

УДК 681.121:533.21

РОЗРАХУНОК ФАКТОРА СТИСКУВАНOSTІ ВОЛОГОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ЗАДАЧАХ ЙОГО ОБЛІКУ

© Матіко Ф. Д., Павлюк І. П., 2002
Національний Університет "Львівська політехніка"

Проведений аналіз похибки розрахунку фактора стискуваності вологого природного газу за різними методами. Дано рекомендації, щодо розрахунку фактора стискуваності вологого природного газу та визначення сухої частини витрати та кількості вологого газу.

Природний газ, який транспортується по мережі газопроводів, містить певну кількість водяної пари. Значна кількість витратомірів вимірюють витрату та загальну кількість саме вологого газового потоку. Тому виникає задача коректування вимірних витрати чи кількості (об'єму, маси) природного газу, тобто знаходження витрати та кількості сухої частини газового потоку.

Витрата та кількість сухої частини вологого газу $Y_{СЧ}$ в робочих умовах може бути знайдена за загальною залежністю:

$$Y_{СЧ} = Y_{ВОЛ} \cdot F,$$

де $Y_{ВОЛ}$ - витрата чи кількість вологого газу; F - поправний множник: $F = F_V = 1 - x_{ВП}$ для рівняння об'ємної витрати та об'єму, $F = F_M = 1 - q_{ВП}$ для рівняння масової витрати та маси; $x_{ВП}$ - об'ємна (мольна) частка водяної пари в газі; $q_{ВП}$ - масова частка водяної пари в газі.

Мольна частка водяної пари може бути знайдена таким чином:

- для ідеального газу, як відношення парціального тиску водяної пари до тиску вологого газу

$$x_{ВП} = \frac{p_{ВП}}{p_{ВОЛ}},$$

- для реального газу за формулою

$$x_{ВП} = \frac{p_{ВП}}{p_{ВОЛ}} \cdot \frac{Z_{ВОЛ}}{Z_{ВП}},$$

яка отримана із відношення рівнянь стану реального газу для водяної пари та вологого природного газу

$$\frac{p_{ВП}V}{p_{ВОЛ}V} = \frac{n_{ВП}Z_{ВП}RT}{n_{ВОЛ}Z_{ВОЛ}RT},$$

де $p_{ВП}$ - парціальний тиск водяної пари; $p_{ВОЛ}$ - абсолютний тиск вологого газу; $n_{ВП}$, $n_{ВОЛ}$ - кількість молей водяної пари та вологого газу; $Z_{ВП}$, $Z_{ВОЛ}$ - фактор стискуваності водяної пари та вологого газу; R - універсальна газова стала; T - абсолютна температура суміші газу та водяної пари;

V - об'єм суміші при $p_{ВОЛ}$ і T .

Парціальний тиск водяної пари в умовах видобутку, транспортування, розподілу природного газу може бути знайдений так

$$p_{ВП} = \varphi \cdot p_{НП},$$

де φ - відносна вологість газу, $p_{НП}$ - тиск насиченої водяної пари.

Масову частку водяної пари в газі $q_{ВП}$ можна знайти за формулою, яку також отримано із відношення рівнянь стану реального газу для водяної пари та природного газу таким чином:

$$q_{ВП} = \frac{p_{ВП}}{p_{ВОЛ}} \cdot \frac{Z_{ВОЛ}}{Z_{ВП}} \cdot \frac{M_{ВП}}{M_{ВОЛ}},$$

де $M_{ВП}$, $M_{ВОЛ}$ - молярні маси водяної пари та вологого газу.

