

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Генерального директора

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.



Р.Р. Кантюков

«03» 12 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») на диссертационную работу Молчанова Дмитрия Анатольевича «Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой среде с учетом фазовых переходов» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 — механика жидкости, газа и плазмы.

Рассматриваемая диссертационная работа Молчанова Дмитрия Анатольевича посвящена исследованию особенностей изотермической двухфазной фильтрации газоконденсатных углеводородных смесей и определению условий возникновения неустойчивых режимов течения на примере бинарной модельной смеси метан – пентан.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач автором создан стенд «Пласт-2», позволяющий проводить исследования особенностей фильтрации газоконденсатных смесей, в том числе флюидов реальных газоконденсатных месторождений в широком диапазоне термобарических параметров и моделировать физические методы воздействия на пластовые системы с целью предотвращения неустойчивых режимов фильтрации. Автором разработан пакет программ расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида, дающий возможность моделировать реальные процессы, происходящие в призабойной зоне газоконденсатных месторождений и моделировать физические методы воздействия на газоконденсатную систему.

1. Актуальность работы.

Предложенная на рассмотрение диссертационная работа актуальна. Работа содержит результаты исследований режимов фильтрации углеводородов, моделирующих свойства реального газоконденсатного флюида и, тем самым, способствует разработке эффективных методов повышения продуктивности газоконденсатных скважин. Решение прикладных задач подземной гидродинамики, развитие теории фильтрации в целом требуют исследования процессов течения многофазных пластовых флюидов в водонасыщенных пористых средах. Физическое и математическое моделирование подобных процессов необходимо для адекватного описания процессов фильтрации реальных пластовых систем. В случае газоконденсатных пластов задача усложняется наличием фазовых переходов, в частности ретроградной конденсации, значительными различиями в подвижности фаз в пористой среде, что ведёт к насыщению пористой среды малоподвижным углеводородным конденсатом. В результате такого поведения газоконденсатной смеси значительно снижается продуктивность пласта вплоть до полной блокировки расхода смеси, возникают неустойчивые режимы фильтрации.

Эксплуатация большинства газоконденсатных месторождений в режиме истощения и необходимость разработки эффективных методов воздействия на газоконденсатные системы с целью увеличения дебита скважин обуславливают повышенный интерес к исследованиям гидродинамики течений углеводородных смесей в пористых средах. В проведенных ранее исследованиях рассматривались лишь отдельные задачи фильтрации углеводородов: динамика изменения структуры пористого коллектора, оценка и учет степени термодинамической неравновесности фазовых переходов, определение вида функций относительных фазовых проницаемостей. Крайне малое количество экспериментальных работ связано с высокой трудоемкостью и сложностью фильтрационных экспериментов при термобарических условиях реальных пластов. Практически отсутствуют данные об исследовании условий возникновения неустойчивых режимов фильтрации. Всё вышесказанное подчёркивает важность рассматриваемой диссертационной работы.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.

Полученные автором результаты научно обоснованы и достигнуты благодаря применению в процессе исследований общепринятых методов описания фундаментальных законов фильтрации и термодинамики фазовых превращений в многокомпонентных системах. Полученные автором результаты характеризуются внутренней согласованностью, качественным и количественным совпадением теоретических и экспериментальных лабораторных результатов.

Работа прошла достаточную апробацию на российских и зарубежных научных конференциях, в том числе на ряде конференций международного статуса. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

3. Достоверность результатов диссертации.

Достоверность полученных автором результатов обеспечивается тем фактом, что в основу физических моделей и математических алгоритмов, использованных при проведении исследований, положены общепринятые методики описания фундаментальных законов фильтрации и термодинамики фазовых превращений в многокомпонентных системах. Экспериментальные исследования проводились с использованием современного оборудования, обеспечивающего повторяемость результатов. Для проверки корректности результатов было проведено тестирование компьютерных кодов, реализующих выбранную математическую модель процессов фильтрации, и принятых допущений.

4. Значимость для науки и практики результатов диссертационных исследований, полученных автором.

Результаты диссертационных исследований автора отличаются новизной и практической значимостью.

Новизна результатов состоит в следующем.

1). Экспериментально показано, что необходимым условием возникновения неустойчивых, в т.ч. автоколебательных режимов фильтрации модельной смеси метан – пентан является комбинация параметров состояния (температура, давление, концентрация смеси), соответствующих области обратной конденсации фазовой диаграммы состояния.

2). Экспериментально определены диапазоны давлений и концентраций смеси метан – пентан, при которых реализуются автоколебательные режимы течения.

3). Методом численного моделирования определены условия возникновения режимов фильтрации с периодической блокировкой расхода смеси (образование конденсатных пробок).

Практическая значимость работы состоит в следующем.

1). Созданный в процессе работы стенд «Пласт-2» позволяет проводить исследования особенностей фильтрации газоконденсатных смесей, в т.ч. флюидов реальных газоконденсатных месторождений в широком диапазоне термобарических параметров и моделировать физические методы воздействия на пластовые системы с целью предотвращения неустойчивых режимов фильтрации.

2). Разработанный пакет программ расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида дает возможность моделировать реальные процессы, происходящие в призабойной зоне газоконденсатных месторождений (режимы на «истощение», режимы с периодической блокировкой расхода флюида, автоколебательные режимы), и моделировать физические методы воздействия на газоконденсатную систему.

5. Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертационной работы следует рекомендовать для использования при дальнейших исследованиях особенностей фильтрации газоконденсатных смесей, в том числе флюидов реальных газоконденсатных месторождений в широком диапазоне термобарических параметров.

