

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА

© М.Т.Абасов и др., 2012

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЗОВ НА ПРОЦЕСС ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ КОНДЕНСАТОВ

М.Т.Абасов, З.Я.Аббасов, В.М.Фаталиев, Н.Н.Гамидов, Г.Г.Мамедова, Р.Д.Гасымова

*Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А*

В статье представлены результаты исследований влияния критических свойств рабочего агента – газов различного состава – на эффективность их воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины. При этом впервые установлено, что критические величины давления, температуры, коэффициента сжимаемости, а также ацентрического фактора закачиваемого газа существенно влияют на количество добываемого конденсата путем испарения.

Известно, что взаимное растворение жидкости и газа, помимо давления и температуры, зависит от их состава и свойств. Например, с ростом плотности и молекулярной массы растворимость углеводородного газа в конденсатах улучшается. Однако наличие азота или углекислого газа в составе смеси углеводородных газов по-разному влияет на ее растворимость в конденсатах. Так, если азотсодержащие углеводородные газы ухудшают их растворимость в конденсатах, то наличие углекислого газа действует на этот процесс положительно. С ростом количества парафиновых углеводородов в составе конденсата растворимость в нем газов той же природы улучшается, а в конденсатах ароматического ряда растворимость газов ухудшается (Абасов и др., 2006; Рид и др., 1982).

Известно, что растворение газов в углеводородной жидкости при низких давлениях и температурах подчиняется линейному закону Генри, а при более высоких термобарических условиях эта линейная зависимость нарушается. Поэтому, несмотря на наличие многих эмпирических и полуэмпирических закономерностей, экспериментальные исследования для конкретных смесей считаются более надежными.

В данной работе экспериментально изучается влияние критических свойств смеси газов различного состава на показатели процесса

испарения углеводородного конденсата.

Эксперименты проводились в стандартных pVT установках типа УГК-3 по общепринятой методике (Абасов и др., 2006; Abasov и др., 1997), где использовался конденсат плотностью 748,6 кг/м³, молекулярной массой 108 кг/моль. Исследовались семь рекомбинированных газоконденсатных систем с конденсатосодержанием каждого 200 г/м³, в составе которых имелись и неуглеводородные газы, такие как углекислый газ CO₂ или азот (N₂). В каждой смеси определялось количество растворенного в жидкой фазе газа и растворенного в паровой фазе конденсата при условии P=12,0 МПа и T=100°C (Абасов и др., 2006; Abasov и др., 1997).

В результате исследований установлены характер зависимости изменения количества конденсата в паровой фазе, ее компонентный состав в рассмотренных семи смесях и количество испарившегося конденсата в зависимости от содержания растворенного газа в жидкости (таблица 1). При этом было определено, что с ростом содержания растворенного в жидкой фазе газа количество испарившегося конденсата увеличивается.

Основываясь на результатах проведенных экспериментов, установлено влияние термодинамических свойств газовых смесей (табл.1) на данный процесс. С этой целью были определены физико-термодинамические

параметры, в частности критические свойства вышеназванных газовых смесей, изучено влияние этих параметров на количество испарившегося конденсата.

Для расчета критических свойств газов, таких как давление, температура, мольный объем, плотность, сжимаемость, с использованием методики (Аббасов, 1988), как наиболее точной из известных полуэмпирических, создавалась специальная компьютерная программа (Fətəliyev и др., 2004).

Ниже приведен алгоритм расчета критических свойств газовых смесей по (Аббасов, 1988):

– по известному компонентному составу системы $\{x_i\}$ по формуле Ли (Рид и др., 1982) определяется приближенное значение критической температуры:

$$T_L = \frac{\sum x_i V_i T_i}{\sum x_i V_i}, \quad (1)$$

где T_i – критическая температура компонента.

