



УДК 622.276; 622.279

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВОВ ГАЗОВ
НА ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ СИСТЕМ,
С ЦЕЛЬЮ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА РАБОЧЕГО АГЕНТА
ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ И ПРИЗАБОЙНУЮ ЗОНУ**



**STUDY THE INFLUENCE OF GAS COMPOSITIONS
ON THE PHASE TRANSFORMATIONS IN GAS CONDENSATE SYSTEMS,
WITH THE AIM OF CHOOSING THE OPTIMAL COMPOSITION
OF THE WORKING AGENT TO INFLUENCE ON THE FORMATION
AND BOTTOMHOLE ZONE**

Гамидов Натиг Нейман оглы
заместитель начальника отдела
НИПИ «Нефтегаз», SOCAR,
Азербайджан
natiq.hamidov@socar.az

Hamidov Natig Neyman
Deputy Head of Department
Oil Gas Scientific Research Project Institute
of SOCAR, Azerbaijan
natiq.hamidov@socar.az

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований влияния растворимости газов различного состава в углеводородном конденсате на фазовые превращения газоконденсатных систем, а также на параметры разработки газоконденсатных месторождений. Изучены влияния составов газов на их растворимость, степени растворимости газов различного состава на показатели процесса испарения ретроградного конденсата, на давление начала конденсации газоконденсатной системы и на количество извлекаемого конденсата. При этом показаны основные причины ретроградной потери конденсата в процессе истощения газоконденсатной залежи. Установлена необходимость учета растворимости газов в углеводородном конденсате при выборе метода воздействия на призабойную зону скважины и на залежь.

Annotation. The effect of solubility of the different composition gases in the hydrocarbon condensate to the phase transitions of gas-condensate systems, as well as the influence to the development parameters of the gas condensate fields were studied as a result of experimental researches. It was researched, the influence of the gas composition on their solubility, the solubility ratio of different composition gases to the evaporation process of retrograde condensate, dew point pressure and amount of recoverable condensate. Hereby, it was shown the main causes of retrograde condensate losses in the depletion regime process of the gas-condensate fields, it was mentioned the necessity of paying attention to the solubility properties of stimulation agent in condensate, during choosing the composition of stimulation agent, which influence on the bottom-hole zone and reservoirs.

Ключевые слова: ретроградный конденсат, растворимость газов, газоконденсатная система, испарение конденсата, давление начала конденсации.

Keywords: retrograde condensate, gas solubility, gas condensate system, condensate evaporation, dew point.

Известно, что в процессе разработки углеводородных залежей в результате изменения давления имеют место фазовые превращения в пластовых флюидах, что приводит к постоянному изменению состава фаз. При этом интенсивность фазовых переходов усиливается в направлении от пласта к забою добывающей скважины. Этот процесс сильно сказывается при разработке газоконденсатных месторождений, эксплуатирующихся в режиме истощения пластовой энергии, который является одним из главных причин ретроградных потерь конденсата в пласте [1–3, 5, 6].

Как известно, одним из способов добычи ретроградного конденсата в процессе истощения газоконденсатной залежи является воздействие на пласт или призабойную зону скважины газами различного состава. Такие методы воздействия, в основном, применяются в целях поддержания пластового давления, улучшения процесса вытеснения выпавшего ретроградного конденсата и рассеянных жидких углеводородов в призабойную зону добывающих скважин и увеличения производительности скважины путем испарения выпавшего ретроградного конденсата в призабойной зоне [3].

Сказанное выше означает, что закачка любого количества газа в пласты приводит к изменению физико-химических и термодинамических свойств пластовой газоконденсатной системы и, в связи с этим, к появлению новых фазовых соотношений. Поэтому приобретает большой интерес изучение факторов, влияющих на данный процесс, и изменение их закономерностей в реальных залежах.

