

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Фоминых Олега Валентиновича на тему: «Научно-методическое обоснование учета фазовых равновесий при проектировании разработки и эксплуатации месторождений углеводородов», представляемой на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, изложена на 195 страницах машинописного текста, содержит 27 рисунков, 57 таблиц, 207 наименований использованных источников, приложения на 4 страницах.

### **1. Актуальность темы**

Процесс разработки нефтегазовых месторождений на всех стадиях сопровождается изменением фазового состояния пластового флюида, обусловленного термобарическими условиями продуктивных пластов. Известно негативное влияние процесса разгазирования нефти в пластовых условиях, связанного со снижением пластового давления ниже давления насыщения, однако рядом исследователей (Шейх-Али Д.М., Шилов В.И. и др.) отмечается явление фазовых переходов газовой фазы из нефти в нагнетаемую воду, закаченную в пласт при организации ППД, на поздней стадии разработки, когда воды прокачено через продуктивный пласт более одного объема пласта, при пластовом давлении большем давления насыщения. Этот процесс сопровождается увеличением вязкости пластовой нефти, что приводит к уменьшению подвижности флюида. В этой связи при проектировании разработки нефтегазовых месторождений и выработке управленческих решений по регулированию разработки необходимо учитывать распределения компонентов углеводородной системы между жидкими (нефть, вода) и газовой фазами при изменении термобарических условий продуктивного пласта. Таким образом, диссертационная работа, посвященная разработке научно-методических основ учета фазовых переходов углеводородов для решения комплекса задач разработки нефтегазовых месторождений, промысловой первичной подготовки газодонефтяных смесей и других рассматриваемых в работе прикладных задач, актуальна и практически значима.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

Научно обосновано, что в диапазоне давлений, характерном для эксплуатации систем подготовки скважинной продукции месторождений углеводородов, для расчета констант фазового равновесия применимо совместное решение уравнений Рауля и Дальтона с использованием уравнения Антуана для определения давления насыщенных паров

рассматриваемых компонентов, позволяющих рассчитывать константы фазового равновесия при давлении менее 1 МПа. Положение, а также вывод 1 обоснованы материалами первой главы диссертации. Положение и вывод имеют научную значимость для развития теории термогидродинамических процессов многокомпонентных, двухфазовых углеводородных систем. Положение и вывод имеют практическую значимость для практического определения констант фазового равновесия в интервалах низких значений давления при технологических процессах в системах сбора и первичной подготовки скважинной продукции.

Разработана методика расчета газосодержания, позволившая определить интервалы вариации извлекаемых запасов растворенного газа, меняющиеся при оптимизации давления, температуры и количества ступеней сепарации на стадии подготовки скважинной продукции к транспорту. Положение обосновано материалами главы 2 диссертации. Положение имеет практическую значимость для определения объема попутно добываемого газа нефтяных месторождений с целью оптимизации подготовки газа для его использования и утилизации.

Разработана методика определения температуры точки росы подготавливаемого попутного нефтяного газа по энергосберегающей технологии в зависимости от его плотности при давлениях до 1 МПа, позволяющая рассчитывать режимы работы и выполнять оценку применимости технологической схемы, обеспечивающего эффективное использование растворенного газа с использованием жидкостно-газовых эжекторов и трехпоточной вихревой трубы. Положение имеет практическую значимость для подготовки попутного нефтяного газа, основанной на энергосберегающей технологии и позволяющей использовать для мелких нефтегазовых месторождений при использовании газа на собственные нужды для генерации электроэнергии, а также реализации близлежащим потребителям коммунальных служб.

Разработана методика разделения объема добываемого попутного нефтяного газа на газ, находящийся в пластовых условиях в свободном состоянии и газ, растворенный в нефти. Положение имеет научную значимость для развития теории дифференциации компонент в гетерогенных системах. Положение практически значимо для повышения достоверности учета движения запасов растворенного и свободного газа при мониторинге разработки месторождений.

Разработаны методика расчета объема углеводородного газа, растворенного в пластовой воде, и алгоритм определения количества добываемого попутного газа, растворенного в пластовых условиях в нефти. Положение и вывод 5 обоснованы материалами главы 5 диссертации. Положение и вывод практически значимы для корректного учета извлеченного из недр растворенного газа.

Вывод 2 обоснован материалами главы 2 диссертационной работы, в которой предложена, научно обоснована и подтверждена экспериментально методика расчета газосодержания нефти с использованием метода определения констант фазового равновесия. Вывод основан на вычислительных экспериментах и сопоставлении с результатами

лабораторных экспериментов. Вывод практически значим для учета влияния термобарических условий для уточнения извлекаемых запасов растворенного газа, что позволяет обоснованно подбирать технологии для его рационального использования.

