

ЗАСІБ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі досліджено існуючі засоби вимірювання вологості природного газу та запропоновано засіб вимірювання вологості природного газу на основі НВЧ методу точки роси.

Ключові слова: природний газ, вологість, метод точки роси, НВЧ.

Abstract

In this work investigates existing means of measuring the natural gas humidity and proposes a means of measuring the natural gas humidity based on the microwave dew point method.

Keywords: natural gas, humidity, dew point method, microwave.

Вступ

Вологість природного газу, що видобувається з недр Землі, є важливим параметром, з яким доводиться рахуватися при транспортуванні та обліку природного газу. Природний газ, що видобувається з підземних джерел, насичений рідкою водою і важкими вуглеводнями. З метою зменшення вологості газу і доведення її до необхідних норм на головних спорудах газових промислів проводиться осушення газу. Присутність вологи в газі небажана, оскільки при транспортуванні газу можуть спостерігатися випадки корозії трубопроводів і арматури, а також утворення гідратів (продуктів приєднання води до різних речовин) та конденсату. Вологість газу значно впливає на швидкість корозії устаткування і повинна враховуватися при виборі того чи іншого інгібітору. Експериментально доведено, що при відсутності в газі води або при його осушення до відносної вологості 20 - 30% корозія практично не отримує розвитку незалежно від змісту в газі агресивних компонентів. Вона починає помітно проявлятися при вологості газу 60% і більше. Максимальна швидкість корозії спостерігається при 100%-вої вологості природного газу. Крім того, вміст вологи знижує питому теплоту згорання газу. Для того, щоб задовольнити вимоги, які висуваються до чистого, сухого й абсолютно газоподібного палива, придатного для передачі по трубопроводах і постачання кінцевим користувачам для спалювання, газ повинен пройти декілька стадій переробки, включаючи видалення рідин, захоплених газом, з подальшим висушуванням для зниження вмісту водяної пари. Значення відносної вологості за стандартних умов повинно бути меншим за 0,1% (згідно з технічними вимогами Правил РД 50-213-80, що відповідає точці роси - 58,21°С при нормальних умовах).

Вологість газів вимірюється різними методами, прийнятність кожного з яких визначається конкретним місцем застосування на основі його точності та чутливості. Основними методами вимірювання вологості природного газу є психрометричний, сорбційний та метод точки роси (конденсаційний). Одним з найбільш високоточних із застосованих до природного газу методів є конденсаційний на основі вимірювання температури точки роси. Найважливішими перевагами вологомірів СВЧ є: можливість безконтактних вимірювань (в вільному просторі), висока чутливість, необмежена верхня межа вимірювань, малий вплив на результати вимірювань хімічного складу і деяких інших чинників. Класична схема вимірювача вологості на основі методу точки роси містить конденсаційну поверхню, яку ще називають дзеркалом, НВЧ схему, охолоджувач та сенсор температури. Перевагою вимірювань по відображенню є одностороннє розташування приймально-передавальної системи НВЧ щодо об'єкта вимірювання. При нормальному падінні хвилі модуль коефіцієнта відбиття по потужності дорівнює відношенню відбитої потужності до падаючої. У методі відбиття можна використовувати похиле або нормальне падіння хвилі. Перевагу зазвичай віддають нормальному падінню, при якому використовується одна прийомно-передаюча антена, в той час як для похилого падіння застосовуються вимірювальні пристрої, засновані на оцінці параметрів стоячої хвилі, що виникає в результаті суперпозиції падаючої

і відбитої хвилі. Для прийому відбитої хвилі однієї суміщеної антеною можна використовувати в хвилеводному тракту спрямований відгалужувач або подвійний трійник, що дозволяють отримати більш високий рівень сигналу і кращу розв'язку генератора НВЧ від тракту [1-4].

Оскільки існуючі засоби вимірювання вологості природного газу внаслідок низького рівня достовірності результатів втрачає свою доцільність, невисока швидкість вимірювання та неможливість інтеграції цих засобів в загальну систему. На підприємствах газової промисловості України на сьогодні є актуальним питання засобів вимірювання, здатних визначати одночасно декілька показників якості, а саме: температура точки роси, компонентів газу та температура початку утворення кристалогідратів, криги.

Отже, необхідність та важливість нових методів та засобів для точного та швидкого визначення вологості природного газу зумовили вибір теми дослідження. Створення нової сучасної системи вимірювання показників якості природного газу, забезпечення точного, швидкого та достовірного визначення вологості з урахуванням домішок в його складі. Тому тема дослідження є актуальною.

