

Анализ существующих методик по проведению термодинамических исследований пластовых флюидов в ПАО «Газпром»

Я.Э. Юрил
ведущий инженер¹
YurilYE@tngg.ru

С.А. Леонтьев
д.т.н., проректор по научной работе и инновационной деятельности²
sleontev@ugtu.net

М.С. Рогалев
к.т.н., заместитель директора центра (ТНИЦ)¹
rogalevms@tngg.ru

¹ООО «ТюменНИИгипрогаз», Тюмень, Россия
²Ухтинский Государственный Технический Университет, Ухта, Россия

В данной работе рассмотрены методики по проведению термодинамических PVT-экспериментов пластовых флюидов, используемых в ПАО «Газпром». Целью выполненной работы является определение достоинств и недостатков существующих методик. Рассматриваемые методики отличаются методом проведения дифференциальной конденсации, основного эксперимента, проводимого на установках фазового равновесия.

В области разработки нефтяных и газовых месторождений важной частью является определение изменения состава добываемого пластового газа по мере падения давления при разработке залежи на истощение. Данная задача решается проведением термодинамических исследований. При проведении эксперимента по дифференциальной конденсации определяется как состав добываемого газа, так и количество пластовых потерь [1].

Основой эксперимента, проводимого на установках фазового равновесия, является рекомбинация пластовой системы в PVT ячейке и последующий выпуск из неё газа. Две основные части эксперимента это контактная конденсация и дифференциальная конденсация.

Контактная конденсация — исследование флюида с постоянной массой в замкнутой системе. Контактная конденсация проводится для определения давления начала конденсации и определения объема конденсирующейся жидкости от давления начала конденсации до объема загрузки флюида и построение изотерм контактной конденсации [2].

Дифференциальная конденсация проводится после контактной конденсации путем выпуска части газа через ловушку на выбранных точках после давления начала конденсации до атмосферного давления. На каждой ступени фиксируются показания установки, количество уловленного конденсата и выпущенного газа, приведенных к стандартным условиям, после чего пробы передаются для определения состава на хроматографию. По полученным результатам строятся изотермы дифференциальной конденсации [3].

В настоящее время в структуре ПАО «Газпром» в основном используются две методики по проведению PVT экспериментов, которые описаны в [4 и 5].

Были произведены сравнения полученных результатов по методикам [4] и [5]. Результаты по сравнению представлены в графическом виде на рис. 1. Исследования проводились на рекомбинированных пробах Восточно-Таркосалинского и Северо-Уренгойского месторождений.

По графикам, представленным на рис. 1, видно, что при давлении максимальной конденсации пластовые потери на пробе №1 составляют по методике [5] 57.21 см³/ст.м³ против 43.21 см³/ст.м³ по методике [4], по пробе №2 составляет 429.11 см³/ст.м³ против 350.68 см³/ст.м³ соответственно. Коэффициент извлечения конденсата по пробе №1 составляет 0.87 [5] против 0.93 [4], по пробе №2 0.58 [5] против 0.62 [4]. При анализе данных результатов появляется вопрос, с чем связано данное различие. Для этого был проведен анализ данных методик [6].

Схема стандартного PVT-исследования поэтапно представлена на рис. 2. При поступлении проб производится проверка на представительность: неподходящие пробы отбраковываются, подходящие идут в работу. Производится определение свойств и составов флюидов, необходимых для их загрузки в установку.

Определяется коэффициент сжимаемости газа сепарации. В установку загружается флюид, проводится его рекомбинация при пластовой температуре и давлении выше пластового.

Далее определяют давление начала конденсации, по методике [4] для установления фазового равновесия включают мешалку на 5 мин на каждом этапе повышения давления. После прекращения перемешивания ячейку оставляют в покое на 15 мин. Таким образом определяется давление, при котором конденсат полностью растворяется в газовой фазе.