Система согласно условию:

$(T_i)_1 < T_L \leq (T_i)_2$ делится на 2 псевдокомпонента; x_i – мольная доля компонента; V_i – критический мольный объем компонента. T_1 и T_2 определяются из:

$$T_1 = \frac{\sum (x_i V_i T_i)_1}{\sum (x_i V_i)_1}; \quad T_2 = \frac{\sum (x_i V_i T_i)_2}{\sum (x_i V_i)_2}, \quad (2)$$

мольная доля второго обобщенного псевдокомпонента определяется как:

$$x_2 = \sum (x_i)_2,$$

а его мольно-объемная доля:

$$y_2 = \frac{\sum (x_i V_i)_2}{\sum (x_i V_i)}; \quad (3)$$

– по найденным значениям T_1, T_2, X_2, Y_2 уравнения:

$$T_k' = T_1 + (T_2 - T_1) \times \left[1,176 - 1,2 \exp(-x_2 y_2 - \sqrt{x_2 y_2}) \right] \quad (4)$$

вычисляется критическая температура смеси; – псевдокритический мольный объем определяем:

$$V_{nk}' = \sum \sum x_i x_j \left(\frac{\sqrt[3]{V_i} + \sqrt[3]{V_j}}{2} \right)^3. \quad (5)$$

Здесь x_i, x_j – мольная доля компонентов первой и второй группы и определяется как:

$$x_i = \sum (X_i)_1 \quad \text{и} \quad x_2 = \sum (X_j)_2 \quad (6)$$

Таблица 1

Сведения о компонентном составе газов I – VII, их относительной плотности и ацентрическом факторе

Компонентный состав	Составы систем (моль.%)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
C ₁	91,13	82,13	73,31	58,13	82,19	72,54	64,80
C ₂	6,78	5,74	4,88	1,11	6,03	5,93	4,07
C ₃	1,10	1,25	1,11	0,28	1,05	0,96	0,72
i-C ₄	0,32	0,20	0,16	0,18	0,25	0,22	0,17
n-C ₄	0,26	0,30	0,22	0,09	0,33	0,21	0,15
i-C ₅	0,09	0,10	0,08	0,01	0,08	0,08	0,05
n-C ₅	0,12	0,07	0,06	0,02	0,06	0,05	0,03
ΣC ₆	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
N ₂	0,02	10,00	20,00	40,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	0,14	0,20	0,17	0,17	10,00	20,00	30,00
Относительная плотность	0,6128	0,6486	0,6821	0,7352	0,7017	0,7946	0,8772
Ацентрический фактор	0,0179	0,0203	0,0221	0,0235	0,0575	0,0982	0,1371

– критический коэффициент сжимаемости системы вычисляется из выражения:

$$Z_{ПК} = \frac{P_K V_{ПК}}{RT_K}$$

Здесь для определения критического давления P_K :

$$P_{ПК}' = Z_{ПК}' \frac{RT_K'}{V_{ПК}'} \quad (7)$$

$$z_{ПК}' = 0,1349 \left[(z_x - 0,75)^2 + 1,3889 \right]^2 - 0,0231 \quad (8)$$

$$z_x = \frac{T_{K_2}}{T_{K_1} + 70(x_2 + 1)} - \frac{0,06}{(x_2 + 0,2)^2} + \frac{0,21}{x_2 + 0,2} \quad (9)$$

– для обобщенного компонента C_{5+} критические параметры вычисляются из выражений (Loo et al., 2001):

$$T_K = \lg(M-89) - \frac{131}{M-89} + \frac{M}{2} + 529 + 1,2(M-140) \left(\frac{0,76}{\rho} - 1 \right)$$

$$P_K = \frac{\rho}{M} + 12$$

$$Z_K = 10^{-3} (296 - 0,31 M) \quad \omega = 0,0037M - 0,0769. \quad (10)$$

Здесь M, ρ – молекулярная масса и плотность фракции C_{5+} (конденсата).

Пользуясь программой (Fətəliyev и др., 2004), рассчитывались критические параметры систем, результаты которых приведены в табл.2.

Попытаемся на базе данных табл.1 и 2 выявить основные закономерности влияния критических параметров смеси на интенсив-

ность процесса испарения выпавшего конденсата при воздействии газами различного состава.

