

© В.М.Фаталиев, Н.Н.Гамидов, Г.Г.Мамедова, О.И.Гейдаров, 2013

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ ОСТАВШЕГОСЯ В ПЛАСТЕ КОНДЕНСАТА НА ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ЕГО ИСПАРЕНИЯ

В.М.Фаталиев², Н.Н.Гамидов², Г.Г.Мамедова¹, О.И.Гейдаров²

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

2 – НИПИ «Нефтегаз»
AZ1012, Баку, ул. Зардаби, 88

В статье рассматриваются методические вопросы определения плотности оставшегося в пласте конденсата и ее влияния на эффективность воздействия на призабойную зону скважины «сухим» углеводородным газом.

В работе (Абасов и др., 1998) показано, что на эффективность процесса обработки призабойной зоны скважины газами различного состава, в частности «сухим» углеводородным газом, кроме конденсатосодержания, температуры, давления, темпа закачки и т.д., существенное влияние может оказать плотность конденсата.

В другой работе (Abasov et al., 1998) нами подробно изложены результаты экспериментального изучения влияния плотности конденсата на показатели процесса испарения в бомбе pVT. При этом, искусственно изменяя плотность конденсата в пределах 745-810 кг/м³ при постоянной температуре 100°C, показано, что зависимость количества испарившегося конденсата от его плотности носит нелинейный характер и только в начальной части кривой в интервале плотностей 745-755 кг/м³ наблюдается искривленность графика, а в интервале плотности 755-810 кг/м³ зависимость прямолинейная с небольшим уклоном.

Опыты по изучению степени испаряемости конденсата «сухим» углеводородным газом в бомбе pVT при значениях температуры 60°, 80°, 100° и 120°C показали, что с ее ростом от 60 до 120°C конденсатоотдача увеличивается от 19 до 25,4%. При этом плотность остатка конденсата в бомбе pVT увеличивается от 783,5 до 793,2 кг/м³.

В работах по воздействию на призабойную зону газоконденсатной скважины газами различного состава, в том числе «сухим» углеводородным, представляет несомненный

интерес изучение физических свойств оставшегося конденсата.

В экспериментах в бомбе pVT измерение плотности остатка конденсата не составляет большого труда, так как после завершения работ по испарению конденсата «сухим» углеводородным газом бомба pVT освобождается от растворенного газа и после стабилизации конденсата при нормальных условиях проводятся соответствующие физико-химические исследования.

Определенные трудности подобные исследования создают в условиях пористой среды, так как прямые измерения плотности оставшегося конденсата после каждого опыта не представляются возможными. Между тем наличие этой информации является весьма важным при планировании работ по воздействию на призабойную зону газоконденсатной скважины в реальных условиях.

Учитывая сказанное, нами изучалось влияние начальной плотности конденсата и его остатка после истощения газоконденсатной залежи на интенсивность испарения конденсата. В экспериментах использовались пробы конденсата и газа из скв.46 залежи VII горизонта месторождения Булла-дениз. В опытах изменение плотности конденсата VII горизонта было достигнуто смешиванием его продукции с таковыми из скважин VIII горизонта.

Количество опытов определялось методом планирования экспериментов по методике (Протодьяконов, Тедер, 1970). При этом исследовалось влияние пористости и степени

обводненности пласта, температуры и плотности конденсата на количество добываемого испарением конденсата. Ниже рассматриваются результаты одного из 25 проведенных экспериментов.

Эксперимент проводился в модели пласта, состоящей из кварцевого песка различного помола пористостью 24,12%, с содержанием остаточной воды 20%. При этом конденсатосодержание системы имело значение 150 г/м³,

плотность конденсата – 737,9 кг/м³. Процесс дифференциальной конденсации проводился в интервале давлений 30,0-6,0 МПа при постоянной температуре 110°C.

Нами изучался процесс истощения залежи и изменение плотности оставшегося в модели пласта конденсата после каждой ступени снижения давления в указанном выше интервале. Полученные при этом экспериментальные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Сведения о полученных результатах в процессе дифференциальной конденсации в модели пласта

Ступени снижения давления, МПа	Количество добытого		Плотность добываемого конденсата (кг/м ³)	Текущая конденсатотдача (%)
	газа (10 ⁻³ м ³)	конденсата (10 ⁻⁶ м ³)		
30,0-24,0	19	3,3	737,91	11,3
24,0-18,0	22	3,7	730,44	12,67
18,0-12,0	26	2,7	724,61	9,25
12,0-6,0	28	1,05	719,82	3,42
Сумма	95	10,75	-	36,64

Таблица 2

Сведения о составе газов при дифференциальной конденсации системы в модели пласта