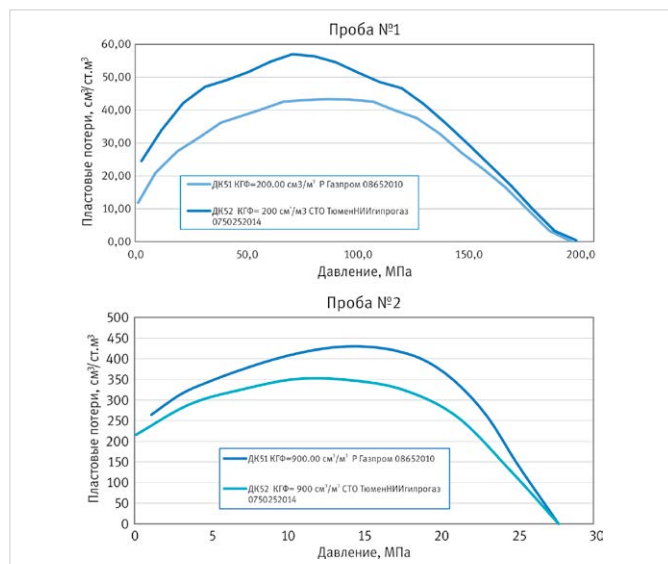


Рис. 1 — Сравнение результатов проведения дифференциальной конденсации по методикам, описанным в [4] и [5]

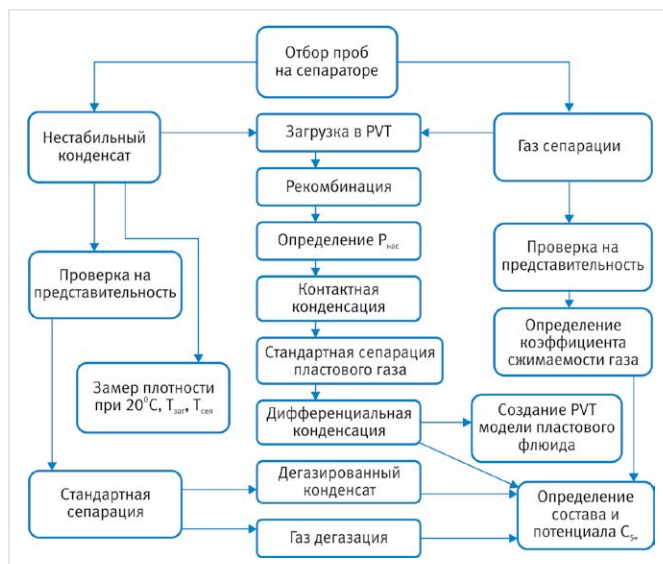


Рис. 2 — Схема стандартного PVT-исследования пластового газа

Эксперимент по дифференциальной конденсации моделирует работу залежи на истощение. Производится сравнение полученных результатов по каждой из методик, и описываются причины их расхождения. Также рассматривается специфика проведения эксперимента в целом по каждой из методик и возможности их практического использования.

Материалы и методы

По методикам, описанных в СТО ТюменНИИгипрогаз 07-02-2014 и Р Газпром 086-2010 проведено физическое моделирование работы газоконденсатной залежи на истощение, и произведено сравнение полученных результатов КИК и пластовых потерь.

Ключевые слова

термодинамические исследования, PVT-ячейка, рекомбинация, контактная конденсация, дифференциальная конденсация

Это давление устанавливается также снижением давления в PVT-установке с помощью поршня.

По методике [5] давление начала конденсации определяется при понижении давления; получая точку, производится рекомбинация, и опыт повторяется для более точного определения давления начала конденсации.

Затем проводится контактная конденсация, которая по рассматриваемым методикам отличается временем достижения фазового равновесия на точках. По [4] методика проведения подробно не описана, ясно только, что производится выдержка по 15–20 мин с наблюдением за уровнем разделения фаз. По методике [5] после достижения давления начала конденсации снижение давления осуществляют ступенчато. Шаг по давлению составляет 7–10% от давления начала конденсации. При достижении каждой ступени давления систему перемешивают в течение 60–90 мин с помощью магнитной мешалки, а также путем переворачивания ячейки на 180°.