Результати дослідження

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 [5-7]. 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.

Загальноприйнятими параметрами в практиці видобутку та транспортування природного газу, які характеризують вологість та вміст важких вуглеводнів в природному газі, є температура точки роси вологи та вуглеводнів. Вимірювання цих параметрів широко розповсюджене у практиці контролю показників якості природного газу. Це пояснюється тим, що точка роси є найбільш інформативним показником кондиційності природного газу за значенням якого можна навіть без додаткових розрахунків, а тільки порівнюючи його з температурами газу та газового обладнання, оцінити ступінь його транспортної кондиційності і зробити попередній прогноз щодо її збереження під час подальшого транспортування.

Метою встановлення нормативних значень фізико-хімічних показників газу, що призначений для промислового і комунально-побутового використання, є забезпечення певної його якості, як палива, у кінцевого споживача. Також обов'язковим є урахуванням вимог безпеки при використанні газу та дотримання санітарно-гігієнічних вимог при його споживанні. Чинним в Україні документом, який містить ці вимоги, на сьогодні є міждержавний ГОСТ 5542-87. Так, при споживанні природного газу основними показниками його якості являються показники його теплотворної здатності, вміст корозійно-активних компонентів та домішок в твердому стані. Крім того, за вимогами цього документу рідкі фази води та вуглеводневих фракцій мають бути відсутніми. Відповідність показників якості газу у споживача нормам, встановленим в ГОСТ 5542, можна гарантувати тільки при виконанні вимог, які встановлюються до газу, що подається у газопроводи для транспортування після його підготовки на промислі.

Особливе значення при підготовці газу приділяється вмісту вологи, так як в присутності вологи в трубопроводі створюються сприятливі умови і для утворення гідратів і для корозії обладнання. Тому газ, що подається в газопровід для транспортування, повинен бути осушений до такого стану, при якому за будь-яких термогазодинамічних умов в газопроводі на шляху транспортування газу до споживача волога, яка присутня в газі в пароподібному стані, не буде переходити в рідкий стан. Забезпечення цієї умови визначається значенням температури точки роси вологи, яка обумовлює мінімально можливу температуру рівноважного стану «газ-волога». Також важливим показником є температура точки роси вуглеводнів, значення якої показує глибину вилучення важких вуглеводневих фракцій з

газу і, при дотриманні її нормованого значення, гарантує транспортування газу без утворення вуглеводневого конденсату [8-11].

Абсорбційний метод заснований на поглинанні водяної пари безводних диетиленгліколем (ДЕГ) і подальшому визначенні пов'язаної ДЕГом води титруванням розчином К. Фішера. Цей метод має обмеження щодо вмісту водяної пари в газі (не більше $0,1 \text{ г / м}^3$) і кількості сірчистих сполук в газі (не більше $0,03 \text{ г / м}^3$), вимагає витратних матеріалів і тому застосовується тільки в лабораторних умовах.

Сорбційні методи вимірювання вологості використовують здатність речовин сорбувати вологу і тим самим змінювати їх властивості. В останні 15-20 років широке застосування знайшов порівняно новий метод вимірювання вологості газів – п'езосорбційний.

Найбільш широке поширення в промисловості знайшли п'езосорбційні гігрометри серії «Хвиля», «Істок» та «Іва», а з зарубіжних «Du Pont».

До недоліків п'езосорбційних гігрометрів слід віднести необхідність їх градування на газових сумішах з відомою вологістю, збільшення похибки вимірювання при наявності в аналізованій середовищі домішок, сорбуючихся чутливим елементом.

П'езосорбційні гігрометри широко застосовують для вимірювання відносної вологості в цехах з виробництва хімічної та штучного волокна, в камерах штучного клімату, при випробуваннях різних матеріалів і виробів.

З серійному виробництві вітчизняних гігрометрів, які працюють на цьому принципі, на ринку представлений гігрометр «Аргон-М», номенклатура зарубіжних гігрометрів значно ширше - це гігрометри «Shaw», «Dewluxe», «Panametrics», «Hygrolog WMY 770Z» і ін.

З вищенаведеного огляду видно, що список засобів вимірювання вологості досить широкий. Однак, з різних причин, далеко не всі вони знайшли своє застосування при вимірах вологості і точок роси газу в промислових умовах.