При рассмотрении процесса фазовых превращений, с точки зрения молекулярно-кинетической теории газов, в работах [1, 2] было установлено, что здесь основой этих событий является растворение газовой фазы в жидкой. А этот фактор, в свою очередь, зависит от множества различного рода



параметров, таких как: температура, давление, состав жидкой и газовой фаз, свойства компонентов, входящих в состав смеси, среда, в которой находится данная система и т.д. [1, 2, 6]. Поэтому математическое описание данного процесса представляется весьма сложным.

В этих целях в данной статье разработана специальная экспериментальная методика и изучалось влияние растворимости газов различного состава на испарение выпавшего ретроградного конденсата, на давление начала конденсации газоконденсатных систем и на конденсатоотдачу газоконденсатных залежей.

Как было показано выше, при объяснении испарения углеводородных конденсатов с точки зрения физико-термодинамических аспектов, одной из основных причин, влияющих на ретроградное испарение конденсата, является растворение газа в конденсате после определенного значения давления или температуры при изотермическом повышении давления или изобарическом снижении температуры. То есть газ, растворяясь в конденсате при определенных термобарических условиях, заставляет его испаряться. Отсюда вытекает, что чем лучше будет растворяться газ в конденсате, тем лучше его будет испарять. Напомним, что в работах [1, 2] приведены некоторые результаты экспериментального изучения испаряемости конденсата газами различного состава. В работе [1] специальные эксперименты проводились на установке pVT типа УГК-3. Отобранная из скважин месторождения «Булла-дениз» (Азербайджан) насыщенная проба по стандартной методике [4] загружалась в бомбу pVT и создавалось соответствующее термодинамическое условие (температура 100 °С и давление 12,0 МПа, где система находится в зоне максимальной конденсации). После этого осуществлялся выпуск газовой фазы из бомбы. При этом изучалось количество испарившегося конденсата, составы и свойства газов сепарации и дегазации. Этими исследованиями было определено, что при воздействии на конденсат газами различного состава при постоянном давлении и температуре количество испарившегося конденсата бывает разным.

Как было показано в [1, 2], причиной изменения количества испарившегося конденсата могла быть степень растворимости газов в зависимости от их физико-химических свойств. В целях выяснения этого вопроса, нами аналогично повторялись эксперименты, приведенные в работе [1], но здесь каждый раз измерялось количество растворенного в конденсате газа. В экспериментах использовались газы различного состава, химический состав которых показан в таблице (предполагается, что эти газы имеют различную растворимость, вследствие разного содержания азота и углекислого газа) конденсат, плотностью 748,6 кг/м³ и молекулярной массой 108 кг/кмоль., а конденсатосодержание принималось во всех случаях постоянным и равным 200 г/м³. При этом насыщенный конденсат и определенный состав газа из таблицы, загружался в бомбу pVT. После определения значения давления начала конденсации (100 °С) оно снижалось с темпом 4,0–5,0 МПа/час и затем при достижении давления 12,0 МПа дальнейшее его снижение прекращалось. После установления термодинамического равновесия при постоянном давлении 12,0 МПа и температуре 100 °С газ выпускался из системы и определялись составы и свойства газов сепарации и дегазации, количество добытого конденсата и конденсатосодержание газовой фазы.

После выпуска свободного газа из бомбы отбиралась проба из оставшейся жидкой фазы и определялось количество растворенного газа в единице объема конденсата, измерялась плотность стабильного конденсата. После этого бомба очищалась от жидкой фазы и при постоянстве приведенных выше параметров эксперименты повторялись с использованием нового состава газов из таблицы.

Таблица – Компонентный состав газов, использованных в экспериментах

Компоненты	Состав газов (мол. %-ах)						
	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



Как видно из результатов экспериментов, с улучшением растворимости газа в конденсате растет количество испарившегося конденсата (рис. 1). Другими словами, рост количества растворенного в конденсате газа является причиной перехода большей части конденсата в газовую фазу.

