ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ
НАЧАЛА ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ

Теркина А.К.

Научный руководитель доцент И.М. Долганов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Образование газовых гидратов представляет серьезную проблему в нефтегазовой отрасли. Гидраты образуются в трубопроводах и техническом оборудовании в условиях низких температур и высоких давлений. Первая проблема, с которой сталкиваются предприятия, это закупорка трубопроводов. Газовые гидраты могут привести к полной остановке потока газа или жидкости, что вызывает значительные простои и потери в производственной эффективности. Кроме того, образование гидратов уменьшает поперечное сечение трубы, что приводит к повышению давления потока. Это может вызвать нежелательные напряжения на стенках трубопровода, что увеличит вероятность аварийных ситуаций. Гидраты могут вызывать коррозию и износ, что приводит к необходимости ремонта или замены оборудования. Наконец, присутствие гидратов может ухудшить качество конечной продукции из-за примесей и нестабильности процессов обработки. Таким образом, эффективное определение параметров образования газовых гидратов в нефтегазовой промышленности является ключевым аспектом обеспечения безопасности и эффективности производственных процессов.

Цель исследования заключается в разработке математической модели, которая позволит прогнозировать температуру, при которой начинается образование гидратов. На сегодняшний день существует множество методов расчета PVT-параметров, и в данной работе рассмотрен один из них, который подробно описан и скорректирован в статье О.В. Калашникова, а именно, метод Макагона-Скалахо, основная корреляция которого имеет вид [1]:

$$\lg P = \beta + \alpha (t_r + kt_r^2),$$

здесь P – давление (бар), t_r – температура образования гидратов (°C), α – постоянный коэффициент, а β и k – коэффициенты, определяемые интерполяцией по относительной плотности смеси.

Первая методика, по которой ведется расчет – методика МС. Вычисление температуры производится по уравнению, представленному выше, при условии, что $\alpha = 0,0497$. Вторая методика – МС-К – отличается от предыдущей пересчетом параметра относительной плотности с использованием эквивалентных значений индивидуальных веществ, при допущении о неизменяющемся значении величины k. Третья методика основывается на учете корреляций для гидратов двух структур.

Так, для гидратов первой структуры:

$$\left(1 + (4.8[CH_4] + 150[H_2S] + 1.5[N_2])p_{св}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{1}{p_{св}} \left(\frac{[CH_4]}{6.16} + \frac{[H_2S]}{0.236} + \frac{[N_2]}{55} + \frac{[CO_2]}{1.25} + \frac{[C_2H_6]}{0.526} \right),$$

здесь [N] – молярная концентрация компонента в смеси, где N – компонент газовой смеси, $p_{св}$ – давление гидратообразования при 0 °C.

Для гидратов второй структуры:

$$\left(1 + (2.4[CH_4] + 45[H_2S] + 0.96[N_2] + 1.4[CO_2])p_{св}\right)^2 = \frac{1}{p_{св}} \left(\frac{[CH_4]}{200} + \frac{[H_2S]}{10} + \frac{[N_2]}{3217} + \frac{[CO_2]}{10} + \frac{[C_2H_6]}{2.5} + \frac{[C_3H_8]}{0.176} + \frac{[iC_4H_{10}]}{0.113} + \frac{[nC_4H_{10}]}{1.6} \right)$$

В ходе работы был произведен расчет температур образования гидратов по трем методикам на основе упомянутых уравнений с использованием языка программирования Python. Полученные результаты подлежали сравнению с известными экспериментальными данными. Далее модель была протестирована на собственных составах в диапазонах представленных давлений и полученные температуры были сопоставлены с данными, полученными при помощи специализированного программного обеспечения. Составы трех исследуемых газовых смесей приведены в таблице 1, полученные результаты – в таблицах 2 и 3, где $t_э$ – экспериментальные значения температур, ε – погрешность.

