тепловідводу залита епоксидною смолою, завдяки чому утворюється єдиний конструктивно закінчений вузол. Один термоелемент другого каскаду припаяний до подвійних комутаційних пластин, які склеєні між собою епоксидним клеєм. На колектор холодних спаїв другого каскаду у подальшому припаюється металеве дзеркало. Для зменшення зовнішнього впливу термоелементи закриті шаром пінопласту і захищені плексигласовим ковпаком. Дана термобатарея володіє значним виробленням холоду за рахунок послідовного живлення першого і другого каскадів.

У ролі термоелектричного елемента використано мідь-константановий термоелектричний термометр (ТМК), діапазон вимірювальних температур якого складає $-200\dots+100^{\circ}\text{C}$. Мідь володіє великою постійністю термоелектричних властивостей, але має найбільш низьку верхню температурну границю при довготривалому використанні.

Інтервал довіри результату вимірювання зразковим мідь-константановим термоелектричним перетворювачем, що рівна подвоєному значенню середнього квадратичного відхилення результату вимірювань, складає $0,1 - 0,2^{\circ}\text{C}$.

Час встановлення показів такого гігрометра становить декілька секунд.

Для обґрунтування доцільності удосконалення проведений метрологічний аналіз вологоміра на основі розгляду складових сумарної невизначеності вимірювання.

Одним із джерел невизначеності є нагрівання чутливого елемента у давачі температури від підвищення струму.

При вимірюванні температури через чутливий елемент (термометр опору) проходить вимірювальний струм, який спричиняє виділення теплової потужності в чутливому елементі, в результаті чого відбувається паразитне нагрівання чутливого елемента, що призводить до завищення показів і зміни вихідного сигналу.

Струм, що протікає через термоопір, може змінюватися на $\pm 0,02\%$. Оскільки нелінійність вимірювання на всьому діапазоні є однаковою, то прийнято гіпотезу про рівномірний закон розподілу даної невизначеності.

Так, згідно з [4] отримаємо:

$$u_{\text{стр}} = \frac{2 \cdot 0,02}{2\sqrt{3}} = 0,012\% . \quad (1)$$

Нелінійність характеристики термоопору також є джерелом невизначеності. Згідно з паспортними даними стандартного термоопору відносна його похибка, зумовлена нелінійністю статичної характеристики, складає $0,25\%$, що приводить до зміни вихідного сигналу давача в інтервалі $\pm 0,005\%$. Оскільки нелінійність на всьому діапазоні вимірювання є однаковою, то прийнято рівномірний закон розподілу даної невизначеності. Тому, отримаємо:

$$u_{\text{терм}} = \frac{2 \cdot 0,005}{2\sqrt{3}} = 0,003\% . \quad (2)$$

Також джерелом невизначеності термометра опору є вплив опору з'єднувальних провідників. Внаслідок недосконалого розміщення термоопору виникає вплив місцевого нагріву. При опорі провідників не більше 1% від номінального значення термоопору це еквівалентно зміні струму на $0,02\%$. Оскільки імовірність зміни опору на всьому діапа-

зоні вимірювання є однаковою, то прийнято рівномірний закон розподілу даної невизначеності.

$$u_{\text{з.пр}} = \frac{0,02 + 0,2}{2\sqrt{3}} = 0,0115\% . \quad (3)$$

Невизначеність системи охолодження дзеркала пов'язана в першу чергу із інерційністю роботи термобатарей, а також неідентичністю роботи термомпар, з'єднаних у термобатарей. Також в часі відбувається зміна термоелектричної характеристики термомпари.

Тому діапазон зміни показів вологоміра в залежності від нестабільності параметрів термобатарей на основі [2] можна вважати $\pm 0,1\%$ з врахуванням стабільності характеристик матеріалів, з яких виготовлені термомпари.

Оскільки закон розподілу зміни цих параметрів є невідомий, то приймаємо рівномірний закон розподілу.

$$u_{\text{терм}} = \frac{2 \cdot 0,1}{2\sqrt{3}} = 0,06\% . \quad (4)$$

Невизначеність з'єднувальних провідників, яка викликана зміною їх опорів при зміні сили струму, визначається аналогічно невизначеності з'єднувальних провідів термоопору, тобто вона складає $0,0115\%$.

Також на сумарну невизначеність буде впливати невизначеність підсилювача, яка пов'язана із зміною його коефіцієнта підсилення в залежності від зміни поданого на його вхід сигналу.

Для зменшення цієї невизначеності використовуються елементи з високо стабілізованими R, C, L-параметрами. Тому зміну інформативного сигналу, а, значить, показів вологоміра у залежності від стабільності роботи підсилювача можна вважати рівною $\pm 0,2\%$.

