

«УТВЕРЖДАЮ»



Генеральный директор  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
д.т.н. Люгай Д.В.

2016 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации  
на диссертацию Ющенко Тараса Сергеевича  
«Математическое моделирование парожидкостного равновесия  
в многокомпонентных углеводородных системах»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Диссертационная работа Ющенко Т.С. посвящена решению актуальной задачи *построения и исследования математических моделей свойств углеводородных смесей в широком диапазоне давлений и температур*, включая учет наличия остаточной воды в поровом пространстве горных пород. Прикладное значение для нефтегазовой науки заключается в использовании свойств углеводородных смесей, полученных по этим моделям, для расчета многофазной фильтрации, фазового равновесия, процессов выпадения конденсата в широком диапазоне изменения термобарических условий, а также для проектирования разработки и эксплуатации месторождений нефти и газа.

### Актуальность работы

При подсчете запасов нефтяных и газовых залежей и при проектировании их разработки и эксплуатации наличие достоверной информации о свойствах пластовых флюидов при различных термобарических условиях играет важную роль. В настоящее время проектирование и мониторинг разработки месторождений нефти и газа осуществляется с применением специализированных программных комплексов – гидродинамических симуляторов, описывающих исследуемые объекты и процессы. Неотъемлемой частью гидродинамической модели является PVT-модель для расчета

парожидкостного равновесия и свойств пластовых углеводородных смесей во всем диапазоне изменения давлений и температур. Адекватное воспроизведение свойств углеводородных флюидов при различных термобарических условиях имеет определяющее значение при расчете процессов разработки и эксплуатации месторождений нефти и газа. Все это и определяет актуальность решаемых в диссертации проблем.

### **Анализ содержания диссертационной работы**

В работе обоснована актуальность работы, сформулирована цель, основные задачи исследований, охарактеризованы научная новизна и практическая значимость результатов исследований, даны сведения об апробации работы. Рассмотрены теоретические основы создания PVT-моделей природных углеводородных систем и приведены теоретические основы фазовых равновесий в многокомпонентных углеводородных системах. Выполнен обзор основных уравнений состояния Ван-дер-Ваальсового типа и современных тенденций в развитии уравнений состояния. Описаны необходимые исходные данные для создания математических моделей пластовых углеводородных флюидов и способы их получения. Рассмотрены основные методы и алгоритмы расчета фазового равновесия в многокомпонентных углеводородных системах.

Рассмотрена адаптация модели природной газоконденсатной смеси к экспериментальным данным. Описаны существующие методы адаптации PVT-моделей природных углеводородных газоконденсатных смесей, отмечено, что практически во всех работах методика адаптации термодинамической модели к экспериментальным данным не конкретизирована. Подробно описан разработанный автором новый метод адаптации многокомпонентных PVT-моделей природных газоконденсатных смесей к экспериментальным данным, который основан на воспроизведении результатов промысловых измерений и базовых лабораторных термодинамических исследований представительных проб при математическом моделировании с использованием уравнения состояния. Приведены примеры создания корректных PVT-моделей природных углеводородных газоконденсатных систем для месторождений с различным начальным содержанием стабильного конденсата. Рассмотрены особенности подготовки данных для дальнейшего их использования в гидродинамическом моделировании разработки месторождений.

Описаны методы моделирования PVT-свойств многокомпонентных систем «природная углеводородная газоконденсатная смесь – минерализованный раствор воды» на основе трехпараметрического кубического уравнения состояния Пенга-Робинсона с использованием правила смешивания,

предложенным Хьюроном и Видалем, в котором совмещены методы моделирования фазового равновесия, основанные на применении уравнения состояния и коэффициентов активности. Автором были определены параметры правила смешивания Хьюрона – Видаля, которые позволили ему использовать описанный метод для моделирования влияния воды на поведение природной газоконденсатной системы в процессе разработки залежи. Приведены примеры моделирования термобарических свойств газоконденсатных смесей с учетом наличия остаточной воды в системе, которые корреспондируются с результатами экспериментальных работ. Проведено сравнение расчета влагосодержания добываемого газа для трех смесей с использованием метода Бюкачека и описанной выше математической модели расчета фазового равновесия.

Рассмотрена идентификация компонентного состава и термобарических свойств углеводородных флюидов двухфазных залежей при ограниченной исходной информации. Показана обоснованность научно-методического подхода для идентификации компонентного состава пластовой нефти и свободного газа газовой шапки, а также воспроизведение основных PVT-свойств пластовой нефти и оценка свойств газовой шапки 2-фазной залежи при ограниченной исходной информации. Описывается метод идентификации состава сепарированной нефти с применением закона Рауля и дальнейшее вычисление состава пластовой нефти методом численной рекомбинации. Приведен алгоритм оценки компонентного состава и свойств газа газовой шапки. Сформулированы семь основных выводов по данной работе, полностью отражающих её содержание, научную новизну и практическую значимость.

### **Оценка научной новизны и основных результатов диссертационной работы.**

Аналізу и моделированию свойств углеводородных флюидов при различных термобарических условиях посвящено большое число научных работ как отечественных, так и зарубежных ученых. Отметим, что математические модели, используемые для расчета этих свойств, имеют множество настраиваемых параметров. Поэтому вопрос о создании методик и алгоритмов настройки этих параметров для адекватного воспроизведения свойств углеводородных систем нефтяных и газоконденсатных залежей имеет большое научное и практическое значение, несмотря на ряд предложенных ранее подходов к решению указанной проблемы.