Таблица 1

Исследуемые составы газовых смесей

Компоненты	Составы		
	1	2	3
CO2	0	0,00569	0,0286
N2	0,0064	0,06556	0,0128
CH4	0,8641	0,71333	0,8632
C2	0,0647	0,08564	0,0488
C3	0,0357	0,04445	0,001
i-C4	0,0099	0,04111	0,0171
n-C4	0,0114	0,0233	0,0082
C5+	0,0078	0,0118	0,0193
h2s	0	0,00912	0,001

**СЕКЦИЯ 8. ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО
И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Таблица 2

Результаты исследования первой смеси

Состав	Р, МПа	t, С							
		t ₃ , С	МС	ε, %	МС-К	ε, %	МС-ИК	ε, %	ПО
1	1,37	6,7	5,1825	22,649254	7,1026	6,0089552	8,6575	29,216418	6,5877
	2,74	12,8	10,6693	16,646094	12,5167	2,2132813	13,796	7,78125	12,2019
	5,49	17,5	15,843	9,4685714	17,0842	2,376	18,1968	3,9817143	17,295
	10,29	21,1	20,2818	3,8777251	20,7362	1,7241706	21,7431	3,0478673	20,8032
	27,44	25	26,8303	7,3212	25,8146	3,2584	26,7037	6,8148	25,4309

Таблица 3

Результаты исследования собственных смесей

Состав		Р, МПа											
		3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	8	10	12	15
2	МС	14,69	15,59	16,38	17,07	17,69	18,25	18,77	19,24	20,08	21,46	22,58	23,92
	ε, %	13,18	12,32	11,51	10,77	10,07	9,34	8,66	7,99	6,69	4,11	1,53	1,14
	МС-К	16,68	17,51	18,22	18,84	19,39	19,89	20,35	20,77	21,51	22,72	23,68	24,83
	ε, %	1,42	1,52	1,57	1,52	1,42	1,19	0,97	0,67	0,05	1,52	3,27	4,99
	МС-ИК	17,99	18,79	19,47	20,07	20,59	21,08	21,51	21,91	22,62	23,78	24,70	25,80
	ε, %	6,32	5,68	5,19	4,91	4,68	4,72	4,67	4,78	5,11	6,26	7,72	9,09
	ПО	16,92	17,78	18,51	19,13	19,67	20,13	20,55	20,91	21,52	22,38	22,93	23,65
3	МС	12,93	13,91	14,77	15,53	16,21	16,82	17,39	17,91	18,83	20,36	21,59	23,07
	ε, %	10,51	9,87	9,49	9,37	9,38	9,36	9,58	9,81	10,50	12,30	13,99	15,70
	МС-К	12,54	13,471	14,27	14,97	15,59	16,14	16,64	17,10	17,91	19,23	20,27	21,51
	ε, %	7,18	6,41	5,78	5,42	5,20	4,94	4,85	4,84	5,11	6,07	7,02	7,87
	МС-ИК	12,63	13,29	13,86	14,36	14,80	15,20	15,57	15,9	16,49	17,46	18,23	19,15
	ε, %	7,95	4,98	2,74	1,13	0,13	1,17	1,89	2,51	3,23	3,70	3,75	3,96
	ПО	11,7	12,66	13,49	14,20	14,82	15,38	15,87	16,31	17,04	18,13	18,94	19,94

В первом случае наибольшую близость к экспериментальным значениям демонстрирует методика МС-К. Основываясь на близости данных, полученных с помощью ПО к истинным, дальнейшее исследование проводится относительно них. Приведенные составы 2 и 3 учитывают содержание сероводорода и позволяют проанализировать возможное образование гидратов 2 и 1 структур соответственно. Полученные результаты показывают наибольшую близость к истинным значениям в случае применения методик МС-К для гидратов 2 структуры и МС-ИК для гидратов 1 структуры. Наибольшее отклонение наблюдается при низких и высоких давлениях (до 1 °С или же 8 %).

В дальнейшем планируется провести исследование на других составах и выявить, сравнить результаты с данными, полученными с помощью других методик и выявить оптимальную корреляцию расчета температуры.

Литература

1. Калашников О.В. К определению температуры гидратообразования во влажном природном газе // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2001. - №3. - С. 8.