Фазовое равновесие считают установившимся, если при постоянной температуре и объеме ячейки дальнейшее перемешивание не приводит к изменению давления и объема выпавшего конденсата. После перемешивания производят отстаивание пластовой системы от 60 до 180 мин. На каждой ступени давления фиксируют изменение объема и окончательный объем прибывшего конденсата. Объем жидкости измеряют в смотровой камере PVT-ячейки с применением системы видеofиксации. Заключительной ступенью считается давление, при котором достигнут максимальный объем PVT-ячейки.

Дифференциальная конденсация проводится после контактной конденсации путем выпуска части газа через ловушку на точках после давления начала конденсации до атмосферного давления. На каждой из ступени фиксируются показания установки, количество уловленного конденсата и выпущенного газа, приведенных к стандартным условиям [7].

По методике [4] выпуск пробы при дифференциальной конденсации проводят поэтапно, снижение давление производится выпуском пластового газа из установки, по 15–20% в час от объема загруженного газа. Первые 10% снижения давления

осуществляют небольшими ступенями, а затем этапы снижения давления в ячейке устанавливают так, чтобы получить 6–8 точек для построения кривой дифференциальной конденсации. Также особенностью данной методики является то, что до давления максимальной конденсации пластовую смесь не перемешивают. Темп выпуска газа рекомендуется поддерживать на уровне 0,5–1 МПа/ч. По окончании каждого этапа снижения давления газоконденсатная смесь выдерживается в течение 15–20 мин, после чего производится замер конденсата в камере [8].

По методике [5] выпуск пробы при дифференциальной конденсации проводят поэтапно, снижение давления производят увеличением объема ячейки при постоянстве массы загруженной пластовой системы. После достижения давления начала конденсации снижение давления осуществляют ступенчато. Шаг по давлению составляет 7–10 % от величины давления начала конденсации. При достижении каждой ступени по давлению, PVT-ячейку переворачивают, конденсат переливают в основной объем ячейки, приводя в контакт с газом. Таким образом производят совместное перемешивание газовой и жидкой фаз с помощью магнитной мешалки. Этим достигают термодинамическое равновесие фаз в ячейке. Время перемешивания 40–60 мин. После перемешивания установку приводят в вертикальное состояние и отстаивают в течение 60–180 мин до достижения равновесности фаз.

Выпуск газа из PVT-ячейки производят путем уменьшения её объема при постоянном давлении. Операция производится до достижения рабочего объема PVT-ячейки, после чего выпуск газа заканчивают. Выпуск газа на каждой ступени давления проводят по схеме, приведенной на рис. 3, с отбором проб газа из автоматического газометра и стабильного конденсата из конденсатоприемника который во время выпуска охлаждается до -20°C, а после выпуска приводится к стандартным условиям. На последней «нулевой» точке систему приводят к температуре +20°C при помощи системы охлаждения, проводят замер объема стабильного конденсата в газоконденсатной головке PVT-ячейки. Затем стабильный конденсат сливают в колбу остаточным давлением через кран, расположенным в газоконденсатной головке PVT-ячейки [8].

В целом, методики [4] и [5] очень похожи, основное различие имеется только в проведении дифференциальной конденсации, это один из основных экспериментов для определения изменения состава добываемого пластового газа по мере падения давления при разработке залежи. На основании этого эксперимента создаются PVT-модели пластового флюида.

По методике [4] выпуск из ячейки пластового газа проводится при постоянном объеме со скоростью, изложенной в инструкции, выпадающий в ячейке в виде тумана конденсат не успевает дойти до стенки и осесть на ней, а выносится из ячейки с отбираемым газом. Что ведет к изменению состава на каждой ступени и занижению графика пластовых потерь.