Таким чином для знаходження об'ємної витрати чи об'єму сухої частини вологого газу необхідно помножити об'ємну витрату чи об'єм вологого газу на множник

$$F_V = 1 - \frac{p_{ВП}}{p_{ВОЛ}} \cdot \frac{Z_{ВОЛ}}{Z_{ВП}}; \quad (1)$$

для знаходження масової витрати чи маси сухої частини вологого газу необхідно помножити масову витрату чи масу вологого газу на множник

$$F_M = 1 - \frac{p_{ВП}}{p_{ВОЛ}} \cdot \frac{Z_{ВОЛ}}{Z_{ВП}} \cdot \frac{M_{ВП}}{M_{ВОЛ}}. \quad (2)$$

Як видно з (1) і (2), розрахунок множників F_V , F_M потребує попереднього розрахунку факторів стискуваності водяної пари та вологого газу.

Фактор стискуваності водяної пари в умовах її незначного парціального тиску можна вважати рівним одиниці. Дійсно, при умовах видобутку, транспортування і розподілу природного газу його температура знаходиться в межах від -30°C до $+80^\circ\text{C}$. При таких температурах тиск насичення водяної пари є низьким. Наприклад, для $t=0^\circ\text{C}$ тиск насичення водяної пари $p_{НП}=0,006228$ кгс/см², для

$t=50\text{ }^{\circ}\text{C} - p_{\text{НП}}=0,12578\text{ кгс/см}^2$ [1]. При таких низьких надлишкових тисках водяну пару можна розглядати як ідеальний газ, фактор стискуваності якого близький до одиниці.

Для розрахунку фактора стискуваності вологого газу необхідно було б застосувати метод розрахунку, який враховує вміст водяної пари в газі. Методи розрахунку, що працюють за спрощеним складом газу, вміст водяної пари не враховують. Із методів, які вимагають для розрахунку дані про повний компонентний склад газу, тільки метод AGA8-92DC [2] враховує об'ємну частку водяної пари в природному газі. Однак із-за складності реалізації та високих вимог до якості хроматографічного аналізу природного газу (вимагає дані про вміст 18 компонентів) метод AGA8-92DC не знайшов широкого застосування в задачах обліку. Крім того, цей метод незастосовний у разі спрощеного розрахунку за допомогою таблиць фактора (коефіцієнта) стискуваності сухого газу.

Окремі дослідники [3] пропонують обчислювати фактор стискуваності вологого газу за адитивною залежністю

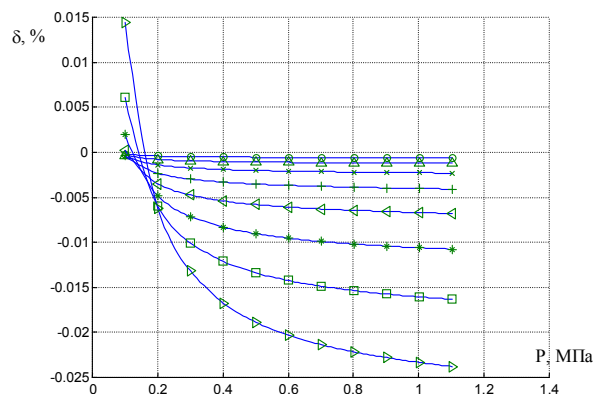
$$Z_{\text{ВОЛ}} = \left(1 - \frac{p_{\text{ВП}}}{p}\right) Z_{\text{СЧ}} + \frac{p_{\text{ВП}}}{p} Z_{\text{ВП}}, \quad (3)$$

де $Z_{\text{СЧ}}$ - фактор стискуваності сухого природного газу, що обчислюється за допомогою одного з методів розрахунку фактора стискуваності для парціального тиску сухої частини вологого природного газу $Z_{\text{СЧ}} = f(p - p_{\text{ВП}}, T)$.

Оцінимо відхилення фактора стискуваності вологого газу $Z_{\text{ВОЛ}}$, обчисленого за формулою (3), від фактора стискуваності, обчисленого як функція робочих тиску та температури газу $Z = f(p, T)$ без врахування вологості, та відхилення $Z_{\text{ВОЛ}}$ від фактора стискуваності сухої частини вологого газу $Z_{\text{СЧ}} = f(p - p_{\text{ВП}}, T)$.

