

ОБ ОДНОМ ПРОСТОМ ЧИСЛЕННОМ МЕТОДЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СИСТЕМ

Р.А. Багов

Адыгейский государственный университет, г. Майкоп

Предлагается численный метод расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных систем для использования в проектировании систем сбора, подготовки и транспорта природного и попутного газа. Метод позволяет определить мольную долю паровой и жидкой фазы при данных термодинамических условиях, а также рассчитать составы сухого газа и конденсата.

Природный или попутный нефтяной газ представляет собой смесь предельных углеводородов (от метана CH_4 до гексана C_6H_{14}) с небольшим количеством неуглеводородных компонентов (азота N_2 , углекислого газа CO_2 и сероводорода H_2S).

При проектировании разработки крупных газовых и газоконденсатных месторождений фазовое состояние углеводородных смесей определяется экспериментальным путем на специальных лабораторных установках. Однако для расчетов систем подготовки, сбора и транспорта попутного газа и небольших газовых месторождений такие исследования оказываются трудоемкими и экономически необоснованными ввиду разнообразия составов газа и термодинамических условий. В этом случае количество паровой и жидкой фазы, их состав предлагается определить расчетным путем.

Компонентный состав углеводородных газов находится с помощью газовой хроматографии. В таблице 1 приведен примерный состав попутного газа первой ступени сепарации и необходимые физические данные.

Таблица 1.

№ п/п	Компонент	Формула	Молекулярный вес (г/моль)	Мольная доля компонента в смеси, z_i	Критические параметры	
					Давление, МПа	Температура, °С
1	Метан	CH_4	16,04	0,660	4,7	-82,5
2	Этан	C_2H_6	30,07	0,150	4,9	32,3
3	Пропан	C_3H_8	44,09	0,137	4,3	96,8
4	Изобутан	C_4H_{10}	58,12	0,015	3,7	135,0
5	n – Бутан	C_4H_{10}	58,12	0,016	3,9	152,0
6	Пентаны	C_5H_{12}	72,15	0,010	3,4	195,0
7	Гексаны	C_6H_{14}	86,12	0,008	3,1	234,7
8	Азот	N_2	28,02	0,004	3,4	-147,1

При термодинамическом равновесии системы фазовое состояние каждого компонента системы определяется константой равновесия данного компонента:

$$K_i = \frac{y_i}{x_i}, \quad i = 1 \div n, \quad (1)$$

где K_i – константа равновесия компонента смеси,

x_i – мольная доля компонента в жидкой фазе,

y_i – мольная доля компонента в паровой фазе.

Константы равновесия находятся по диаграммам Американской ассоциации газового бензина (NGAA) в зависимости от термодинамических условий и состава исходной смеси [1]. Рассмотрим пример расчета фазового состояния смеси, приведенной в таблице 1 при температуре -10°C и давлении 5 МПа .

Обозначим для одного моля углеводородной системы:

A – мольная доля паровой фазы,

B – мольная доля жидкой фазы,

z_i – мольная доля компонента в смеси.

Тогда

$$A + B = 1, \quad (2)$$

$$z_i = x_i B + y_i A. \quad (3)$$

Используя (1), получим из (2) и (3)

$$y_i = \frac{K_i z_i}{(K_i - 1)A + 1}, \quad (4)$$

$$x_i = \frac{z_i}{(K_i - 1)A + 1}. \quad (5)$$

Но так как $\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n y_i = 1$, то произведя суммирование в (4) и (5) и вычтя из суммы (4) сумму (5), получим

$$\sum_{i=1}^n \frac{z_i (K_i - 1)}{(K_i - 1)A + 1} = C = 0. \quad (6)$$

Таким образом, для решения задачи необходимо подобрать такое значение A , чтобы $C = 0$. Для нахождения ошибки в подборе A возьмем производную C по A :

$$\frac{\partial C}{\partial A} = \sum_{i=1}^n \frac{z_i (K_i - 1)^2}{[(K_i - 1)A + 1]^2}. \quad (7)$$

И тогда

$$\Delta A = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i (K_i - 1)}{(K_i - 1)A + 1}}{\sum_{i=1}^n \frac{z_i (K_i - 1)^2}{[(K_i - 1)A + 1]^2}}. \quad (8)$$

Расчет фазового состояния рассматриваемой углеводородной смеси методом последовательных приближений сведен в таблицу 2.

Как видно из таблицы 2 уже при третьем приближении ошибка в определении искомой величины A не превышает 0,15%. Для получения большей точности можно рассчитать следующее приближение.

Таблица 2.