У вологомірів кулонометричного типу чутливий елемент виконаний у вигляді трубчастого корпусу з електроізоляційного матеріалу, всередині якого розміщено дві недотичні спіралі (електроди) з Pt і Rh. Простір між спіралями заповнене адсорбентом – частково гідратованим P_2O_5 . До електродів підведено напругу, що забезпечує електроліз поглиненої води. Аналізований газ з постійною витратою пропускають через елемент, і водяні пари практично повністю поглинаються P_2O_5 .

Діапазон вимірювань від 10^{-5} до $0,1\%$. Недолік приладу - неможливість вимірювання вологості газів, які містять лужні і полімерні компоненти. У першому випадку P_2O_5 реагує з лужним компонентом, у другому служить ініціатором полімеризації, а утворена плівка полімеру перешкоджає надходженню водяної пари до поверхності адсорбенту. При наявності в газі парів спирту виникає додаткова похибка, пов'язана з його гідролізом і появою додаткової води.

Похибка кулонометричних приладів зазвичай $1-5\%$ при концентрації води порядку сотих часток відсотка і $10-20\%$ при концентрації $10^{-4}-10^{-3}\%$. Постійна часу (час реакції приладу на зміну вологості) від десятків секунд до 10 хв при концентрації води відповідної в діапазонах $10^{-2}-10^{-1}$ і $10^{-4}-10^{-3}\%$. Ці прилади застосовують, зокрема, для визначення вологості полімерів (напр., поліетилену і поліпропілену), а також для контролю вологості повітря, призначеного для живлення контрольно-вимірювальних приладів.

Переваги гігрометрів точки роси - великі межі вимірювань, до низьких температур (-100°C і нижче), в широкому діапазоні температур і тисків, що охоплює низькі негативні температури і високий тиск, задовільна точність у всьому діапазоні вимірювань, вихідна величина, консервативна по відношенню до температури аналізованого газу, можливість градування по температурі, а не по вологості.

Їх основними недоліками є деяка складність конструкції (наявність охолоджуючого пристрою), зменшення точності вимірювання зі збільшенням відносної вологості, залежність результату вимірювання від характеру і стану поверхні дзеркальця, від його забруднення.

Вимірювання температури точки роси зводиться до виконання наступних операцій: 1) зниження температури поверхні дзеркальця; 2) фіксації моменту виникнення конденсату (у вигляді роси або льоду) на робочій поверхні дзеркальця; 3) вимірювання температури цієї поверхні [12].

Найбільший інтерес представляють автоматичні гігрометри точки роси. Прилади цього типу мають значно більш високу швидкість, але порівняно з неавтоматичними приладами і можуть працювати в автоматичних системах. Автоматичне фіксування точки роси за розмірами (товщина, діаметр) шару конденсату є об'єктивним і дозволяє правильно вибрати момент вимірювання і підвищити його точність [13-14].

Метрологічні та інші технічні характеристики автоматичного гігрометра точки роси в значній мірі залежать від прийнятого способу охолодження дзеркала.

Сучасні прилади цього типу мають термоелектричне охолодження, вимірювальну схему, зібрану на статичних елементах (магнітних напівпровідникових і т.п.), і відрізняються високою надійністю, малими габаритами і вагою.

Перспективним є НВЧ метод, який полягає в вимірюванні вологості природного газу за методом визначення температури точки роси в умовах високого вмісту парів вищих вуглеводнів. НВЧ вологоміри використовують значну (в десятки разів) відмінність електричних властивостей води та сухого матеріалу. Концентрацію вологи вимірюють з ослаблення НВЧ-випромінювання, що проходить через шар аналізованого матеріалу. Передавальна антена з'єднана з НВЧ-генератором, приймальня - з вимірювальним пристроєм. Чим більше вологість аналізованого матеріалу, тим менше сигнал, що потрапляє в вимірювальне обладнання. На плівку конденсату вищих вуглеводнів пристрій практично не реагує. Даний спосіб дозволяє зменшити похибку визначення температури точки роси в природному газі в присутності парів вищих вуглеводнів в порівнянні з оптичними приладами, що використовуються для цієї мети, в кілька разів. Якщо в газі містяться пари пропану, бутану, пентану і інших вищих вуглеводнів, що мають високі температури конденсації (а в реальних природних газах, як правило, реалізується саме ця ситуація), то при охолодженні дзеркала спочатку будуть випадати конденсати вищих вуглеводнів. Особливо важка ситуація існує на станціях підземного зберігання газу, які засновані на колишніх газоконденсатних родовищах. Навіть новітні конденсаційні прилади працюють там вкрай нестабільно через високий вмісту парів високих вуглеводнів в досліджуваному газі[15-16].