Вывод 3 обоснован материалами главы 3 диссертации, в которой показана возможность обеспечения параметров добываемого газа в условиях нефтегазовых месторождений требованиям, предъявляемым к газу для подачи потребителю через магистральные газопроводы с применением разработанной энергосберегающей технологии подготовки попутного нефтяного газа на основе использования жидкостно-газовых эжекторов и трехпоточной вихревой трубы. Вывод практически значим для эффективной подготовки попутного нефтяного газа, основанной на энергосберегающей технологии и позволяющей использовать для мелких нефтегазовых месторождений при подаче газа в магистральные газопроводы, а также реализации близлежащим потребителям коммунальных служб.

Вывод 4 обоснован материалами главы 4 диссертации, в которой рассмотрен выбор методов расчета параметров углеводородной системы (плотность, объемный коэффициент, газосодержание) и приведены основные положения моделирования фазового состояния углеводородной смеси в пластовых условиях. Вывод имеет научную значимость для развития теории поведения и свойств гетерогенных систем. Вывод имеет практическую значимость, позволивший разработать метод разделения объема добываемого попутного нефтяного газа на газ, растворенный в пластовых условиях нефти и находящийся в свободном состоянии.

### **3. Значимость для науки и практики полученных результатов**

Теоретическая значимость выполненного диссертационного исследования заключается в установлении и экспериментальном обосновании необходимости использования уравнения Антуана в совместном решении уравнений Рауля и Дальтона для расчета давления насыщенных паров углеводородов и расчета констант фазового равновесия при давлениях до 1 МПа.

Доказана и подтверждена экспериментальными данными возможность определения газосодержания нефти аналитическим методом с использованием алгоритма расчета сепарации и разработанного метода определения констант фазового равновесия.

Разработана методика определения температуры точки росы подготавливаемого попутного нефтяного газа в зависимости от его давления и плотности, что позволяет обеспечить эффективную энергосберегающую технологию подготовки газа для требований потребителя.

Разработана методика разделения количества добываемого попутного нефтяного газа на объемы свободного и растворенного газа, позволяющая дифференцировать источник поступления газа и принимать эффективное решение по регулированию разработки газонефтяных месторождений.

Разработана методика разделения объема попутного нефтяного газа на газ, растворенный в пластовых условиях в воде и нефти.

#### **4. Рекомендации по использованию результатов диссертационного исследования**

Результаты работы Фоминых О.В. рекомендуются к широкому применению на нефтегазовых и газонефтяных месторождениях РФ.

Разработанные методики рекомендуются к использованию для контроля газового фактора, выделения источника газа для принятия решений по регулированию разработки газонефтяных месторождений и повышения эффективности использования попутного нефтяного газа.

#### **5. Замечания по работе**

По диссертационной работе есть следующие замечания:

1. «Содержание» диссертационной работы оформлено с ошибками. Так, в частности, раздел «Введение» не указано в «Содержании». Кроме того, текст диссертации не свободен от орфографических, синтаксических ошибок и ошибок пунктуации. При оформлении текста диссертации допущена небрежность. Так, в частности, таблицы 1.2 и 4.2 в тексте отсутствуют, после таблиц 1.1 и 4.1 идут таблицы 1.3 и 4.3 соответственно, две таблицы с одинаковым номером 2.1 на страницах 72 и 79 диссертации. В тексте диссертации также встречаются рисунки с одинаковыми номерами. Так на странице 120 приведен рисунок 3.4, а на странице 125 приведен другой рисунок, но тоже с номером 3.4. В главе 5 три рисунка имеют одинаковый номер 5.2. Не все условные обозначения, используемые в формулах, сопровождаются расшифровками (например, 1.1, 1.2 и др.), а некоторые расшифровки не понятны. Так, например, для параметра  $R_s$  в выражении (2.14) расшифровка приведена в виде «газ, приведенный к пластовым условиям, который при пластовых термобарических условиях полностью растворяется в нефти», при этом размерность для этого параметра указана в виде  $\text{ст.м}^3/\text{ст.м}^3$ , т.е.  $R_s$  безразмерна. О каком параметре газа идет речь?

2. Текст автореферата не в полной мере отражает текст диссертации. Так, например, в тексте автореферата указывается, что диссертация содержит 24 рисунка, а в тексте диссертации приведено 27 рисунков.

3. Уравнение 2.14 диссертации не понятно по физическому смыслу. По сути, при открытии скобок оно отражает равенство  $R=R$ . Непонятны также выражения (2.15) и (2.16). В тексте диссертации перед этими уравнениями говорится об объеме, но в самих выражениях объема нет.

4. Для выражения (1.13) указано, что оно записано для расчета химического потенциала при постоянном давлении и составе, однако вид уравнения говорит об обеспечении постоянства для температуры, а не давления. Нет ошибки ?

