

УДК 681.121

СПОСІБ ПРИГОТУВАННЯ КАЛІБРОВАНИХ ПАРОГАЗОВИХ СУМІШЕЙ ІЗ ВІДОМИМ ВОЛОГОВМІСТОМ ПАРІВ РІДИНИ

Їван Крук, 2009

Нормативно-аналітичний центр дочірньої компанії “Укртрансгаз”,
Кловський спуск, 9/1, Київ, 21, Україна, 01021

Розроблено нові математичні моделі для розрахунку відносної вологості, запропоновано спосіб і систему автоматичного приготування високоточних каліброваних парогазових сумішей із відомим вологовмістом парів рідини для метрологічної атестації та перевірки лабораторних і потокових вологомірів природного газу.

Разработаны новые математические модели для расчета относительной влажности, предложен способ и система приготовления высокоточных калиброванных парогазовых смесей с известным влагосодержанием паров жидкости для метрологической аттестации и поверки лабораторных и потоковых влагомеров природного газа.

In this paper, a new mathematical models for calculating relative humidity was developed, the method and system for automatic preparation of high-precision calibrated vapor-gas mixtures of known moisture of liquid vapors were proposed, for metrological certification and testing of laboratory and stream moisture meters of natural gas.

Постановка проблеми. Для метрологічної атестації, перевірки та калібрування вологомірів природного газу (лабораторних або потокових) необхідно підготувати певні задані значення абсолютної чи відносної вологості парів рідин з наперед відомою невизначеністю (точністю), і ця точність має відповідати вимогам чинних стандартів, які ставлять до перевірки чи атестації вологоміра. Нами запропоновано спосіб приготування парогазових сумішей і для його реалізації розроблена система автоматичного приготування каліброваних значень вологості парів води (води та інших рідин, що містяться у газі) на базі газу-носія азоту або гелію.

Аналіз останніх досліджень. Для розв'язання поставленої задачі виконано системний аналіз [1–5], вибрано об'єкт досліджень, визначено базові засади та сформульовано основні критерії оцінки запропонованого способу та його реалізації через створення системи автоматичного приготування заданого значення вологості парів рідини для атестації та перевірки вологомірів газу.

Формулювання цілей статті. У роботі отримана математична модель для визначення відносної вологості, запропонований спосіб і система автоматичного

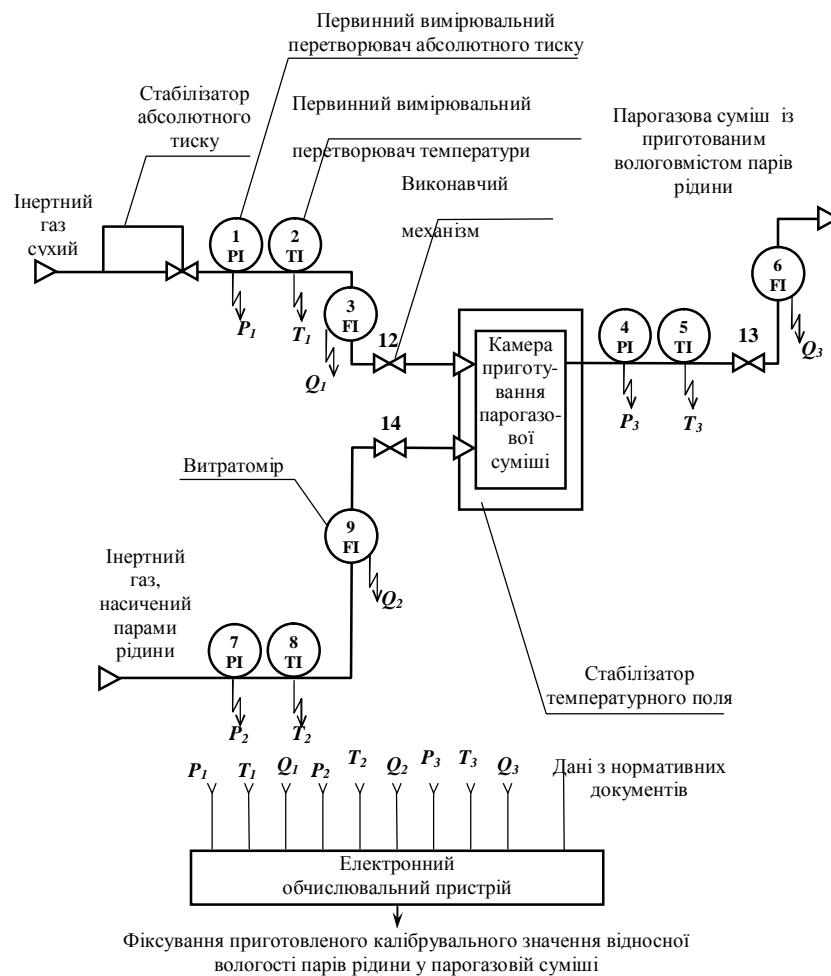
приготування каліброваної парогазової суміші з відомими значеннями відносної вологості парів рідини у газі.