Висновки

В роботі запропоновано вимірювання вологості природного газу з використанням НВЧ діапазону та охолоджуваного дзеркала із радіопрозорого матеріалу з високою теплопровідністю. Таким чином, підвищується точність вимірювання вологості природного газу за методом визначення температури точки роси в умовах високого вмісту парів вищих вуглеводнів та дає перевагу над оптичними приладами вимірювання вологості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Халиф А. Л. , Туревский Е. Н. , Сайкин В. В. , Сахаров В. Е. , Бахметьев П. И. Приборы для определения влажности природного газа. Москва, ИРЦ Газпром, 1995 г. , 45 с.
2. Москалев И. Н. , Битюков В. С. , Филоненко А. С. , Гаврилин А. К. , Федосов В. М. , Ефременко И. А. Влагодетекция природного газа: состояние и проблемы. Москва, ИРЦ Газпром, 1999, 36 с.
3. ОСТ 51.40-93. Газы горючие, природные, поставляемые и транспортируемые по магистральным трубопроводам.
4. Плехоткин В. П. , Ткаченко М. Ф. , Серебро Ж. М. Методические особенности определения точки росы природных горючих газов. В сб. "Всесоюзная научно-техническая конференция Термогаз-89", Харьков, 1989, 209-214 с.
5. Gritsenko A.I., Istomin V.A., Kulkov A.N., Suleimanov R.S. Gathering and Conditioning of Gas on the Northern Gas Fields of Russia. Moscow, Nedra Publishing House, 1999
6. Берлинер М.А. Влагодетекторы СВЧ // Приборы и системы управления. 1970. № 11. С. 19 – 22.
7. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навчальний посібник / [Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк]. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
8. Крук І. С. Довідник. Якість природних газів / І. С. Крук, О. М. Химко, О. І. Крук . – К.–Х. : Наука УЦЕБОП, 2010. – 407 с.
9. Лесовий Л. В. Визначення відносної вологості газу для вузлів обліку із застосуванням засобів вимірювання температури точки роси / Л. В. Лесовий, Ф. Д. Матіко // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2009. – № 659. – С. 84–91.
10. Зайцев В. А. Влажность воздуха и ее измерение / В. А. Зайцев, А. А. Ледохович, Г. Т. Никандрова. – 1974. – 112 с.
11. Конверсия и новые возможности измерения влажности в трубопроводах / [Д. Л. Рогожинский, Ю. А. Малоземов, Ю. А. Михайлин, И. Н. Москалев] // Газовая промышленность. – 1991. – № 10. – С. 16–17.

12. Kunkee, D., G. Poe, D. Boucher, S. Swadley, Y. Hong, J. Wessel, and E. Uliana. Design and evaluation of the first Special Sensor Microwave Imager/Sounder. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 46, 863–883.
13. Liu, Q., F. Weng, and S. English. An improved fast microwave water emissivity model. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 49, 1238–1250.
14. Jones, A. S. and T. H. Vonder Haar. Passive microwave remote sensing of cloud liquid water over land regions. *J. Geophys. Res.* 95, 16673–16683.
15. Joseph, J., W. J. Wiscombe, and J. A. Weinman. The delta-Eddington approximation for radiative flux transfer. *J. Atmos. Sci.* 33, 2452–2459.
16. Karbou, F., P. Bauer, A. Geer, and W. Bell. Exploitation of microwave sounder/imager data over land surfaces in the presence of clouds and precipitation. EUMETSAT Hydrology SAF visiting scientist report, available <http://hsaf.meteoam.it/documents/reference/VS-37-ECMWF-Karbou-final-report.pdf>.

Йосип Йосипович Білинський – доктор техн.наук, проф., зав. кафедри ЕНС, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: yosyp.bilynsky@gmail.com

Віталій Валерійович Красносельський – аспірант кафедри ЕНС, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: wommerses@gmail.com

Bilynsky Yosyp Y. — Doctor of Technical Sciences, Prof., Head. Department of ENS, Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia; Email: yosyp.bilynsky@gmail.com

Vitalii Krasnosielskyi – postgraduate the Chair of Electronics and Nanosystems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: wommerses@gmail.com