Методика [5] основывается на ступенчатом снижении давления рекомбинированной пробы пластового газа. Снижение давления происходит не выпуском газа, а увеличением объема PVT-ячейки. Время проведения эксперимента по этой методике оказывается

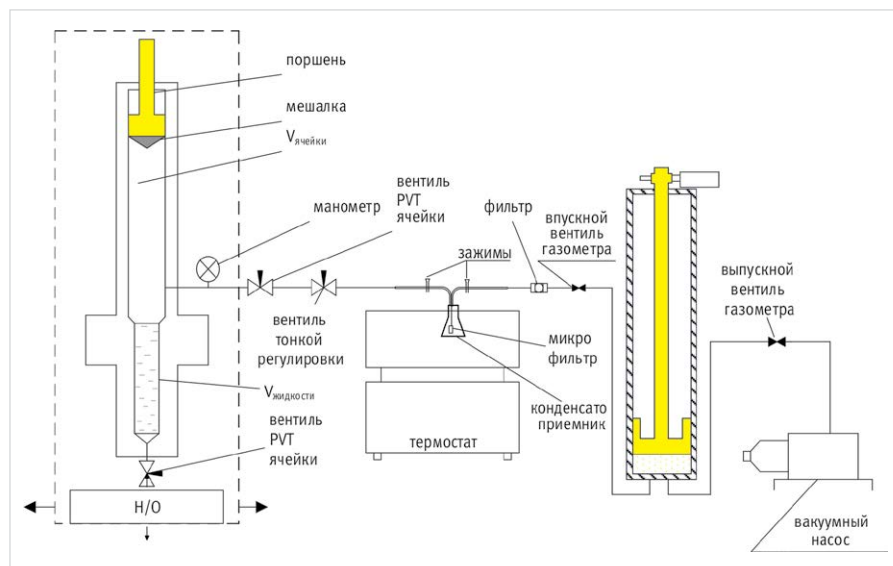


Рис. 3 — Принципиальная схема выпуска газа из ячейки PVT

существенно больше относительно приведённого в инструкции — 7–14 суток вместо 12–24 часов.

При истощении пласта происходят смещение PVT-равновесия и конденсация жидкой фазы. Огромная удельная площадь поверхности конденсации и низкий темп снижения давления обеспечивает постоянную стабилизацию множества переходных термодинамических состояний. При моделировании истощения пласта методикой [5] проводится выпуск стабилизированного флюида, а по методике [4] PVT-равновесие смещается при выпуске и проба выпускается не стабилизированной.

При анализе получаем, что методика [5] ближе к реальному процессу работы пласта, чем методика [4].

Итоги

Данный анализ дает возможность оценить на практике эффективность каждой из методик по проведению PVT-эксперимента поэтапно и выбрать наиболее близкую к реальному процессу работы пласта. Выявлено основное

различие методик и причина расхождения получаемых результатов.

Выводы

Проведенный анализ позволяет выбрать методику проведения PVT-эксперимента наиболее корректно описывающего работу залежи на истощение. Результаты сравнения применимы для уточнения при подсчете запасов и проектированию разработки газоконденсатных систем.

Список литературы

1. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. М.: Грааль, 2002. 575 с.
2. Долгушин Н.В., Корчажкин Ю.М., Подюк В.Г., Сагитова Д.З. Исследование природных газоконденсатных систем. Ухта: Севернипигаз, 1997. 178 с.
3. Бетанкур Х., Девис Т., Дон Ч., О'Киф М., Найсуондер Д. Современные методы измерения свойств пластовых флюидов // Нефтегазовое обозрение. 2007. Т. 19. № 3. С. 70–88.

4. Р Газпром 086-2010. Инструкция по комплексным исследованиям газовых и газоконденсатных скважин. М.: Газпром экспо, 2011. 319 с.
5. СТО ТюменНИИгипрогаз 07-02-2014. Методика измерений термодинамических параметров пластовых газов и нефтей. Тюмень: ТюменНИИгипрогаз, 2014. 46 с.
6. Новопашин В.Ф., Филиппова Ю.А., Ваганов Д.С. Сравнение методик термодинамического исследования пластовых флюидов. Четвертая Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле. Новосибирск, 2008.
7. Леонтьев С.А., Юрил Я.Э. Методики термодинамических PVT-исследований на установках фазовых равновесий. Сборник материалов конференции «Новые технологии – нефтегазовому региону». Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. Т. 1. С. 217–219.
8. Зотова Г.А., Алиева З.С. Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин. М.: Недра, 1980. 301 с.