Основна частина. Розглянемо теоретичні аспекти запропонованого способу та системи автоматичного приготування каліброваної парогазової суміші з високоточним заданням значень відносної вологості парів рідини у газі.

Проаналізуємо систему, що наведена на рисунку, і запишемо рівняння матеріального балансу газу за стандартних умов вимірювання

$$Q_1 \frac{r_1}{r_{C1}} + Q_2 \frac{r_2}{r_{C2}} = Q_3 \frac{r_3}{r_{C3}}, \quad (1)$$

де r_{C1} , r_{C2} і r_{C3} – густини відповідно сухого газу, газу, насиченого парами рідини та газу із приготованим вологовмістом парів рідини за стандартних умов вимірювання; r_1 , r_2 і r_3 – густини відповідно сухого газу, газу, насиченого парами рідини, та газу із приготованим вологовмістом парів рідини за робочих умов вимірювання; Q_1 , Q_2 і Q_3 – об'ємні витрати відповідно сухого газу, газу, насиченого парами рідини, та газу із приготованим вологовмістом парів рідини за робочих умов вимірювання.



Спосіб приготування каліброваних парогазових сумішей із заданим значенням відносної вологості парів рідини

Враховуючи, що густини інертного газу за стандартних умов вимірювання не змінюються, тобто $r_{C1} = r_{C2} = r_{C3} = r_C$, можна записати рівняння балансу через масові витрати відповідно

$$Q_{1M} + Q_{2M} = Q_{3M}, \quad (2)$$

де Q_{1M} , Q_{2M} і Q_{3M} – масові витрати відповідно сухого газу, газу, насиченого парами рідини, та газу з приготованим вологовмістом парів рідини.

Для сухого газу густина ρ_1 визначається згідно з виразом

$$r_1 = r_C \frac{T_C P}{P_C T K_{CF}} \quad (3)$$

де ρ_C – густина сухого газу за стандартних умов вимірювання; P і T – відповідно абсолютний тиск і температура сухого газу; K_{CF} – коефіцієнт стискуваності сухого газу при температурі T , абсолютному тиску P і густині ρ_C ; T_C і P_C – значення температури та

абсолютного тиску, що визначають стандартні умови вимірювання ($T_C = 293,15$ К і $P_C = 101,325$ кПа).

Для визначення густини ρ_2 газу, насиченого парами рідини, можна використати залежність

$$r_2 = r_{CF} + r_{HPB2}, \quad (4)$$

де, крім відомих: ρ_{HPB2} – густина насичення парів рідини в газі при температурі T_2 , а густина сухого газу за наявності в ньому насичених парів рідини визначається за виразом

$$r_{CF} = r_C \frac{T_C}{P_C} \frac{P_2 - P_{HPB2}}{T_2} \frac{1}{K_{2CF}} \quad (5)$$

де, крім відомих: P_{HPB2} – тиск насичених парів рідини в газі при температурі T_2 ; T_2 і P_2 – відповідно температура й абсолютний тиск газу, насиченого парами рідини; K_{2CF} – коефіцієнт стискуваності сухого газу при температурі T_2 і тиску $(P_2 - P_{HPB2})$.