На рисунке 1 показана зависимость между количеством конденсата в газовой фазе и количеством газа, растворенного в единице объема конденсата. Как видно, с ростом количества газа, растворенного в единице объема конденсата, от 100 до 145 м³/м³ количество конденсата в газовой фазе растет от 23,7 г/м³ до 42 г/м³.

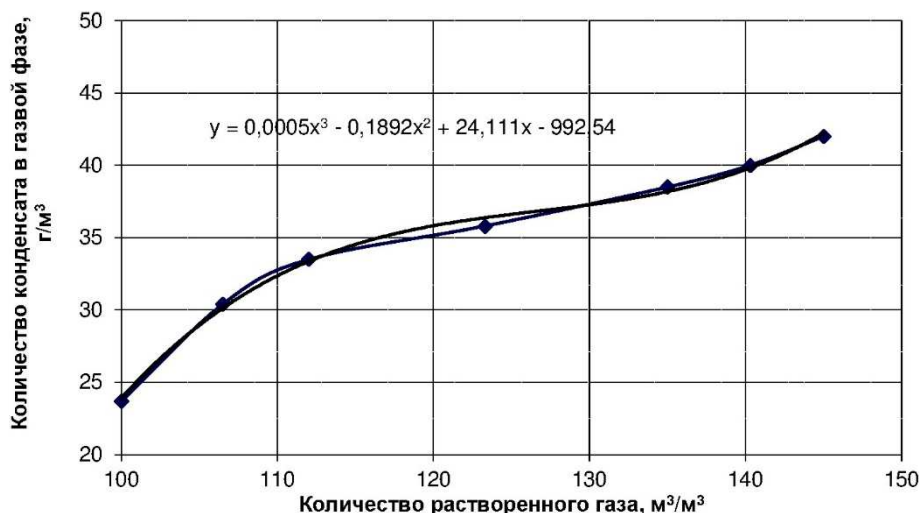


Рисунок 1 – Зависимость количества конденсата в газовой фазе от количества газа, растворенного в единице объема конденсата

А также показано изменение плотности осевшего конденсата в зависимости от конденсатосодержания «пластового» газа. Было показано, что с ростом конденсатосодержания пластового газа плотность осевшего конденсата возрастает. Это свидетельствует о том, что с улучшением растворимости газа в конденсате, он больше испаряет жидкий конденсат, и плотность осевшего конденсата возрастает (рис. 2).

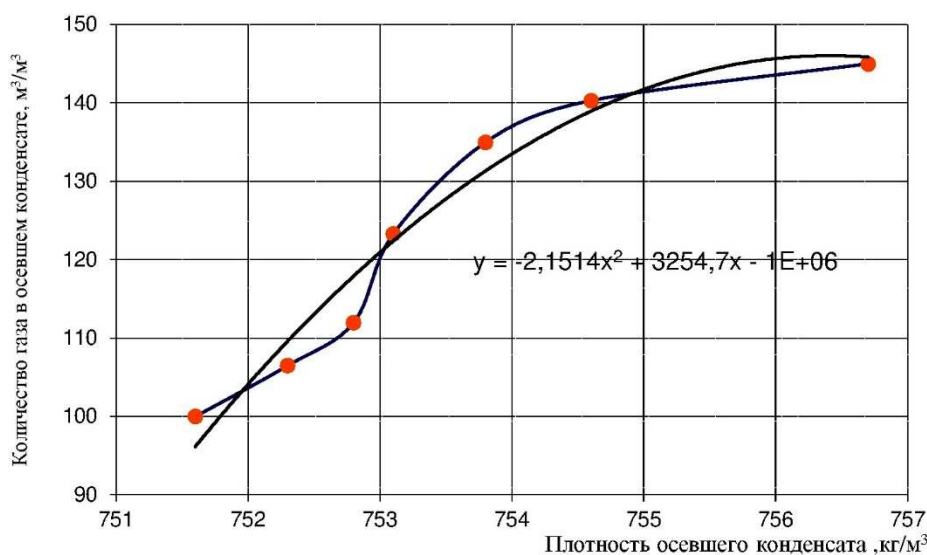


Рисунок 2 – Зависимость количества газа, растворенного в единице объема осевшего конденсата от его плотности