Ступени снижения давления, МПа	Газоконденсатная система	Компонентный состав газоконденсатной системы									Количество C ₅₊ (г/м ³)
		C ₁	C ₂	C ₃	i-C ₄	n-C ₄	i-C ₅	n-C ₅	C ₆₊	CO ₂	
30,0-24,0	Сепарация	90,01	7,84	1,07	0,24	0,35	0,15	0,13	0,04	0,17	9,8
	Дегазация	73,37	10,74	6,45	2,04	3,78	1,70	0,95	0,34	0,63	91,5
24,0-18,0	Сепарация	91,00	7,15	1,05	0,19	0,27	0,10	0,06	0,02	0,16	5,5
	Дегазация	69,95	11,41	8,3	2,10	3,80	1,72	1,23	0,80	0,67	115,8
18,0-12,0	Сепарация	90,94	6,9	1,14	0,25	0,35	0,11	0,09	0,04	0,18	7,4
	Дегазация	69,84	12,00	8,2	2,13	4,03	1,52	0,94	0,81	0,53	102,6
12,0-6,0	Сепарация	89,91	8,00	1,06	0,25	0,35	0,15	0,11	0,05	0,12	9,6
	Дегазация	71,67	10,62	7,77	2,45	3,98	1,55	0,93	0,39	0,64	88,2

Как видно из полученных результатов, данные пористой среды существенно отличаются от таковых pVT-бомбы, и изменение основных параметров процесса подчиняется общепринятым закономерностям.

Как было сказано выше, прямое измерение величины плотности конденсата, оставшегося в модели пласта, весьма трудная задача. Но эту задачу можно решить на основании уравнения материального баланса (Абасов и др., 2011б), имея сведения о плотности конденсата при нормальных условиях или массе исходного и добываемого конденсата на каждой ступени изменения давления в процессе истощения газоконденсатной залежи. Допустим, что при составлении рекомбинированной системы использован конденсат массой $m_{нач.}$, объемом $V_{нач.}$ и плотностью $\rho_{нач.}$ и она приведена в однофазное газовое состояние поднятием давления в pVT-бомбе (или модели пласта). Попытаемся определить плотность конденсата после первого этапа снижения давления, для чего воспользуемся уравнением материального баланса:

$$m_{нач.} = m_{доб.1} + m_{ост.1}. \quad (1)$$

Здесь, $m_{ост.1}$ – масса оставшегося конденсата в нормальных условиях после первого этапа снижения давления, в кг; $m_{доб.1}$ – масса добытого стабильного в паровой фазе в газе сепарации и дегазации конденсата.

Если заменить массу конденсата через его объем и плотность, тогда:

$$\rho_{нач.} \cdot V_{нач.} = \rho_{доб.1} \cdot V_{доб.1} + \rho_{ост.1} \cdot V_{ост.1}. \quad (2)$$

Здесь $\rho_{доб.1}$, $\rho_{ост.1}$ – плотности добытого и оставшегося конденсата в нормальных условиях, в кг/м³; $V_{доб.1}$, $V_{ост.1}$ – объемы добытого и оставшегося конденсата в нормальных условиях, в м³.

Зная, что $V_{нач.} = V_{доб.1} + V_{ост.1}$, плотность оставшегося в pVT-бомбе (или модели пласта) конденсата после первой ступени снижения давления можно найти из:

$$\rho_{ост.1} = \frac{[\rho_{нач.} (V_{доб.1} + V_{ост.1}) - \rho_{доб.1} \cdot V_{доб.1}]}{V_{ост.1}}. \quad (3)$$

После некоторого преобразования формулу (3) можно записать для любой ступени снижения давления в виде:

$$\rho_{ост.i} = \rho_{ост(i-1)} + \frac{V_{доб.i} (\rho_{ост(i-1)} - \rho_{доб.i})}{V_{ост.i}}. \quad (4)$$

Здесь $\rho_{ост.i}$, $\rho_{доб.i}$ – плотности стабильного конденсата, добытого и оставшегося конденсата в модели пласта на любой i -той ступени давления, в кг/м³; $V_{ост.i}$, $V_{доб.i}$ – объемы в нормальных условиях оставшегося и добытого конденсата на любой ступени снижения давления, в м³.

Используя сведения, приведенные в таблицах 1 и 2, можно определить плотность стабильного конденсата, оставшегося в модели пласта после каждой ступени давления, по формуле (4).

На рис.1 представлена динамика изменения плотности оставшегося в модели пласта и добытого конденсата в зависимости от давления.

Как видно из рис.1, плотность добываемого конденсата в процессе дифференциальной конденсации постепенно снижается от 737,91 до 719,81 кг/м³, а оставшегося возрастает. Это, безусловно, связано с процессом ретроградной конденсации, имеющим место при истощении залежи в модели пласта, и эта тенденция продолжается, как правило, до достижения давления максимальной конденсации системы.