Після підстановки виразу (5) у формулу (4) дістанемо залежність для визначення густини газу, насиченого парами рідини,

$$r_2 = r_c \frac{T_c}{P_c} \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}2}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} + r_{H\text{ПВ}2}. \quad (6)$$

Густину газу ρ_3 з приготованим вмістом парів рідини $\rho_{3\text{ПВ}}$ визначають за аналогією до (4) як

$$r_3 = r_{3\text{СГ}} + r_{3\text{ПВ}}, \quad (7)$$

де $\rho_{3\text{СГ}}$ – густина сухого газу в камері підготовки заданого вологовмісту, яку розраховують за виразом

$$r_{3\text{СГ}} = r_c \frac{T_c}{P_c} \frac{P_3 - P_{3\text{ПВ}}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}}, \quad (8)$$

де, крім відомих: T_3 і P_3 – відповідно температура і абсолютний тиск газу на виході камери підготовки заданого вологовмісту; $K_{3\text{СГ}}$ – коефіцієнт стискуваності сухого газу при температурі T_3 й абсолютному тиску $(P_3 - P_{3\text{ПВ}})$; $P_{3\text{ПВ}}$ – парціальний абсолютний тиск парів рідини в газі.

Густину $\rho_{3\text{ПВ}}$ за заданої відносної вологості ϕ можна визначити як

$$r_{3\text{ПВ}} = j r_{H\text{ПВ}3}, \quad (9)$$

а тиск $P_{3\text{ПВ}}$ наближено

$$P_{3\text{ПВ}} \cong j P_{H\text{ПВ}3}; \quad (10)$$

або згідно з [1, 2] можна записати

$$P_{3\text{ПВ}} = j P_{H\text{ПВ}3} \frac{r_{\text{СНПВ}} K_{\text{ПВ}}}{r_{\text{СПВ}} K_{H\text{ПВ}}}. \quad (11)$$

Після підстановки виразів (8), (9) і (10) у (7) одержимо формулу для визначення густини ρ_3

$$r_3 \cong r_c \frac{T_c}{P_c} \frac{1}{T_3} \frac{P_3 - j P_{H\text{ПВ}3}}{K_{3\text{СГ}}} + j r_{H\text{ПВ}3}; \quad (12)$$

Або, підставивши (8), (9) і (11) у (7), матимемо

$$r_3 = r_c \frac{T_c}{P_c} \frac{1}{T_3} \frac{P_3 - j P_{H\text{ПВ}3} \frac{r_{\text{СНПВ}} K_{\text{ПВ}}}{r_{\text{СПВ}} K_{H\text{ПВ}}}}{K_{3\text{СГ}}} + j r_{H\text{ПВ}3}. \quad (13)$$

Підставивши вирази (3), (6) і (12) або (13) в (1) та після певних перетворень, отримаємо математичні моделі способу приготування калібрувальних парогазових сумішей, зокрема:

при наближеному розрахунку густини ρ_3

$$r_c \frac{T_c}{P_c} \left(Q_1 \frac{P}{T} \frac{1}{K_{\text{СГ}}} + Q_2 \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} - \right.$$

$$\left. - Q_3 \frac{P_3 - j P_{H\text{ПВ}3}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right) = Q_3 j r_{H\text{ПВ}3} - Q_2 r_{H\text{ПВ}}; \quad (14)$$

при точному розрахунку густини ρ_3 згідно з (13)

$$r_c \frac{T_c}{P_c} \left(Q_1 \frac{P}{T} \frac{1}{K_{\text{СГ}}} + Q_2 \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} - Q_3 \frac{P_3 - j P_{H\text{ПВ}3}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right) = Q_3 j r_{H\text{ПВ}3} - Q_2 r_{H\text{ПВ}}, \quad (15)$$

Відносна вологість парів рідини у газі буде визначатись за формулами відповідно:

при наближеному розрахунку густини ρ_3 згідно з (12) з урахуванням (14)

$$A \left(Q_1 \frac{P}{T} \frac{1}{K_{\text{СГ}}} + Q_2 \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} - Q_3 \frac{P_3}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right) + Q_2 r_{H\text{ПВ}}; \quad (16)$$

$$j = \frac{A \left(Q_1 \frac{P}{T} \frac{1}{K_{\text{СГ}}} + Q_2 \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} - Q_3 \frac{P_3}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right) + Q_2 r_{H\text{ПВ}}}{Q_3 \left(r_{H\text{ПВ}3} - A \frac{P_{H\text{ПВ}3}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right)}$$

при точному розрахунку густини ρ_3 згідно з (13) з урахуванням (15) [3]

$$j = \frac{A \left(Q_1 \frac{P}{T} \frac{1}{K_{\text{СГ}}} + Q_2 \frac{P_2 - P_{H\text{ПВ}}}{T_2} \frac{1}{K_{2\text{СГ}}} - Q_3 \frac{P_3}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right) + Q_2 r_{H\text{ПВ}}}{Q_3 \left(r_{H\text{ПВ}3} - A \frac{r_{\text{СНПВ}} K_{\text{ПВ}}}{r_{\text{СПВ}} K_{H\text{ПВ}}} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}} \right)}. \quad (17)$$