Приведенные в табл.2 газовые смеси по количеству добываемого за счет испарения конденсата (в %) могут быть по возрастанию представлены как: IV (6,1%), III (7,9%), II (8,3%), I (8,5%), V (8,8%), VI (9,3%) и VII (10,2%). Пользуясь данной последовательностью, на рис.1 представлены графики зависимости количества добываемого конденсата от физико-термодинамических параметров, характеризующих упомянутые газоконденсатные смеси.

Как видно из рис.1, улучшается испаряющая способность закачиваемого газа при повышенных температурах и пониженных давлениях. Например, рост критической температуры системы от 189,281К до 192,557К и снижение критического давления в интервале 9,3-6,9 МПа приводят к увеличению количества добываемого конденсата за счет испарения от 6,1 до 10,2%.

Отметим, что представленные на рис.1 зависимости находятся в соответствии с положениями голландского физика Ван-Дер-Ваальса, согласно которому в случае добавления в систему компонента с высокой критической температурой и низким критическим давлением, давление начала конденсации такой смеси понижается, в результате чего количество конденсата в паровой фазе возрастает.

Влияние критической плотности и коэффициента критической сжимаемости на показатели процесса испарения показано на рис.2. Как видно из рис.2, при снижении критической плотности системы в интервале 220-160 кг/м³ количество отобранного конденсата возрастает от 6 до 8,5%, после чего рост плотности приводит к резкому повышению продуктов испарения до 10,5%.

Таблица 2

Критические параметры систем

Критические параметры	Смеси газов и их состав (моль. %)						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Давление (МПа)	9,324	9,746	10,496	14,072	8,422	7,454	6,911
Температура (К)	189,281	181,558	174,758	160,452	190,066	191,567	192,577
Мольный объем (см ³ /моль)	115,576	114,22	112,510	107,731	114,625	113,698	111,782
Коэффициент сжимаемости	0,288	0,288	0,88	0,289	0,286	0,285	0,284
Плотность, кг/м ³	220,1318	193,9127	180,3365	166,414	196,1549	226,5578	256,1507

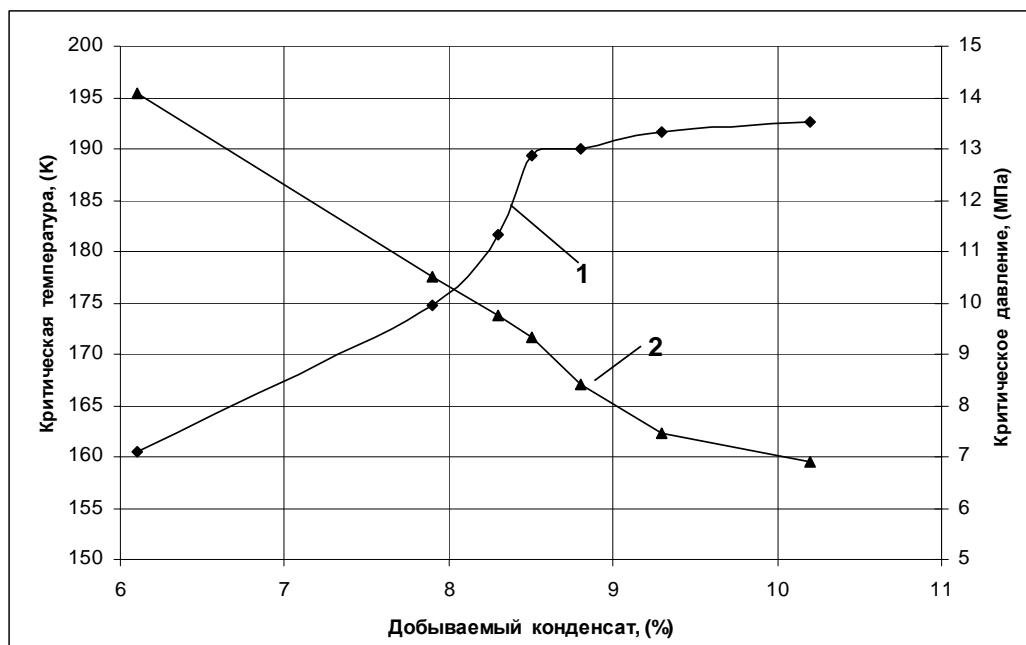


Рис. 1. Зависимость изменения количества добываемого испарением конденсата от критической температуры (1) и давления (2)