В результате, наряду с ростом плотности жидкой фазы, растет и количество растворенного в нем газа. Отсюда становится очевидным, что для испарения конденсата, с повышенной плотностью требуется еще большее количество растворенного в нем газа. Это, в свою очередь, может быть достигнуто наряду с повышением давления и заменой состава газа, обладающего лучшей растворимостью в жидком конденсате.

Таким образом, установлено, что, не изменяя давление и температуру, можно повысить количество испаряющегося конденсата с использованием газов, обладающих лучшей растворимостью в углеводородных конденсатах.



В связи с тем, что с изменением растворимости газов в конденсате термодинамические свойства системы, в первую очередь давление начала конденсации, изменяются, ниже рассмотрен характер этой зависимости. Результаты экспериментов по определению значений давления начала конденсации систем с использованием газов различного состава (табл.) при температуре 100 °С обобщены в виде гистограммы (рис. 3), где столбцы пронумерованы по степени растворимости газов в конденсате, согласно материалам таблицы. Таким образом, получен ряд столбцов VII, VI, V, I, II, III, IV.

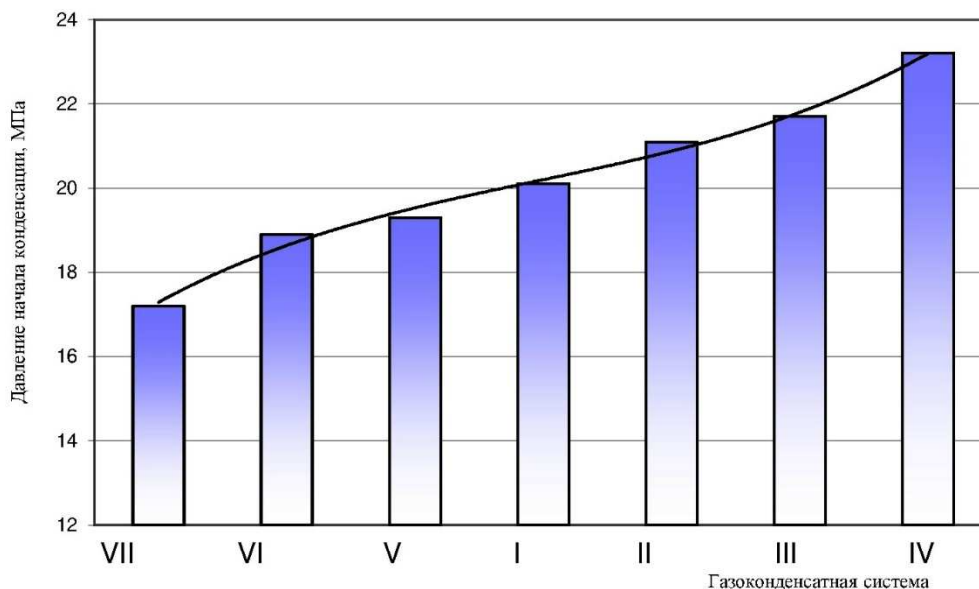


Рисунок 3 – Изменение значений давления начала конденсации систем, от степени растворимости газов в конденсате

Как видно из рисунка 3, значение давления начала конденсации системы VII, где растворимость высокая, является самым низким (17,2 МПа) по сравнению с другими, а для системы IV, с низкой растворимостью газа, значение давления начала конденсации является самым высоким (23,2 МПа). Из сказанного становится ясным, что с ухудшением степени растворимости газов в конденсате, давление начала конденсации растёт.