Компонент	Мольная доля, z_i	K_i	$K_i - 1$	$z_i(K_i - 1)$	$z_i(K_i - 1)^2$	$A_1 = 0,90$				
						$(K_i - 1)A_1$	$(K_i - 1)A_1 + 1$	$\frac{z_i(K_i - 1)}{(K_i - 1)A_1 + 1}$	$[(K_i - 1)A_1 + 1]^2$	$\frac{z_i(K_i - 1)^2}{[(K_i - 1)A_1 + 1]^2}$
Метан	0,660	2,600	1,600	1,056	1,690	1,440	2,440	0,4328	5,9536	0,2839
Этан	0,150	0,800	-0,200	-0,030	0,006	-0,180	0,820	-0,0366	0,6724	0,0089
Пропан	0,137	0,400	-0,600	-0,082	0,049	-0,540	0,460	-0,1783	0,2116	0,2316
Изобутан	0,015	0,170	-0,830	-0,012	0,010	-0,747	0,253	-0,0474	0,0641	0,1562
n – Бутан	0,016	0,130	-0,870	-0,014	0,012	-0,783	0,217	-0,0645	0,0471	0,2548
Пентаны	0,010	0,025	-0,975	-0,010	0,010	-0,877	0,123	-0,0813	0,0151	0,6622
Гексаны	0,008	0,007	-0,993	-0,006	0,006	-0,894	0,106	-0,0566	0,0112	0,5357
Азот	0,004	80,000	79,000	0,300	23,700	71,1	72,1	0,0042	519,8410	0,0456
								$\sum = -0,0277$		$\sum = 2,1789$

$$A_2 = A_1 + \Delta A, \quad A_2 = A_1 - 0,0277 / 2,1789 = 0,9 - 0,0127 = 0,8873.$$

$A_2 = 0,8873$					$A_3 = 0,8858$			
$(K_i - 1)A_2$	$(K_i - 1)A_2 + 1$	$\frac{z_i(K_i - 1)}{(K_i - 1)A_2 + 1}$	$[(K_i - 1)A_2 + 1]^2$	$\frac{z_i(K_i - 1)^2}{[(K_i - 1)A_2 + 1]^2}$	$(K_i - 1)A_3$	$(K_i - 1)A_3 + 1$	$\frac{z_i(K_i - 1)}{(K_i - 1)A_3 + 1}$	$\frac{z_i(K_i - 1)^2}{[(K_i - 1)A_3 + 1]^2}$
1,4197	2,4197	0,4364	5,8549	0,2886	1,4173	2,4173	0,4369	0,2892
-0,1775	0,8225	-0,0365	0,6765	0,0089	-0,1772	0,8228	-0,0345	0,0089
-0,5324	0,4676	-0,1754	0,2186	0,2242	-0,5315	0,4685	-0,1750	0,2232
-0,7365	0,2635	-0,0455	0,0694	0,1441	-0,7352	0,2648	-0,0453	0,1404
-0,7719	0,2281	-0,0614	0,0520	0,2308	-0,7706	0,2294	-0,0610	0,2214
-0,8651	0,1349	-0,0741	0,0182	0,5494	-0,8637	0,1363	-0,0734	0,5376
-0,8811	0,1189	-0,0505	0,0141	0,4255	-0,8796	0,1204	-0,0498	0,4000
70,0967	71,0967	0,0042	505,4741	0,0468	69,9782	70,9782	0,0042	0,0470
		$\sum = -0,0028$		$\sum = 1,9186$			$\sum = 0,0021$	$\sum = 1,8677$

$$A_3 = A_2 + \Delta A_1, \quad A_3 = A_2 - \frac{0,0028}{1,9186} = 0,8873 - 0,0015 = 0,8858, \quad A_4 = A_3 + \Delta A_2, \quad A_4 = A_3 + \frac{0,0021}{1,8677} = 0,8858 + 0,0011 = 0,8869.$$

Таким образом, можно предложить следующий алгоритм численного расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных систем:

1. На газовом хроматографе определяется компонентный состав углеводородной смеси.
2. По диаграммам NGAA [1] находятся константы равновесия всех компонентов смеси для необходимых термодинамических условий.
3. Методом последовательных приближений (см. таблицу 2) рассчитывается мольная доля паровой, либо жидкой фазы.
4. По формулам (4) и (5) определяется состав сухого газа и конденсата при данных термодинамических условиях.

Данный алгоритм позволяет рассчитать количество и состав паровой и жидкой фаз при проектировании систем сбора, подготовки и транспортировки нефтяного газа.

Литература

1. GPSA Engineering Data Book. 12 th. ed.. - Tulsa, Okla: GPA - Gas Processors Associations, 2004. (<http://gpsa.gasprocessors.com>)

About one simple numerical method of definition of the phase state of multicomponent hydrocarbonic systems

R.A. Bagov

The numerical method of calculation of a phase state of multicomponent hydrocarbonic systems for use in projection of systems of gathering, preparation and transport of natural and passing gas is offered. The method allows to define a mole fraction steam and a liquid phase under the given thermodynamic requirements, and also to count compositions of dry gas and a condensate.