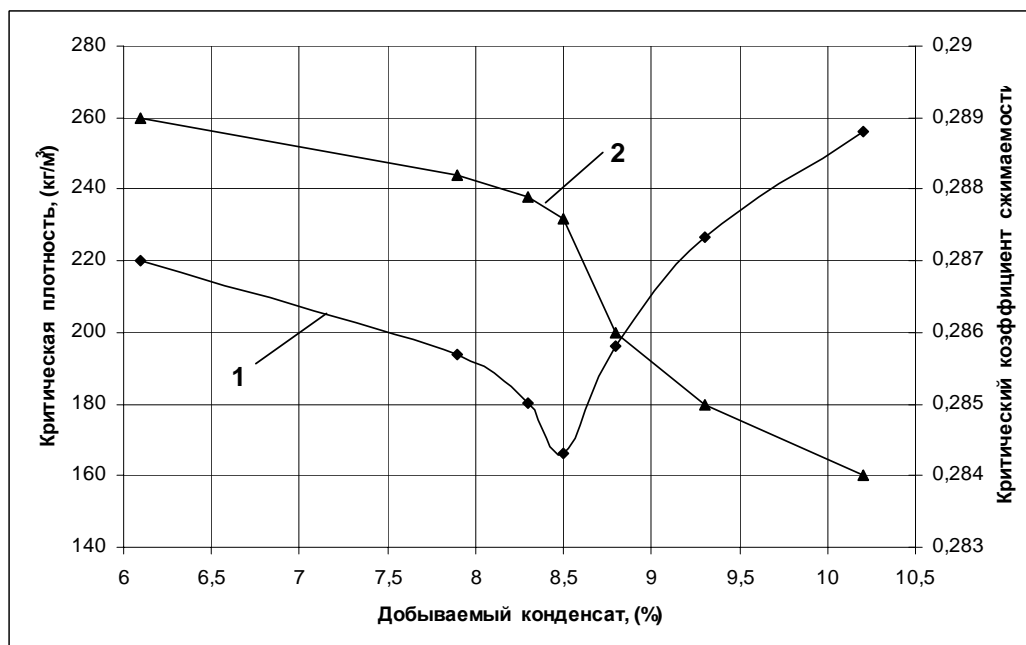


Рис. 2. Зависимость количества добываемого конденсата в извлеченном газе от критической плотности (1) и критического коэффициента сжимаемости газа (2)

В отличие от вышесказанного, понижение значения критического коэффициента сжимаемости улучшает испаряющую способность рабочего агента (газа).

Таким образом, становится очевидным, что повышение критической температуры и снижение критического давления и коэффициента сжимаемости улучшают испаряющую

способность газовой системы.

Известно, что одной из физических констант чистых веществ является ацентрический фактор, который характеризует степень отклонения молекул вещества от сферической формы. В одноатомных веществах этот фактор почти равен нулю (Рид и др., 1982). А в высокомолекулярных углеводородных компонентах его значение растет. В полярных веществах величина ацентрического фактора резко возрастает (Рид и др., 1982). В зависимости от значения ацентрического фактора изменяются основные параметры, характеризующие фазовое состояние углеводородных систем. В связи с этим представляет интерес изучение влияния величины ацентрического фактора на показатели процесса испарения углеводородных конденсатов. На рис.3 показана зависимость изменения количества добываемого конденсата от ацентрического фактора и относительной плотности рабочего агента.

Как видно из рис.3, влияние относительной плотности газа – рабочего агента – на количество испаряемого конденсата не представляется возможным определить в достаточной степени, но его ацентрический фактор по возможности влияет на это количество, увеличивая его значение.