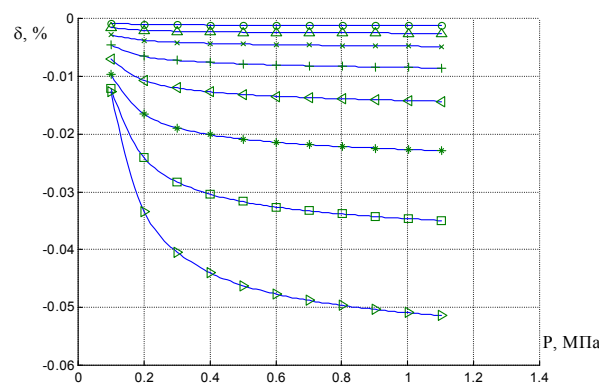
Графіки відхилень $Z_{\text{СЧ}} = f(p - p_{\text{ВП}}, T)$ від $Z_{\text{ВОЛ}}$ показані на рис. 1, звідки видно, що відхилення знаходяться в діапазоні $-0,025\% \dots 0,015\%$ при зміні температури від 0°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Відхилення $Z = f(p, T)$ від $Z_{\text{ВОЛ}}$ (див. рис.2) лежать в діапазоні $-0,002\% \dots -0,05\%$ для того ж діапазону температур. Розрахунок відхилень проведено для насиченого газу з відносною вологістю $\varphi=100\%$. Очевидно, що для газів з відносною вологістю $\varphi < 100\%$ відхилення є меншими.

Для більшості задач обліку розрахунок коефіцієнта стискуваності (фактора стискуваності) сухого природного газу може бути проведений за допомогою сучасних стандартизованих методів розрахунку [2] з методичною похибкою не вищою $0,2\%$.



$o - 0^{\circ}\text{C}$, $\Delta - 10^{\circ}\text{C}$, $\times - 20^{\circ}\text{C}$, $+ - 30^{\circ}\text{C}$, $\triangleleft - 40^{\circ}\text{C}$,
* - 50°C , $\square - 60^{\circ}\text{C}$, $\triangleright - 70^{\circ}\text{C}$, $\diamond - 80^{\circ}\text{C}$

Рис. 1. Залежність відносного відхилення $\delta = (Z_{\text{СЧ}} - Z_{\text{ВОЛ}}) / Z_{\text{ВОЛ}} \cdot 100\%$ від тиску та температури



$o - 0^{\circ}\text{C}$, $\Delta - 10^{\circ}\text{C}$, $\times - 20^{\circ}\text{C}$, $+ - 30^{\circ}\text{C}$, $\triangleleft - 40^{\circ}\text{C}$,
* - 50°C , $\square - 60^{\circ}\text{C}$, $\triangleright - 70^{\circ}\text{C}$, $\diamond - 80^{\circ}\text{C}$

Рис. 2. Залежність відносного відхилення $(Z - Z_{\text{ВОЛ}}) / Z_{\text{ВОЛ}} \cdot 100\%$ від тиску та температури

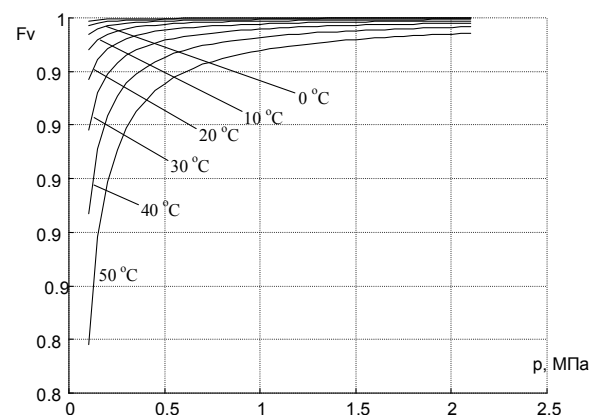


Рис. 3. Залежність поправного множника на вологість газу F_V від температури та тиску при відносній вологості газу $\varphi = 100\%$

З проведеного аналізу видно, що відхилення значень фактора стискуваності вологого газу, отриманих згідно (3), від значень фактора стискуваності сухого газу є незначними в порівнянні з методичною похибкою методів розрахунку. Тому в задачах обліку доцільно обчислювати фактор стискуваності за допомогою методів [2, 4] без застосування залежності (3).

