ISSN 1993-9981 Методи та прилади контролю якості, № 19, 2007

УДК 681.121

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПРИРОДНОГО ГАЗУ, ГУСТИНИ ТА ТИСКУ ПАРІВ ВОДИ

І.С. Крук, О.І. Крук

НАК "Нафтогаз України", вул. Б. Хмельницького, 6 м. Київ, 01010, тел. (8-050)335-68-78

Приведены рабочие формулы для расчета давления и плотности паров воды, а также определения относительной влажности природного газа. Полученные зависимости могут быть использованы для учета природного газа.

Workings formulas are pointed for the calculation of pressure and density of water steams, and also determination of relative humidity of natural gas. The received dependences can be used for the account of natural gas.

Сьогодні якість природного газу, який подається із газовидобувних підприємств для промислового і комунального призначення повинна відповідати технічним вимогам, що регламентовані в угодах, правилах обліку та державному стандарті [1]. Для газу, який подається у магістральні газопроводи від видобувних підприємств і приватних фірм державні стандарти відсутні, а технічні умови втратили силу. Основним документом у цьому випадку є на нашу думку лише Технічна угода між НАК "Нафтогаз Україна" і ВАТ "Газпром". Згідно з цією Технічною угодою температура точки роси по воді, якою можна оцінювати кондиційність газу, не повинна бути більшою мінус 8°С.

На основі вимірювання температури точки роси по воді на об'єктах газотранспортної системи України та проведеного аналізу встановлено, що є ряд газопромислових управлінь, на об'єктах яких газ у магістральні газопроводи подається з порушенням вимог Технічної угоди щодо його якості. Спостерігається картина насичення природного газу парами води, а при зміні параметрів газу відбувається часткова конденсація парів води у крапельну рідину. Крім того, у газі містяться пари інших рідин, які використовуються у технологічному процесі видобування газу. Це метанол, що запобігає гідратоутворенню, і етиленгліколь, який широко використовують як абсорбент при очищенні газу на установках комплексної підготовки газу. Є очевидним, що газ із наявними у ньому парами води та інших рідин транспортують магістральними газопроводами, затрачаючи значні енергетичні ресурси. Тому питання визначення кондиційності природного газу є сьогодні для України надзвичайно важливим та актуальним і потребує негайного вирішення.

Розглянемо деякі аспекти визначення відносної вологості природного газу, його густини та тиску парів води.

Густину парів води $\rho_{ПВ}$ можна визначати аналогічно визначенню густини сухого газу, тобто таким чином [2, 3]:

$$\rho_{ПВ} = \rho_{С\,ПВ} \frac{P_{ПВ}}{P_С} \frac{T_С}{T_{ПВ}} \frac{1}{K_{ПВ}}, \qquad (1)$$

де $\rho_{С\,ПВ}$ – густина парів води в стандартних умовах вимірювання ($T_С$=293,15 К і $P_С$=101,325 кПа); $P_{ПВ}$, $T_{ПВ}$ і $K_{ПВ}$ – відповідно тиск, температури та коефіцієнт стискуваності парів води.

Оскільки значення температури парів води та газу можна вважати однаковими, тобто $T_{ПВ} = T$, то відносну вологість φ з урахуванням (1) можна записати так:

$$\varphi = \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{Н\,ПВ}} = \frac{\rho_{С\,ПВ}\, P_{ПВ}\, T_С}{\rho_{Н\,ПВ}\, P_С\, T\, K_{ПВ}}, \qquad (2)$$

де $\rho_{Н\,ПВ}$ – густина насичених парів води у газі.