При рівномірному законі розподілу.

$$u_{\text{підс}} = \frac{2 \cdot 0,2}{2\sqrt{3}} = 0,116\% . \quad (5)$$

Для невизначеності системи охолодження характерна і ще одна невизначеність, яка виникає внаслідок дискретності, яка викликана інерційністю та нелінійністю, а також дискретністю регулятора струму, що визначають необхідність плавно змінного регулятора струму. Це дозволяє не враховувати дану невизначеність за умови її істотно малого характеру.

Невизначеність процедури переведення значень сигналу з термоопору в значення відносної вологості, пов'язана із дискретністю табличних значень температури точки роси і відповідних значень вологості. Вплив даної невизначеності можна вважати в межах $\pm 0,2\%$. При рівномірному законі розподілу

$$u_{\text{проц}} = \frac{2 \cdot 0,2}{2\sqrt{3}} = 0,116\% . \quad (6)$$

Невизначеність оптичної системи пов'язана із аберацією лінз.

Для стандартних лінз ця величина складає $\pm 0,5\%$.

Тому з врахуванням нормального закону розподілу невизначеність складе:

$$u_{\text{лінзи}} = \frac{2 \cdot 0,5}{6} = 0,17\% . \quad (7)$$

Шорсткість поверхні дзеркала сама впливає на розсіювання пучка випромінювання, що дає додаткову невизначеність при розсіюванні крапельками роси.

Тому з врахуванням сучасних можливостей виготовлення дзеркальних поверхонь шорсткість металевого дзеркальця вплине на зміну вологості в межах $\pm 0,1\%$.

Оскільки цей параметр відноситься до невизначеності, пов'язаної із геометричними розмірами, то можемо прийняти трикутний закон розподілу його зміни, тому

$$u_{\text{шорст}} = \frac{0,1 + 0,1}{2\sqrt{6}} = 0,04\% . \quad (8)$$

Нелінійність характеристики фотодіода передбачає появу невизначеності, яка при роботі фотодіода в режимі прямолінійної ділянки його характеристики складе не більше $\pm 0,3\%$.

З врахуванням рівномірного закону розподілу:

$$u_{\text{фотод}} = \frac{2 \cdot 0,3}{2\sqrt{3}} = 0,17\% . \quad (9)$$

Здійснивши аналіз всіх невизначеностей, можна визначити сумарну стандартну невизначеність вологоміра, яка обчислюється згідно з [4] як корінь квадратний із суми квадратів вище описаних джерел невизначеності:

$$u_c = \sqrt{0,012^2 + 0,003^2 + 0,0115^2 + 0,06^2 + 0,0115^2 + 0,116^2 + 0,116^2 + 0,17^2 + 0,04^2 + 0,17^2} = 0,71\% .$$

Висновки

Розраховане значення невизначеності конденсаційного вологоміра удосконаленої конструкції підтверджує можливість вважати описаний вологомір придатним для експлуатації в умовах технологічних режимів як безпосередньо при транспортуванні, так і при переробленні природного газу із забезпеченням високих його якісних показників, які визначаються його вологістю.

Список літератури

1. Фарзана Н.Г. Технологические измерения и приборы / Н.Г. Фарзана, Л.В. Илясов, А.Ю. Азимзаде. – М.: Вища школа, 1989. – 456 с.
2. Контроль состава и качества природного газа / В.М. Плотников, В.А. Подрешетников, В.В. Радкевич, Л.Н. Тетеревятников. – Л.: Недра, 1983. – 191 с.
3. Поліщук С.С. Метрологія та вимірвальна техніка / С.С. Поліщук. – Л.: Бескид Біт, 2003. – 543 с.
4. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях. Учеб. пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х., Консум, 2002. – 256 с.

Надійшла до редколегії 19.12.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.С. Кісіль, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНДЕНСАЦИОННОГО ВЛАГОМЕРА ПРИРОДНОГО ГАЗА

Л.А. Витвицкая, С.А. Чеховский

Предложена усовершенствованная конструкция конденсационного влагомера, проведен его метрологический анализ, рассчитана суммарная неопределенность измерения температуры точки росы газа. Обоснована целесообразность использования усовершенствованного влагомера для контроля качества природного газа.

Ключевые слова: конденсационный влагомер, точка росы, анализатор влажности, неопределенность.

MEASUREMENT ANALYSIS OF NATURAL GAS CONDENSATION MOISTURE

L.A. Vytvytska, S.A. Chehovskyy

The proposed improved design condensing hydrometer, held its metrological analysis calculated total measurement uncertainty dew point temperature of natural gas. The expediency of using advanced hydrometer to monitor the quality of natural gas.

Keywords: condensing moisture, dew point, moisture analyzers, uncertainty.