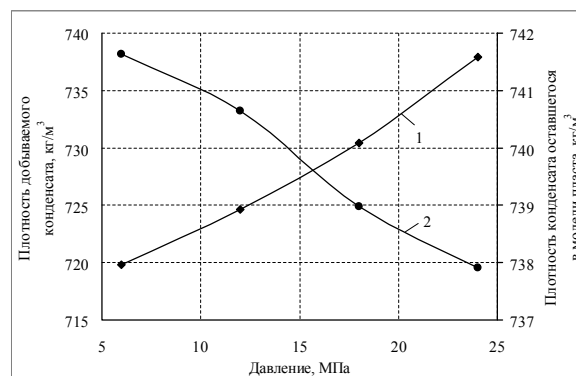


Рис. 1. Зависимость плотности добытого (1) и оставшегося (2) конденсата от давления

После достижения величины давления максимальной конденсации и последующего его снижения количество добываемого конденсата несколько убывает. В отличие от вы-

шеприведенной тенденции плотность оставшегося в модели пласта конденсата в процессе дифференциальной конденсации системы увеличивается по прямолинейному закону. Но как видно из рис.1, по мере приближения к значению давления начала конденсации интенсивность темпа повышения плотности конденсата ослабевает.

Как показывает практика, повышение плотности оставшегося в пласте конденсата продолжается и после достижения значения давления максимальной конденсации системы. Это происходит за счет обратного испарения и добычи сравнительно легких компонентов жидкого конденсата.

Таким образом, становится очевидным, что одним из факторов, влияющих на компонентоотдачу газоконденсатной залежи, эксплуатирующейся в режиме истощения, является уменьшение количества растворенного газа в жидкой фазе из-за увеличения ее плотности. Учитывая это, рассмотрим влияние начальной величины плотности стабильного конденсата на конечную конденсатоотдачу залежи в режиме истощения в виде зависимостей конденсатоотдачи от пористости (m), количества остаточной воды (ϕ), температуры пласта (T) и плотности конденсата (ρ), в которых использованы некоторые результаты экспериментальных исследований, приведенных в (Абасов и др., 2011а, б):

$$\eta = f(m, \phi, T, \rho).$$

Здесь, оставляя некоторые параметры постоянными ($m=0,2$, $\phi=20\%$, начальное конденсатосодержание 150 г/м^3), проанализировано влияние плотности (начальное) стабильного конденсата на конечную конденсатоотдачу залежи в режиме истощения. Учитывая сильное влияние температуры на интенсивность растворения газа в жидкой фазе, а также на ее плотность, интервал ее изменения принят как $80-110^\circ\text{C}$ и введен в расчетную схему. На основании этих расчетов построены зависимости, показанные на рис.2.

Как видно из рис.2, начальное значение плотности стабильного конденсата резко влияет на конечную конденсатоотдачу залежи, то есть при постоянном значении температуры (в интервале $80-110^\circ\text{C}$) увеличение

плотности конденсата от 700 до 800 кг/м^3 прямолинейно уменьшает конечную конденсатоотдачу до $18,1\%$ независимо от величины температуры. Из данного рисунка также видно, что при постоянном значении плотности конденсата (в интервале $700-800 \text{ кг/м}^3$) изменение температуры от 80 до 110°C приводит к росту конечной конденсатоотдачи на 9% .

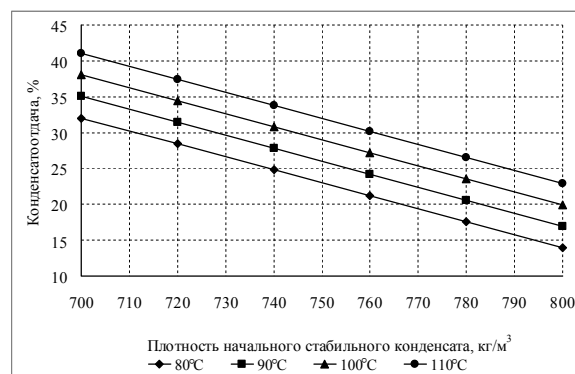


Рис. 2. Влияние начальной плотности конденсата в системе на конечную конденсатоотдачу при различных температурах

Известно, что увеличение плотности оставшегося в пласте конденсата в процессе дифференциальной конденсации системы происходит за счет повышения концентрации более тяжелых компонентов в жидкой фазе, что приводит к повышению давления начала конденсации системы и отрицательно отражается на конденсатоотдаче газоконденсатной залежи. Это означает, что на завершающей стадии процесса истощения газоконденсатной залежи наряду с ростом значения газоконденсатного фактора будет учитываться величина давления начала конденсации из-за повышения плотности конденсата. Кроме того, увеличение плотности конденсата ухудшает взаиморастворимость жидкой и газовой фаз. Сказанное является одной из основных причин снижения испаряемости конденсата с повышенной плотностью в призабойной зоне скважины под воздействием «сухого» газа. Но этого недостаточно, чтобы обнаружить одну из вышеприведенных зависимостей. В экспериментальных исследованиях вначале давление поднималось ступенями до $30,0 \text{ МПа}$ и после установления термодинамического равновесия дифференциально снижалось до $6,0 \text{ МПа}$ с обязательным отбором проб и исследованием их физико-химических