у яких A – значення, яке знаходять за виразом

$$A = r_c \frac{T_c}{P_c}. \quad (18)$$

Математичні моделі способу приготування каліброваних парогазових сумішей, що подані формулами (16) і (17), існують, якщо виконуються такі умови відповідно:

$$r_{H\text{ПВ}3} \geq A \frac{P_{H\text{ПВ}3}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}}, \quad (19)$$

$$r_{H\text{ПВ}3} \geq A \frac{P_{H\text{ПВ}3} \frac{r_{\text{СНПВ}} K_{\text{ПВ}}}{r_{\text{СПВ}} K_{H\text{ПВ}}}}{T_3} \frac{1}{K_{3\text{СГ}}}. \quad (20)$$

Математична модель способу подана формулою (16) або (17) і дає змогу оптимізувати вибір необхідних параметрів системи приготування відносної вологості парів рідини у газі та забезпечити необхідними каліброваними значеннями відносної вологості процедуру атестування, метрологічної перевірки (калібрування) стаціонарних і потокових вологомірів природного газу.

Висновки

1. Розроблено математичні моделі, застосування яких дасть можливість забезпечити приготування високоточних парогазових сумішей, що вкрай необхідні для метрологічної атестації, перевірки та калібрування лабораторних і потокових вологомірів природного газу.

2. Запропонована також система автоматичного приготування, яка дає змогу реалізувати вибраний спосіб, забезпечуючи як стабілізацію абсолютного тиску на вхідній нитці подавання сухого інертного газу, так і температури у камері приготування парогазової суміші.

3. Для забезпечення високої точності приготування парогазової суміші в системі використано первинні вимірювальні перетворювачі абсолютного тиску 1-PI, 4-PI і 7-PI, температури 2-TI, 5-TI і 8-TI з HART-протоколом і високоточні лічильники 3-FI, 6-FI і 9-FI з імпульсним виходом та обчислювачі-коректори.

4. Замкнута система забезпечує автоматичне регулювання співвідношення потоків сухого та насиченого парами рідини інертного газу, використовуючи ПП-регулятор і вихідний коригуючий сигнал, що пропорційний до відносної вологості. Регулююча дія ПП-регулятора спрямована на зміну ступеня відкриття регулюючого органу виконавчого механізму 12.

5. Як електронний обчислювальний пристрій можна застосувати промисловий контролер разом із програм-

ним забезпеченням, яке повинно містити реалізований ПП-закон регулювання, вимірювання абсолютних тисків і температур із HART-протоколом, розрахунки об'ємної витрати, зведеної до стандартних умов або масової витрати, використовуючи імпульсні виходи лічильників і цифрові виходи вимірювальних перетворювачів абсолютного тиску і температури, а також нові алгоритми, що реалізовані в обчислювачах-коректорах.

6. Спосіб приготування каліброваних парогазових сумішей із відомим вологовмістом парів рідини захищений патентом України [3].

1. Крук І.С., Курило Я.В., Крук О.І. Методика визначення густини насиченого парами води природного газу при від'ємних температурах // *Методи та прилади контролю якості. Науково-технічний журнал Ів.-Франківського держ. техн. ун-ту нафти і газу, вип. № 8, Ів.-Франківськ, 2002.* – С. 55 – 57. 2. Крук І.С., Крук О.І. Алгоритм розрахунку вологої водяної пари при використанні витратомірів змінного перепаду тиску // *Збірник III міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія 2002), том 2, ДСТУ, Харківський державний науково-дослідний інститут метрології, 8–10 жовтня, Харків, 2002.* – С. 127 – 129. 3. Патент, Україна, МПК (2009) G01N 25/66. Крук І.С., Крук О.І., Крук О.П., Химко М.П. Спосіб приготування каліброваних парогазових сумішей із відомим вологовмістом парів рідини. – № а 2007 12001; Заявл. 30.10.07; 19 березня 2009. 4. Халиф А.Л. и др. Приборы для определения влажности природного газа. М., ИРЦ Газпром, 1995. – С. 38–39. 5. Патент № 2205389 С2, RU, 2003.05.27, Бюл. №15, G01N25/66, G01N9/36.