Щодо значень поправних множників F_V , F_M для визначення сухої частини вологого газу, то вони значно відрізняються від одиниці при додатніх температурах за шкалою Цельсія. Для прикладу на рис. 3 показано графіки залежності поправного множника F_V від температури та тиску. Як видно з рис. 3, при температурі $+50^\circ\text{C}$ і тиску близькому до атмосферного F_V досягає значення 0,88. Тобто частка сухого газу може становити тільки 88 % від загального об'єму вологого газу, що містить насичену водяну пару ($\varphi=100\%$).

Значення поправного множника F_M крім тиску, температури та вологості газу залежить ще й від відношення молярних мас водяної пари $M_{ВП}$ та газу M . У разі, коли газ є "легким", тобто $M < M_{ВП}$ (водень, гелій), відхилення поправного множника F_M від одиниці будуть особливо значними. Для газів, молярна маса яких близька до молярної маси водяної пари $M \approx M_{ВП}$ (метан), значення множника F_M будуть близькими до значень об'ємного множника F_V . Для "важких" газів ($M > M_{ВП}$) відхилення поправного множника F_M від одиниці будуть тим меншими, чим меншим є відношення $M_{ВП}/M$.

Відношення $Z_{ВОЛ}/Z_{ВП}$, яке входить у вирази (1) і (2) суттєво не впливає на значення поправних множників F_V , F_M , оскільки при невеликих тисках $Z_{ВОЛ}/Z_{ВП} \approx 1$, а при тисках порядку декількох МПа і вище вплив $Z_{ВОЛ}/Z_{ВП}$ нівелюється суттєвим зменшенням відношення тисків $P_{ВП}/P_{ВОЛ}$. Наприклад, для природного газу з густиною в стандартних

умовах $\rho_C = 0,85 \text{ кг/м}^3$ для діапазону температури та тиску представленого на рис. 3 відхилення між F_V , обчисленим за формулою (1) та знайденим за спрощеною залежністю $F_V = 1 - P_{ВП}/P_{ВОЛ}$ лежить в межах від $-0,012\%$ до $0,02\%$. Тобто розрахунок множників F_V і F_M з достатньою для задач обліку точністю можна провести за такими спрощеними залежностями:

$$F_V = 1 - \frac{P_{ВП}}{P_{ВОЛ}}, F_M = 1 - \frac{P_{ВП}}{P_{ВОЛ}} \cdot \frac{M_{ВП}}{M_{ВОЛ}}, \quad (4)$$

які не враховують відношення факторів стискуваності вологого газу та водяної пари.

Таким чином у разі наявності даних хроматографічного аналізу природного газу розрахунок фактора стискуваності вологого природного газу в задачах обліку доцільно провести за методом AGA8-92DC [2], який враховує вміст вологи в природному газі. У разі відсутності даних хроматографічного аналізу розрахунок фактора стискуваності вологого природного газу з достатньою для задач обліку точністю можна провести за одним з методів, що відповідають вимогам ГОСТ 30319.2-96 [2] без врахування вологості газу. Розрахунок множників F_V , F_M доцільно проводити за спрощеними залежностями (4).

1. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 50-213-80. - М.: Изд-во стандартов, 1982. - 319 с.
2. ГОСТ 30319.2-96 Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости. - М.: Изд-во стандартов.
3. Flow measurement engineering handbook / Richard W. Miller, - 3rd ed., 1996.
4. ДССДД 4-2002. Газ природный. Методика розрахунку коефіцієнта стисливості у діапазоні тиску 12...25 МПа / Є. Пістун, Ф. Матіко. Введ. 01.07.2002. - Київ: Держстандарт України, 2002. - 5 с.