Разработанный автором метод создания адекватной математической модели свойств углеводородной газоконденсатной смеси может успешно применяться для построения моделей газоконденсатных и

нефтегазоконденсатных месторождений при различных термобарических условиях. Этот метод апробирован автором на газоконденсатных системах с различным содержанием стабильного конденсата в пластовом газе. Автором показано, что метод может быть использован совместно с рядом специализированных гидродинамических симуляторов.

Разработанный автором метод учета влияния минерализованного раствора воды на свойства природной газоконденсатной системы при различных термобарических условиях апробирован с помощью созданного автором программно-вычислительного комплекса для описания свойств различных природных газоконденсатных смесей. Отметим, что моделирование проводилось как с учетом наличия минерализованного раствора воды в системе, так и в предположении его отсутствия. Полученные автором значения параметров правила смешивания Хьюрона – Видалья позволили с высокой точностью моделировать фазовое равновесие многокомпонентных углеводородных систем, содержащих воду.

Предложенный автором научно-методический подход к идентификации компонентного состава и свойств пластовых флюидов при различных термобарических параметрах и в условиях ограниченной исходной информации позволяет:

- в условиях отсутствия исходных данных о компонентном составе сепарированной и пластовой нефти на основе математической модели восстановить эти компонентные составы;

- при отсутствии данных составе и свойствах газа газовой шапки на основе PVT-модели оценить компонентный состав газовой шапки и значения основных свойств.

### **Практическая значимость и рекомендации по использованию результатов диссертационной работы.**

Разработанный в диссертации метод адаптации PVT-моделей природных газоконденсатных систем к результатам лабораторных и промышленных исследований был апробирован на газоконденсатных смесях с различным начальным потенциальным содержанием стабильного конденсата в пластовом газе, находящихся в различных начальных термобарических условиях в пласте, в том числе для Кынского, Уренгойского, Астраханского, Карачаганакского, Фахировского, Пеляткинского, Вуктыльского месторождений. Данный метод включен в программу учебного курса по повышению квалификации сотрудников ПАО «Газпром нефть» и может успешно использоваться в специализированных симуляторах для адаптации PVT-моделей углеводородных конденсатных смесей,

что делает его важным элементом при гидродинамическом моделировании процессов разработки месторождений.

Метод создания PVT-модели газоконденсатной смеси с учетом наличия остаточной воды был успешно апробирован на примере Астраханского, Уренгойского и Пеляткинского месторождений. Полученные в диссертации новые значения параметров правила смешивания Хьюрона - Видаля позволяют с высокой точностью оценивать влияние минерализованного раствора воды на поведение газоконденсатной смеси.

Предложенный в диссертационной работе научно-методический подход к идентификации компонентного состава и PVT-свойств пластовых флюидов при ограниченной исходной информации получил промышленное внедрение при проектировании разработки месторождений Русанда и Царичанское.

### **Степень достоверности.**

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов основывается на комплексном использовании фундаментальных положений термодинамики многокомпонентных систем, корректностью использования современных методов вычислительной математики, а также тем, что полученные результаты сравниваются с данными промысловых и лабораторных исследований и корреспондируются с ними.

### **Замечания по диссертационной работе.**

- название работы сформулировано очень широко и охватывает ряд вопросов, не рассмотренных в данной диссертации;
- в работе не указаны границы применимости предложенных автором уравнений, в то время как их надо использовать с пониманием ограничений в каждом конкретном случае;
- температура и давление на некоторых из представленных диаграмм не соответствуют результатам лабораторных исследований;
- в диссертационной работе фазовое состояние исследуемых смесей определяется с не высокой точностью, и проверить его очень сложно;

Данные замечания не снижают общей положительной оценки работы, достоверности и значимости результатов выполненных диссертантом исследований.

### **Выводы по диссертации**

Диссертационная работа Ющенко Т.С. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему *построения и*

**исследования математических моделей свойств углеводородных смесей в широком диапазоне давлений и температур.**

Новые результаты, полученные лично диссертантом и с его участием, имеют существенное значение для анализа и моделирования термобарических свойств углеводородных смесей, включая учет наличия остаточной воды в поровом пространстве горных пород.

Представленный автореферат диссертации и опубликованные с участием автора работы полностью отражают содержание диссертации.

Данный отзыв обсуждён и одобрен на научно-методическом Семинаре Корпоративного центра исследования пластовых систем (керна и флюиды) ООО «Газпром ВНИИГАЗ» 21 апреля 2016г, Протокол №30. Присутствовало 18 человек, за - 18 человек, против - нет, воздержавших - нет.

На основании вышесказанного считаем, что диссертация Ющенко Тараса Сергеевича «Математическое моделирование парожидкостного равновесия в многокомпонентных углеводородных системах» соответствует всем требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией к кандидатским диссертациям, а автор диссертации заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»  
Член-корр. РАН, д.т.н.,  
профессор

Б.А. Григорьев

Главный научный сотрудник  
Центра разработки месторождений  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
д.т.н.

В.И. Лапшин

Общество с ограниченной ответственностью Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий - Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром-ВНИИГАЗ»).

Web-сайт организации: [vniigaz.gazprom.ru](http://vniigaz.gazprom.ru)

Адрес электронной почты: [vniigaz@vniigaz.gazprom.ru](mailto:vniigaz@vniigaz.gazprom.ru)

Почтовый адрес: Россия, 115583 Москва, а/я 130

Телефон: +7 (498) 657-42-06.



Подписи Б.А. Григорьев, В.И. Лапшина заверены  
Дир. службы кадров Е.В. Мелекчиной