Известно, что прогнозирование показателей разработки газоконденсатных залежей осуществляется с использованием результатов термодинамических исследований проб конденсата и газа, отобранных в начальный момент вступления их в разработку [3, 4, 8]. В этих исследованиях изучается процесс дифференциальной конденсации системы в бомбе pVT, где устанавливаются закономерности изменения конденсатосодержания в газовой фазе по мере снижения давления и изменения количества выделившегося из газовой фазы конденсата [4]. Это позволяет определяться в количестве извлекаемого конденсата и ретроградных его потерях в пласте [3].

Ниже представлены результаты экспериментального изучения влияния состава газа на показатели истощения газоконденсатной системы.

Для этого процесс истощения залежи моделировался на установке типа УГК-3 при соблюдении нижеследующих последовательностей. Используя газы из таблицы (газы II–VI) поочередно, а также конденсат плотностью 745,7 кг/м³, при его содержании 200 г/м³, были созданы 5 рекомбинированных проб. При температуре, равной 100 °С, система доводилась до однофазного газового состояния, затем моделировался процесс истощения «залежи» до 10,0 МПа и изучалась закономерность изменения количества выделившегося из добываемого газа конденсата в зависимости от растворимости в нем указанных в таблице (газы II–VI).

На основании полученных результатов была построена гистограмма (рисунок 4) изменения общего количества конденсата, выделившегося из добываемого газа в процентах от степени растворимости газов различного состава в углеводородном конденсате.

Как видно из рисунка 4, при случае использования газов, обладающих лучшей растворимостью в углеводородном конденсате для рекомбинирования газоконденсатных систем, количество выделившегося конденсата из добываемого газа во время дифференциальной конденсации повышается, и, как следствие этого, «конденсатоотдача» возрастает.

Это указывает на необходимость использования при планировании процессов воздействия на призабойную зону скважины и на залежь в целях повышения их эффективности тех составов газов, которые имеют хорошую растворимость в углеводородном конденсате.

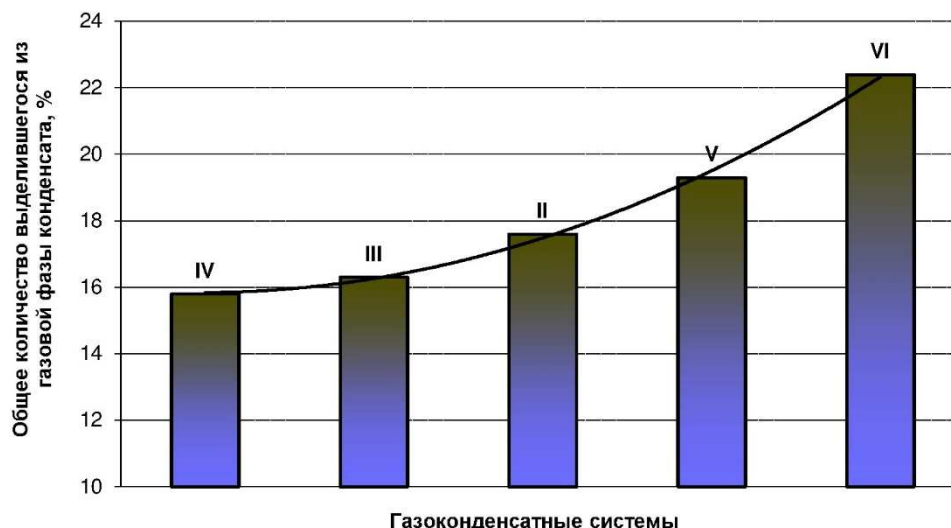


Рисунок 4 – Изменение общего количества выделившегося конденсата из добываемого газа в зависимости от состава и степени растворимости газа

Выводы

Экспериментально изучались особенности влияния растворимости газов различного состава на фазовые превращения в газоконденсатных системах. Эксперименты проводились на установке Р/ВТ типа УГК-3 по выше описанной специальной методике. При значениях давления 12,0 МПа и температуры 100 °С были определены для каждой из семи систем количество растворенного газа в единице объема выпавшего конденсата, конденсатосодержание газовой фазы, и, следовательно, количество выделившегося конденсата из добываемого газа.