Помноживши вираз (2) на відношення $\frac{P_{Н\,ПВ}}{P_{Н\,ПВ}}$, отримаємо, що

$$\varphi = \frac{\rho_{С\,ПВ}\, T_С\, P_{Н\,ПВ}}{\rho_{Н\,ПВ}\, T\, P_С\, K_{ПВ}} \frac{P_{ПВ}}{P_{Н\,ПВ}}. \qquad (3)$$

У виразі (3) відношення $P_{ПВ} / P_{Н\,ПВ}$ наближено визначає відносну вологість природного газу φ [4], тобто

$$\varphi \approx P_{ПВ} / P_{Н\,ПВ}. \qquad (4)$$

Комплексний параметр B_1, який враховує похибку у визначенні відносної вологості φ через відповідні тиски, визначається так:

$$B_1 = \frac{\rho_{С\,ПВ}}{\rho_{Н\,ПВ}} \frac{T_C}{T} \frac{P_{Н\,ПВ}}{P_C} \frac{1}{K_{ПВ}}. \qquad (5)$$

Результатами розрахунків комплексного параметра B_1, що наведені в табл. 1, підтверджується стале значення похибки, яка складає $\delta_\varphi = \left(\frac{B_1 - 1}{B_1} \right) \cdot 100\ \% = 0{,}092\ \%$.

Таблиця 1 – Значення комплексу B_1, розрахованого згідно (5)

t, °С	*T*, К	$P_{Н\,ПВ}$, кПа	$\rho_{Н\,ПВ}$, кг/м^3	К ПВ	B_1	δ_φ, %
- 20	253,15	0,12530	$1{,}0725 \cdot 10^{-3}$	0,9999500	1,0009218*	0,092
- 10	263,15	0,28660	$2{,}3600 \cdot 10^{-3}$	0,9999160	1,0009218*	0,092
0	273,15	0,61076	0,004847	0,9995378	1,00092	0,092
10	283,15	1,22711	0,009398	0,9991584	1,00092	0,092
20	293,15	2,33692	0,017290	0,9989915	1,00092	0,092
30	303,15	4,24138	0,030360	0,9985060	1,00092	0,092
40	313,15	7,37460	0,051150	0,9975698	1,00092	0,092
50	323,15	12,33480	0,083020	0,9962036	1,00092	0,092

Остаточно можна записати формулу для визначення відносної вологості φ через тиски наявних у газі парів води та насичених парів води при температурі газу *T* так:

$$\varphi = B_1 P_{ПВ} / P_{Н\,ПВ}. \qquad (6)$$

Враховуючи формули (2) і (6), запишемо рівняння для визначення тиску наявних у газі парів води:

$$\frac{P_{ПВ}}{P_{Н\,ПВ}} = B_1^{-1} \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{Н\,ПВ}}, \qquad (7)$$

або

$$P_{ПВ} = P_{Н\,ПВ} B_1^{-1} \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{Н\,ПВ}}. \qquad (8)$$

Далі наводимо різні формули для визначення тиску парів води, а саме:

$$P_{ПВ} = \frac{\rho_{ПВ}}{\rho_{С\,ПВ}} \frac{T}{T_C} K_{ПВ} P_C; \qquad (9)$$

$$\frac{P_{ПВ}}{\rho_{ПВ}} = \varphi \frac{P_C}{\rho_{С\,ПВ}} \frac{T}{T_C} K_{ПВ} \frac{\rho_{Н\,ПВ}}{\rho_{ПВ}}; \qquad (10)$$

$$P_{ПВ} = \varphi \frac{P_C}{\rho_{С\,ПВ}} \frac{T}{T_C} K_{ПВ} \rho_{Н\,ПВ}. \qquad (11)$$

Є доцільним формулу (11) подати як відношення тиску парів води до коефіцієнта стискуваності наявних у газі парів води, зокрема так:

$$\frac{P_{ПВ}}{K_{ПВ}} = \varphi \frac{T}{T_C} \frac{\rho_{Н\,ПВ}}{\rho_{С\,ПВ}} P_C. \qquad (12)$$

Використавши формулу (12), можна легко оцінити відношення $P_{ПВ}/K_{ПВ}$, яке при стандартних умовах вимірювання $T = T_C$ у стані насичення φ = 1 газу парами води дорівнює $\frac{P_{ПВ}}{K_{ПВ}} = \frac{\rho_{Н\,ПВ}}{\rho_{С\,ПВ}} P_C = 2{,}33712$ кПа.