Таким образом, на технико-экономические показатели метода воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины газами различного состава существенно влияет состав рабочего агента, при этом считается выгодным использование в составе рабочего агента газа более доступного и дешевого, не понижающего испаряющие его свойства. В этом смысле можно построить ряд предлагаемых к применению для этой цели газов по их испаряющим свойствам: этан (1) – углекислый газ (2) – метан (3) – азот (4) и т.д. С учетом сказанного, на рис.4 приведена гистограмма, где показаны изменения их плотности, ацентрического фактора при нормальных условиях и критического коэффициента сжимаемости в соответствии с приведенной выше последовательностью.

Как видно из рис.4, вышеназванные физические параметры (относительная плотность и ацентрический фактор) для этана и углекислого газа выше, чем для метана. Для азота эти показатели достаточно высокие по сравнению с метаном, и, несмотря на это, его испаряющая способность находится на последнем месте в этом ряду. Если рассматривать критический коэффициент сжимаемости, то его уменьшение повышает способность испарения газа.

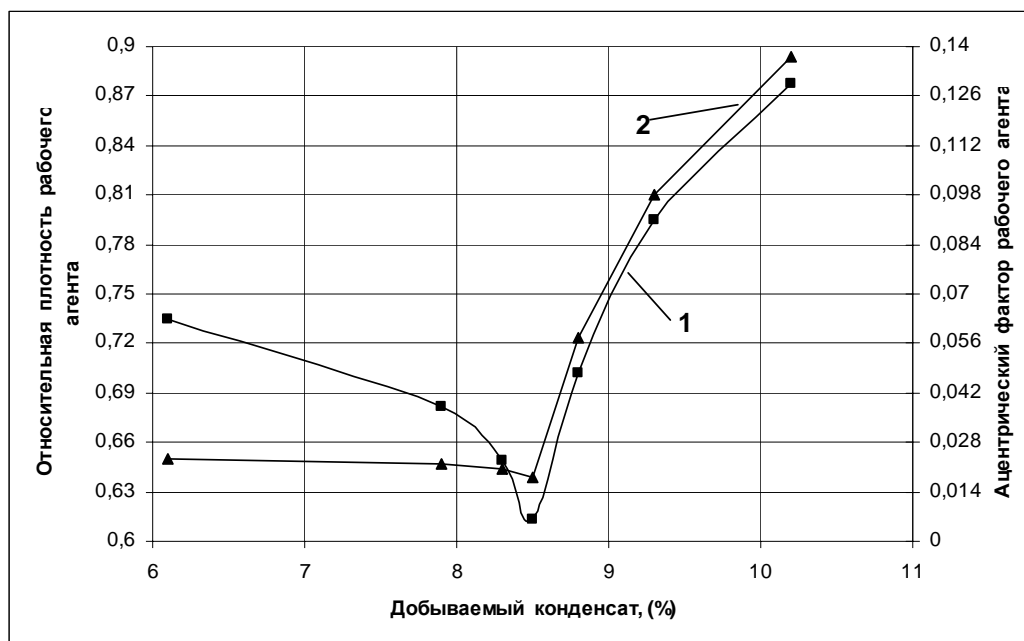


Рис. 3. Зависимость количества добываемого конденсата от относительной плотности газа (в нормальных условиях) – 1 и ацентрического фактора – 2