установлено, что при постоянных термобарических условиях газы, обладающие лучшей растворимостью в конденсате, способствуют повышению количества добываемого конденсата в паровой фазе, а также увеличению добычи выпавшего ретроградного конденсата.

С учетом полученных результатов, экспериментального изучения влияния состава газа на показатели истощения газоконденсатной системы, можно констатировать, что способность растворения газовых компонентов в конденсате существенно влияет на интенсивность протекания ретроградных процессов, а также на сроки разработки залежи. Уменьшение количества растворенного газа в выпавшем конденсате ухудшает ретроградное испарение конденсата и стимулирует процесс ретроградной конденсации.

Литература

1. Влияние неуглеводородных компонентов на давление начала конденсации природных систем / М.Т. Абасов [и др.] // Газовая промышленность. – 2000. – № 1. – С. 17–18.
2. Новое явление в фазовых превращениях газоконденсатных систем и его экспериментальное изучение / М.Т. Абасов [и др.] // Докл. РАН. – 2005. – Т. 403. – № 3. – С. 1–3.
3. Гриценко А.И., Островская Т.Д., Юшкин В.В. Углеводородные конденсаты месторождений природного газа. – М. : Недра, 1983. – 263 с.
4. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / под ред. Г.А. Зотова, З.С. Алиева. – М. : Недра, 1980. – 301 с.
5. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа / Д.Л. Катц [и др.]. – М. : Недра, 1965. – 765 с.
6. Новрузова Ф.М. Растворимость компонентов природного газа в конденсатах и их фракциях // Газовая промышленность. – 1973. – № 12. – С. 16–21.
7. Arnold J.H. Vaporization Equilibrium of Methane at High Pressure // Chem. Eng. Symposium Ser. – 48 (3): 82 (1952).
8. Sun Chang-yu, Liu Huang, Yan Ke-le, Ma Qing-lan, Liu Bei, Chen Guang-jin, Xiao Xiang-jiao, Wang Hai-ying, Zheng Xi-tan, Li Shi. Experiments and Modeling of Volumetric Properties and Phase Behavior for Condensate Gas under Ultra-High-Pressure Conditions // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. – Vol. 51(19). – P. 6916–6925.

References

1. Non-hydrocarbon components influence on pressure of the beginning of condensation of the natural systems / M.T. Abasov [et al.] // Gas industry. – 2000. – № 1. – P. 17–18.
2. A new phenomenon in phase transformations of gas-condensate systems and its experimental study / M.T. Abasov [et al.] // RAS reports. – 2005. – V. 403. – № 3. – P. 1–3.



3. Gritsenko A.I., Ostrovskaya T.D., Yushkin V.V. Hydrocarbon condensates of natural gas fields. – М. : Nedra, 1983. – 263 p.
4. Instruction for Complex Investigation of Gas and Gas-Condensate Formations and Wells / Edited by G.A. Zotova, Z.S. Alieva. – М. : Nedra, 1980. – 301 p.
5. Manual for production, transport and processing of natural gas / D.L. Katz [et al.]. – М. : Nedra, 1965. – 765 p.
6. Novruzova F.M. Solubility of the natural gas components in condensates and their fractions // Gas industry. – 1973. – № 12. – P. 16–21.
7. Arnold J.H. Vaporization Equilibrium of Methane at High Pressure // Chem. Eng. Symposium Ser. – 48 (3): 82 (1952).
8. Sun Chang-yu, Liu Huang, Yan Ke-le, Ma Qing-lan, Liu Bei, Chen Guang-jin, Xiao Xiang-jiao, Wang Hai-ying, Zheng Xi-tan, Li Shi. Experiments and Modeling of Volumetric Properties and Phase Behavior for Condensate Gas under Ultra-High-Pressure Conditions // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. – Vol. 51(19). – P. 6916–6925.