Полученные результаты будут полезны при моделировании физических методов воздействия на пластовые системы с целью предотвращения неустойчивых режимов фильтрации.

Разработанный автором пакет программ следует использовать для расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида, что позволит моделировать реальные процессы, происходящие в призабойной зоне газоконденсатных месторождений, а

также моделировать физические методы воздействия на газоконденсатную систему.

6. Замечания по диссертационной работе:

1). Если особенности фазового состояния газоконденсатных флюидов и моделирования фазового состояния газоконденсатных систем, а также практические проблемы снижения продуктивности скважин в процессе эксплуатации газоконденсатных месторождений достаточно чётко и наглядно представлены в главе 1 (литературный обзор), то представленный там же анализ особенности фильтрации газоконденсатных смесей страдает отсутствием ясности. Невняты и малоинформативны представленные рисунки. Вперемежку используются МПа и psia; фут и м; °C и °F. На рис. 1.12 (Сравнение доли сконденсировавшейся жидкости в зависимости от мольной доли закачанного вытесняющего агента) не указано к каким агентам (метан или азот) относятся кривые. На рис. 1.13-1.17, 1.23, 1.28, 1.32, 1.33 нет расшифровки сокращённых обозначений.

2). Автором разработан пакет программ расчета фазовых равновесий многокомпонентных углеводородных смесей и процессов фильтрации углеводородного флюида. Что нового привлек автор в разработанный пакет по сравнению с кубическим четырехкоэффициентным уравнением состояния многокомпонентных углеводородных систем Баталина О. Ю., Брусиловского А. И. и Захарова М. Ю., а также, по сравнению с существующими математическими моделями, описывающими нестационарное течение двухфазных смесей в пористых средах?

3). Целью исследований автора было изучение неустойчивых, в том числе, автоколебательных режимов фильтрации модельной смеси метан – пентан имеющих место в области ретроградной конденсации. Конфигурация этой области определяется положением критической точки на фазовой диаграмме. Автором исследованы три модельные бинарные смеси метан – пентан при мольной доли метана 0.75, 0.85, 0.9. При анализе результатов исследования фильтрации этих смесей желательно располагать фазовыми диаграммами этих смесей, включая параметры критических точек. Это позволит локализовать области ретроградной конденсации и

прямого испарения жидкой фазы. К сожалению, существующие расчётные методы, включая четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа, дают большую погрешность значений параметров критических точек.

4). Автором исследованы три модельные бинарные смеси метан – пентан при мольной доли метана 0.75, 0.85 0.9. Для расчета термодинамических свойств системы им используется четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа. Для оценки точности автор сравнивает рассчитанные фазовые диаграммы бинарных смесей метан – пентан (при разных соотношениях метан/пентан) с экспериментальными данными, представленными в [94] – (В. Б. Коган, В. М. Фридман, В. В. Кафаров. Равновесие между жидкостью и паром. Том 2. М. : Наука, 1966. с. 464.). Результаты сравнения представлены на рис. 3.5 б диссертации. Как видно из рисунка, именно в диапазоне содержания 0.75, 0.85, 0.9 мольной доли метана четырехкоэффициентное кубическое уравнение состояния ван-дер-ваальсовского типа даёт достаточно большую погрешность (20% и более).

5). Почему при мольной концентрации метана 0.9 (смесь находится в ретроградной области фазовой диаграммы) не возникают автоколебания, аналогичные колебаниям при концентрации метана 0.85.

б). Автор повсеместно использует термин влагонасыщенность, при этом имея в виду насыщенность углеводородной жидкой фазой. Термин влагонасыщенность подразумевает насыщенность водой.

7. Заключение о соответствии работы требованиям, предъявляемым к диссертациям.

Основные результаты по теме диссертации изложены в 25 печатных изданиях, в т.ч. 4 - в журналах из перечня ВАК, 5 - в изданиях, индексируемых в библиографической базе данных Scopus, 16 - в тезисах докладов и сборниках трудов конференций. В процессе работы над диссертацией получено 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Тематика публикаций соответствует теме диссертации и отражает содержание диссертационной работы. Автореферат полностью соответствует основным положениям диссертации.

Диссертационная работа Молчанова Дмитрия Анатольевича «Исследование процессов двухфазной фильтрации смеси углеводородов в пористой среде с учетом фазовых переходов» является законченным научным исследованием, выполненным автором самостоятельно на высоком научном уровне, и отвечает требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, а ее автор Молчанов Дмитрий Анатольевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9 - механика жидкости, газа и плазмы.

Заключение принято на заседании Корпоративного центра исследования пластовых систем (керна и флюиды) ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Присутствовало на заседании 14 человек. Результаты голосования: «за» - 14, «против» - нет, воздержавшихся - нет. Протокол № 25 от 11 ноября 2021 г.

**Главный научный сотрудник
Корпоративного центра исследования
пластовых систем (керна и флюиды),
д-р техн. наук**

С.Г. Рассохин

**Главный научный сотрудник
лаборатории физики пласта
Корпоративного центра исследования
пластовых систем (керна и флюиды)
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
д-р техн. наук, доцент**

В.М. Булейко

Подписи Рассохина Сергея Геннадьевича и Булейко Валерия Михайловича
заверяю: *Вед. спец.*



О.В. Сидорова

142717, Россия, Московская область, г.о. Ленинский, поселок Развилка, Проектируемый проезд № 5537, здание 15, строение 1, Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ») Тел.: (498) 657-42-06 e-mail: vniigaz@vniigaz.gazprom.ru