ENGLISH

GAS INDUSTRY

The analysis of the existing methods of thermodynamic studies the formation fluids in “Gazprom”

UDC 622.691

Authors:

Yan E. Yuril — lead engineer¹; YurilYE@tngg.ru

Sergey A. Leontiev — Sc.D., vice rector for research and innovation²; Sleontev@ugtu.net

Maxim S. Rogalev — Ph.D., deputy director of the center (TSRC)¹; Rogalevms@tngg.ru

¹LLC TyumenNIIgiprogaz, Tyumen, Russian Federation

²Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation

Abstract

This article describes the method of the reservoir fluids thermodynamic PVT experiments used in PJSC "Gazprom". The study was performed to determine the advantages and the disadvantages of existing techniques. The difference between the considered methods is in the approach for the differential condensation of the main experiment which conducted in the phase equilibrium facilities. The differential condensation experiment simulates the reservoir depletion. Also in the article the specificity of the experiment was showed, ability of it in practical use, the comparison of the results of the each

methods and the reasons of their disagreement are described.

Materials and methods

Using the procedures described in STO TyumenNIIgiprogaz 07-02-2014 and R Gazprom 086-2010 conducted to simulate the physical operation of gas-condensate reservoir depletion, and a comparison of the results obtained CRC and reservoir losses.

Results

This analysis makes it possible to assess by stages the effectiveness of each methods of PVT-experiment and choose to the real process of formation work. In article were identified

the main cause of the methods difference and reason for results discrepancy.

Conclusions

The analysis allows you to choose how to conduct a PVT-experiment most correctly describes the work of reservoir depletion. The results are useful in the calculation of reserves and the design development of gas condensate systems.

Keywords

thermodynamic studies, PVT-cluster, recombination, contact condensation, differential condensation

References

1. Brusilovskiy A.I. *Fazovye prevrashcheniya pri razrabotke mestorozhdeniy nefiti i gaza* [Phase transformations in the development of oil and gas fields]. Moscow: Graal', 2002, 575 p.
2. Dolgushin N.V., Korchazhkin Yu.M., Podyuk V.G., Sagitova D.Z. *Issledovanie prirodnykh gazokondensatnykh sistem* [Study of natural gas and condensate systems]. Ukhta: Severnipigaz, 1997, 178 p.
3. Betankur Kh., Devis T., Don Ch., O'Kif M., Naysuonder D. *Sovremennye metody izmereniya svoystv plastovykh fliyuidov* [Current methods for measuring formation fluid properties]. Oilfield review, 2007, Vol. 19, issue 3, pp. 70–88.
4. R Gazprom 086-2010. *Instruktsiya po kompleksnym issledovaniyam gazovykh i gazokondensatnykh skvazhin* [Instructions for the comprehensive studies of gas and gas condensate wells]. Moscow: Gazprom ekspozitsiya, 2011, 319 p.
5. СТО ТюменНИИгипрогаз 07-02-2014. *Metodika izmereniy termodinamicheskikh parametrov plastovykh gazov i neftey* [Methods of measurement of thermodynamic parameters of formation of gases and oils]. Tyumen: TyumenNIIgiprogaz, 2014, 46 p.
6. Novopashin V.F., Filippova Yu.A., Vaganov D.S. *Sravnenie metodik termodinamicheskogo issledovaniya plastovykh fliyuidov* [Comparison of methods of thermodynamic study of reservoir fluids]. Fourth Siberian international conference of young scientists on Earth sciences. Novosibirsk, 2008.
7. Leont'ev S.A., Yuril Ya.E. *Metodiki termodinamicheskikh PVT-issledovaniy na ustanovkakh fazovykh ravnovesiy* [Techniques for thermodynamic studies of phase equilibria installations]. The proceedings of the conference “New technologies – oil and gas region”, Tyumen: TyumGNGU, 2015. Vol. 1, pp. 217–219.
8. Zotova G.A., Alieva Z.S. *Instruktsiya po kompleksnomu issledovaniyu gazovykh i gazokondensatnykh plastov i skvazhin* [Instructions for the integrated study of gas condensate reservoir and wells]. Moscow: Nedra, 1980, 301 p.