и термодинамических свойств. Затем при давлении 6,0 МПа в бомбу pVT подкачивался «сухой» газ, и тем самым давление повышалось до 8,0 МПа при дальнейшем его дифференциальном снижении до 6,0 МПа. Таким образом, было исследовано влияние плотности стабильного конденсата (начальная плотность), пластовой температуры, коллекторских свойств пористой среды и количества остаточной воды на испаряемость оставшегося в пласте конденсата. Используя полученные результаты при постоянстве пористости (0,2), количества остаточной воды (20%), конденсатосодержания (150 г/м^3), температуры пласта (100°C), рассматривалось влияние только начальной плотности конденсата на данный процесс. Полученные результаты представлены на рис.3.

Как видно из рис.3, на интенсивность испарения конденсата на заключительном этапе истощения (8,0-6,0 МПа) после воздействия «сухим» газом существенно влияет его начальная плотность, она также отрицательно влияет на конечную конденсатоотдачу, уменьшая ее значение.

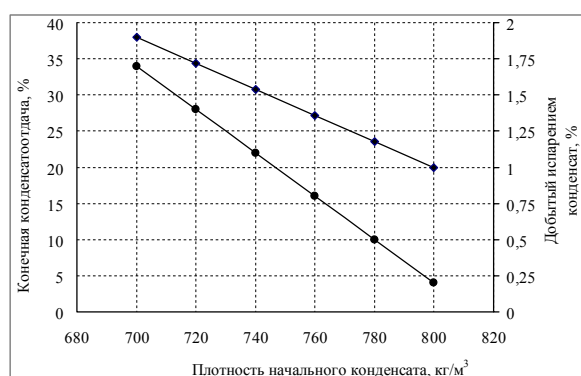


Рис. 3. Зависимость суммарного количества конденсата, добытого истощением (1) и испарением (2), от начальной (исходной) плотности конденсата

Так, при увеличении начальной плотности конденсата от 700 до 800 кг/м^3 конечная конденсатоотдача снижается почти вдвое (от 38,03 до 19,93%), и в соответствии с этим количество добытого испарением конденсата тоже снижается от 1,75 до 0,2%.

Таким образом, на основании экспериментальных и аналитических исследований ус-

тановлено, что наличие в составе исходной системы конденсата с повышенной плотностью за счет увеличения давления начала конденсации системы ухудшает показатели эксплуатации залежи. Кроме того, при разработке таких залежей в режиме истощения повышение плотности оставшегося в пласте конденсата с уменьшением пластового давления увеличивает его ретроградные потери вследствие интенсификации процесса конденсации, который понижает конечную величину конденсатоотдачи. В этом случае из-за повышенной плотности конденсата или наличия в нем более тяжелых компонентов существенно снижается эффективность метода воздействия на этот конденсат газами различного состава, основанного на эффекте испарения.

Выводы:

1. Решены методические вопросы определения плотности оставшегося в пласте конденсата в процессе разработки залежи, которые могут способствовать управлению процессом воздействия на залежь.
2. При повышении начальной плотности конденсата конечная величина конденсатоотдачи залежи существенно снижается, что отражается и на показателях воздействия на залежь различными газами.

ЛИТЕРАТУРА

- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., АБАСОВ, Ш.Д., ГАМИДОВ, Н.Н. 1998. Исследование влияния различных факторов на испаряемость углеводородных конденсатов. *Известия АН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 48-53.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М. и др. 2011а. Уравнение дифференциальной конденсации газоконденсатной системы с учетом пластовых условий. *АНХ*, 9, 22-25.
- АБАСОВ, М.Т., АББАСОВ, З.Я., ФАТАЛИЕВ, В.М. и др. 2011б. Экспериментальное изучение показателей воздействия на призабойную зону газоконденсатной скважины в зависимости от ее эксплуатации. *Известия НАН Азербайджана. Науки о Земле*, 2, 25-35.
- ПРОТОДЬЯКОВ, М.М., ТЕДЕР, Р.И. 1970. Методика рационального планирования экспериментов. Недра. Москва. 76с.
- ABASOV, M.T., ABBASOV, Z.Y., ABASOV, Sh.D. 1998. Study of hydrocarbon condensate evaporation. *Proceeding of the 2nd International Non-Renewable Energy Sources Congress*, 1, Tehran, Iran, 12-16 December, 258-265.

Рецензент: д.т.н. Т.А.Самедов