5. На странице 49 указывается, что на рисунках 1.1-1.3 приведены графики зависимости констант фазового равновесия, рассчитанные по уравнению Пенга-Робинсона, а на рисунках 1.4-1.5 – графики, построенные по значениям констант из справочника. А на рисунке 1.6 на основании каких данных получена зависимость ? Почему в уравнении (1.72) показатель степени называется коэффициентом корреляции ? Ведь, насколько я понял,



зависимости на приведенных рисунках не корреляционные, а построены по аналитическим зависимостям ?

6. В тексте диссертации на странице 61 указывается, что «Для оценки достоверности **предлагаемой выше методики** необходимо выполнить сравнение экспериментальных и расчетных данных», но из текста диссертации не понятно в чем конкретно состоит «**предлагаемая выше методика**»? Следовало бы формализовать и компактно изложить положения методики.

7. В тексте диссертации указывается, что газовый фактор и газосодержание являются сходными терминами и которые часто взаимозаменяются в различных документах. Это, на мой взгляд, не верно, поскольку ввод в рассмотрение этих понятий и определений направлено на идентификацию конкретных физических явлений, а путаница в различных документах чаще всего связана с подменой этих терминов при описании процессов в пласте, по стволу и в системах сбора продукции на промыслах. Если придерживаться терминологии, то для растворенного газа в пластовых условиях речь идет о газосодержании, а при рассмотрении процесса выделения газа в стволе и системах сбора продукции скважин корректно использование термина «газовый фактор». Тогда никакой путаницы не будет.

8. Не понятно в чем заключается исследование существующих методов подсчета запасов растворенного газа, изложенных в п. 2.2 и что в этой связи предлагается автором ?

9. Название п. 2.3, на мой взгляд, сформулировано не корректно. Не понятно как может технология подготовки нефти влиять на величину газового фактора, учитывая, что нефть с растворенным газом и частью свободного газа поступает на вход установки подготовки нефти и эта система обратной связи не имеет ?

10. Из текста диссертации непонятно способ подготовки попутного газа с применением вихревых труб, подробно изложенный в п. 3.2, является разработкой автора ? Из ссылок на работы в этом пункте не позволяет сделать вывод о личном вкладе автора в изложенный способ. Если автор не имеет отношения к этому способу, то непонятна причина подробного его изложения.

11. В тексте п.3.4 указывается, что «представленные в разделе уравнения, ..., позволили сформулировать методику расчета температуры точки росы подготавливаемого с применением разработанной энергосберегающей технологии попутного нефтяного газа», однако при этом сама методика в компактном виде не изложена и, кроме того, из текста главы 3 не понятно доля участия автора в предлагаемой технологии с использованием жидкостно-газовых эжекторов и вихревой трубы.

12. Большинство численных коэффициентов для уравнений, приводимых в диссертации, не сопровождаются числовыми значениями и не указывается из каких соображений их получает автор, например, в выражении (4.24) и других.

13. Следует пояснить подробнее приведенные гистограммы на рисунках 4.1 и 4.2. Не понятно снижение массовой доли нефти в составе пластовой смеси. За счет чего, появления какой фазы ?

## Заключение

Указанные замечания не снижают ценности и значимости выполненных автором исследований. Считаю, что диссертационная работа Фоминых Олега Валентиновича на тему: «Научно-методическое обоснование учета фазовых равновесий при проектировании разработки и эксплуатации месторождений углеводородов», является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержатся научно обоснованные решения, позволяющие с единых позиций констант фазового равновесия обосновать технологические параметры систем подготовки нефти, определять газовый фактор и газосодержание на всех этапах разработки газонефтяных месторождений, обеспечивать требования к добываемому газу для подачи потребителю, что имеет научную значимость и существенное практическое значение для нефтедобывающей отрасли страны.

Диссертация соответствует критериям, утверждённым Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (п. 9-14) «Положение о порядке присуждения учёных степеней» ВАК Минобрнауки РФ, а ее автор, Фоминых Олег Валентинович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.17 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,  
Эксперт ООО «Башнефть-Петротест»,  
профессор (аттестат ПР № 005107),  
доктор технических наук по специальности  
01.04.14 Теплофизика и теоретическая теплотехника,  
25.00.10 Геофизика, геофизические методы  
поисков полезных ископаемых

Электронный адрес: [fed\\_vyach@mail.ru](mailto:fed_vyach@mail.ru)  
Адрес организации:  
450076, Уфа, ул. Карла Маркса, 23  
(347) 2482773

«20» ноября 2020г.

Федоров  
Вячеслав  
Николаевич

3  
Ал  
Федоров В.И.  
Уфа  
ИИ 0274161458  
г. УФА