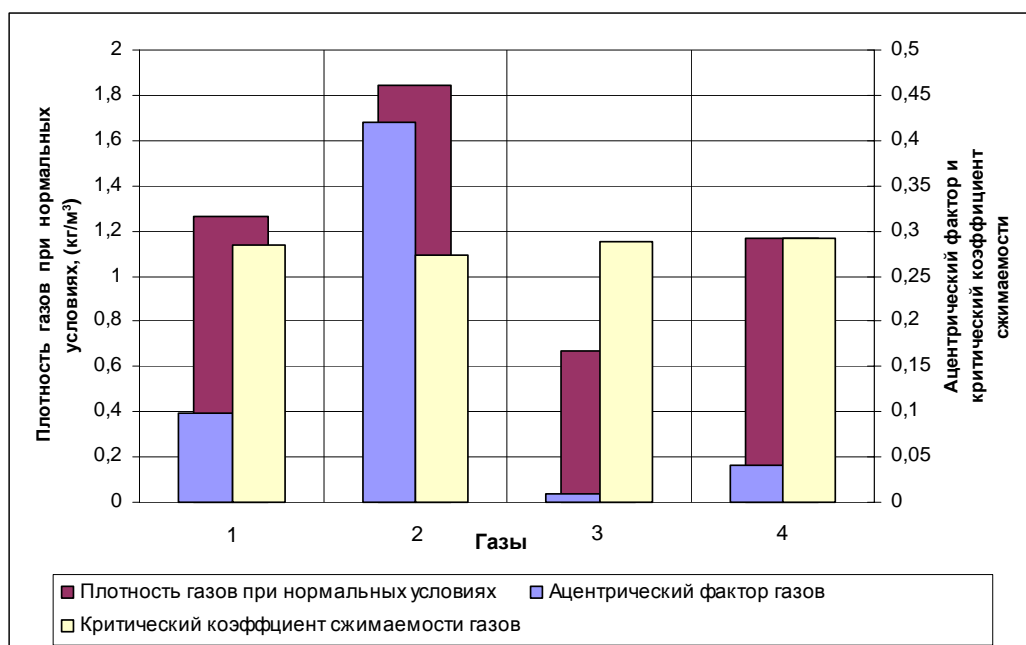


Рис. 4. Гистограмма изменения плотности, ацентрического фактора различных газов в нормальных условиях и критического коэффициента сжимаемости (1 – этан, 2 – углекислый газ, 3 – метан, 4 – азот)

Полученные результаты анализа физико-термодинамических параметров газов показывают, что выбор наиболее выгодного сочетания углеводородных и неуглеводородных газов в составе рабочего агента на основании его критических параметров является более целесообразным для решения поставленной задачи.

Таким образом, аналитически изучено влияние критических параметров закачиваемого рабочего агента – газов различного состава – на показатели испарения конденсата газами. При этом впервые установлено, что значения критического давления, температуры, коэффициента сжимаемости и ацентрического фактора закачиваемого рабочего агента оказывают существенное влияние на эффективность процесса.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., АБАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М., ГАМИДОВ, Н.Н., МАМЕДОВА, Г.Г. 2006. Экспериментальное исследование влияния растворимости в углеводородных конденсатах газов различного состава на показатели истощения газоконденсатной системы. *Известия АН Азербайджана. Науки о Земле*, 3, 64-69.
- АБАСОВ, З.Я. 1988. Газогидродинамические основы движения газа и газожидкостных систем аэрозольной структуры в скважинах. Дис. на соиск. уч. степ. докт. наук. Баку.
- РИД, Р., ПРАУСНИЦ, Д.Ж., ШЕРВУД, Т. 1982. Свойства газов и жидкостей. Химия. Ленинград. 591.
- FƏTƏLİYEV, V.M., MƏMMƏDOVA, G.H., QASIMOVA, R.C. 2004. Qaz-kondensat sisteminin böhran parametrlərinin statistik modelləşdirilməsi. *İnformasiyaləşdirmə, kibernetika və informasiya texnologiyalarının müasir problemləri*. II Respublika elmi konfransının materialları. Bakı, 26-28 oktyabr, 5-7.
- ABASOV, M.T., ABBASOV, Z.Y., HAMIDOV, N.N. et al. 1997. Experimental study on phase behavior of Azerbaijan gas-condensate deposits hydrocarbon system. *Inter. Confer. On Fluid. Thermal Energy Conversion*. Jakarta.
- LUO, K., LI, S., ZHENG, X. et al. 2001. Experimental investigation revaporization of retrograde condensate by lean gas injection. Jakarta.