Результати розрахунків відношення $P_{ПВ}/K_{ПВ}$ виконані для від'ємних температур і відносної вологості газу в долях одиниці для значень 0,1; 0,2 і 1,0 і наведені в табл. 2.

Природний газ є сухим при умові, коли молярна концентрація парів води у газі у долях одиниці не перевищує 0,00005 [5].

Враховуючи наведену вище умову, при якій природний газ є сухим, можемо визначити тиск наявних у газі парів води. Це значення за розрахунками не повинно перевищувати $P_{ПВ} \leq 5$Па.

Якщо врахувати молярну масу води M_i=18,0153 кг/кмоль, то маса парів води з молярною концентрацією в 0,00005 буде складати m_{H_2O}= 0,9 г.

Таблиця 2 – Значення відношення $P_{ПВ}/K_{ПВ}$, розрахованого згідно (12)

t,°C	*T*, К	$\rho_{н\ пв}$, кг/м^3	φ	$P_{ПВ}/K_{ПВ}$, кПа	$P_{н\ пв}$, кПа
-20	253,15	$1{,}0725\cdot10^{-3}$	0,1	0,012519	0,12530
-10	263,15	$2{,}3600\cdot10^{-3}$	0,1	0,028636	0,28660
0	273,15	0,004847	0,1	0,061048	0,61076
10	283,15	0,009398	0,1	0,122701	1,22711
20	293,15	0,017290	0,1	0,233712	2,33692
30	303,15	0,030360	0,1	0,424381	4,24138
40	313,15	0,051150	0,1	0,738576	7,37460
50	323,15	0,083020	0,1	1,237041	12,33480
-20	253,15	$1{,}0725\cdot10^{-3}$	0,2	0,025038	0,12530
-10	263,15	$2{,}3600\cdot10^{-3}$	0,2	0,057272	0,28660
0	273,15	0,004847	0,2	0,122096	0,61076
10	283,15	0,009398	0,2	0,245402	1,22711
20	293,15	0,017290	0,2	0,467424	2,33692
30	303,15	0,030360	0,2	0,848762	4,24138
40	313,15	0,051150	0,2	1,477152	7,37460
50	323,15	0,083020	0,2	2,474082	12,33480
-20	253,15	$1{,}0725\cdot10^{-3}$	1	0,12519	0,12530
-10	263,15	$2{,}3600\cdot10^{-3}$	1	0,28636	0,28660
0	273,15	0,004847	1	0,61048	0,61076
10	283,15	0,009398	1	1,22701	1,22711
20	293,15	0,017290	1	2,33712	2,33692
30	303,15	0,030360	1	4,24381	4,24138
40	313,15	0,051150	1	7,38576	7,37460
50	323,15	0,083020	1	12,37041	12,33480

Таким чином для визначення відносної вологості природного газу необхідно використовувати формулу (2), а комплексний параметр B_1 є поправкою до виразу (4), використання якого забезпечує розрахунок відносної вологості газу з похибкою, яка дорівнює 0,092 % (див. табл. 1).

Природний газ вважається сухим при умові, коли молярна концентрація парів води у газі у долях одиниці не перевищує 0,00005, тиск парів води менший за 5 Па, а їх маса не буде більшою 0,9 г.

Література

1. ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1987. -5 с.

2. Крук І.С., Курило Я.В., Крук О.І. Методика розрахунку вологості природного газу при визначенні його кількості // Методи та прилади контролю якості, №7, 2001.- С.100-102.

3. 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, № 8, 2002. - С. 55 – 57.

4. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. М.: Изд-во стандартов, 1982. -319 с. 5. ISO 6976:1995. Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition.