

**Хабиров Тимур Раильевич**

**ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ  
ТЕРМОГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НАКЛОННОЙ  
СКВАЖИНЕ ПРИ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКАХ**

01.04.14 - Теплофизика и теоретическая теплотехника

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена на кафедре геофизики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет».

Научный руководитель	Доктор физико-математических наук, профессор Шарафутдинов Рамиль Фаизырович
Официальные оппоненты	Доктор физико-математических наук, профессор, Фатыхов Миннехан Абузарович (ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акумлы»), заведующий кафедрой общей и теоретической физики)
	Доктор физико-математических наук, профессор, Федоров Константин Михайлович (ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет»), директор физико-технического института)
Ведущая организация	ФГБУН Институт механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН

Защита состоится «23» марта 2016 г. в 15 час на заседании диссертационного совета Д 212.274.10 при ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Перекопская 15а, ауд. 410.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет» и на сайте <http://d21227410.utmn.ru/defenses>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 212.274.10  
д.ф.-м.н.

Удовиченко С.Ю.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

На сегодняшний день метод термометрии позволяет эффективно решать многие геолого-промысловые задачи в скважинах нефтяных месторождений и подземных хранилищ газа. Несмотря на его широкое применение метод имеет ограничения при получении количественных характеристик в условиях многофазного потока в наклонных скважинах, так как используемые на производстве российскими предприятиями методики интерпретации основываются на представлениях об однофазном потоке. В зарубежной практике многофазные потоки хорошо изучены, построены математические модели, которые широко используются на производстве. Но все их исследования направлены на скважины с высокими скоростями потока. В российских же условиях очень часто встречаются низкодебитные скважины. Поэтому теоретическое исследование неизотермических многофазных потоков с малыми скоростями является востребованной задачей. При этом возникают проблемы связанные с неоднозначностью, так как формирование температурного поля в скважине зависит от многих факторов: истории работы скважины, теплофизических свойств пород и флюида, депрессии, литологического разреза и т.д. По отдельности, оценить вклад каждого фактора на формирование теплового поля путем простого анализа происходящих процессов невозможно, поэтому необходима разработка математических моделей нестационарных многофазных потоков для теоретического изучения вклада различных термодинамических эффектов в температурное поле в скважине и совершенствования на их основе методики промысловых исследований и интерпретации практических данных.

### **Цель и задачи работы**

Повышение эффективности термометрических исследований скважин на основе использования математических моделей нестационарных неизотермических многофазных потоков в наклонных скважинах.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ современного состояния теоретических и экспериментальных работ в области изучения многофазных потоков в наклонных скважинах с целью постановки задачи исследований.

2. Разработка математических моделей для двухфазного дисперсного потока в вертикальной скважине, двухфазного расслоенного потока в горизонтальной скважине.

3. Исследование термогидродинамических процессов в вертикальной и горизонтальной скважине при двухфазных потоках с фазовыми переходами.

4. Определение путей практического применения результатов численного моделирования при интерпретации потокометрических исследований скважин нефтяных месторождений и подземных хранилищ газа.

### **Научная новизна исследований**

1. Разработаны новые математические модели нестационарных многофазных термогидродинамических процессов в наклонной скважине, учитывающие межфазный теплообмен, фазовый переход, конвективный и кондуктивный теплоперенос.

2. Установлены границы применимости однотемпературной гомогенной двухфазной модели потока в наклонной скважине.

3. Изучена чувствительность объемной доли фаз и температуры к притоку из пласта в горизонтальной скважине при малых скоростях потока.

### **Основные положения и результаты, выносимые на защиту:**

1. Разработанные математические модели тепло- и массопереноса при многофазном потоке в наклонной скважине с учетом межфазного теплообмена, фазового перехода, конвективного и кондуктивного теплопереноса, позволяющие адекватно описать процесс формирования температурного поля в скважине применительно к задачам контроля за разработкой нефтяных, нефтегазовых месторождений и подземных хранилищ газа.

2. Границы применимости однотемпературной гомогенной модели многофазного потока применительно к моделированию добывающих скважин.

3. Ограничения методики выделения и количественной оценки зон притока в горизонтальной скважине с двухфазным потоком по измеренным объемным долям и температуре.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций** основана на использовании фундаментальных уравнений тепло- и массопереноса и апробированных численных методов решения задач неизотермического многофазного потока, сравнении результатов с известными аналитическими и численными решениями.

**Практическая значимость работы** состоит в следующем:

Повышение эффективности термометрических исследований скважин в условиях многофазного потока. Созданные математические модели обеспечивают повышение качества планирования и интерпретации результатов термометрических исследований скважин за счет учета установленных особенностей многофазного потока в стволе наклонной скважины нефтяных месторождений и подземных хранилищ газа.

Результаты диссертационной работы использованы в ООО НПФ «ГеоТЭК» при разработке методического руководства по интерпретации результатов термометрических исследований скважин с многофазными потоками.

**Личный вклад автора** состоит в разработке математических моделей нестационарных многофазных потоков в наклонной скважине; проведении тестирования моделей и численных экспериментов.

**Апробация работы**

Результаты исследований докладывались и обсуждались на российских и международных научных конференциях, семинарах. Их перечень приведен ниже:

- Научно-практическая конференция «Промысловая геофизика в XXI веке» (Уфа, 2009).

- Международная школа-конференция для студентов, аспирантов и молодых ученых «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании» (Уфа, 2010)
- Российская конференции «Многофазные системы: природа, человек, общество, технологии» (Уфа, 2010).
- XVIII научно-практическая конференция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин» (Уфа, 2012).
- VIII молодежная научно-практическая конференция «Повышение эффективности геологоразведочных работ» (Уфа, 2013).
- Конференция, посвященная 50-летию кафедры «Геофизика» БашГУ в рамках XXII Международной специализированной выставки «Газ. Нефть. Технологии-2014» (Уфа, 2014).
- XIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск, 2014).
- Международная конференция EAGE «21<sup>st</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics» (Турин, 2015).
- Научный семинар кафедры геофизики БашГУ под руководством проф. Валиуллина Р.А. (Уфа, 2009-2015).

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы опубликовано в 14 работах, в том числе в 5 статьях, входящих в перечень ВАК. Их список приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы составляет 134 страницы и включает список литературы из 96 наименований, 64 рисунка, 27 таблиц и 6 приложений.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по соглашению №14.574.21.0053 (RFMEFI57414X0053) (исполнитель).

Автор выражает благодарность научному руководителю и сотрудникам кафедры геофизики БашГУ, а также коллективу Московского научно-исследовательского центра компании Шлюмберже.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, обоснованы научная новизна и практическая ценность, приведены основные защищаемые положения и результаты, выносимые на защиту.

**В первой главе** приводится обзор теоретических работ, посвященных изучению многофазных потоков в скважине, трубопроводе и других каналах применительно к задачам скважинной термометрии (Рахматуллин Х.А, Брусилковский А.И, Капица П.Л., Кутателадзе С.С., Костерин С.И., Нигматуллин Р.И., Петухов Б.С., Кузнецов Ю.Н., Гумеров А.Г., Шабаров А.Б., Wallis G.B, Taitel Y., Duckler A.E., Aziz K., Hasan A.R., Kabir C.S, Shoham O., Govier G.W., Brill J.P., Mukherjee H., Shi H., Валиуллин Р.А., Шарафутдинов Р.Ф., Рамазанов А.Ш. и др.). Анализ работ показал необходимость исследования температурных полей многофазных потоков в скважинах, так как этому вопросу посвящено малое количество работ, с целью улучшения достоверности интерпретации термогидродинамических исследований скважин.

Кроме того приведено описание основных физических явлений, происходящих при течении неизотермического многофазного потока в канале. Показана нестационарная одномерная система уравнений, описывающая подобный поток в общем случае.

**Во второй главе** описаны численные модели, позволяющие моделировать двухфазные неизотермические потоки в вертикальной и горизонтальной скважинах, результаты тестирования разработанных моделей.

В основе первой лежит модель потока дрейфа, которая предполагает единое уравнение сохранения количества движения, а разность скоростей фаз задается

эмпирическим выражением. В данной работе использовалась корреляция для пузырькового режима течения. Во второй модели используется общая постановка в предположении расслоенного режима потока. Обе модели дополняются уравнениями сохранения энергии для расчета температурных полей.

Пузырьковый и расслоенный режимы течения для вертикальных и горизонтальных скважин, соответственно, были выбраны, так как они характерны при малых дебитах (до 100 – 200 м<sup>3</sup>/сут). А именно такие потоки преимущественно изучаются в данной работе.

Для первой модели основная система уравнений выглядит следующим образом.

Уравнения неразрывности для каждой из фаз:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_k \alpha_k S) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho_k \alpha_k v_k S) = (J_k + J_{ki})S. \quad (1)$$

Совместное уравнение сохранения количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \sum_{k=1}^2 \rho_k \alpha_k v_k S \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \sum_{k=1}^2 \rho_k \alpha_k v_k^2 S \right) = -S \frac{\partial p}{\partial z} - \tau P - \left( \sum_{k=1}^2 \rho_k \alpha_k g S \right). \quad (2)$$

Уравнения сохранения энергии для каждой из фаз:

$$\frac{1}{S} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (c_k \rho_k \alpha_k T_k S) + \frac{\partial}{\partial z} (c_k \rho_k \alpha_k v_k T_k S) \right] = \eta_k c_k \rho_k \alpha_k \frac{\partial p}{\partial t} - a_k F_k (T_k - T_{ex}) - a_{km} F_{km} (T_k - T_m) + c_k J_k T_k^{inj} + J_{ki} (c_k T_{ki} + \chi_k). \quad (3)$$

где  $t$  – время;  $z$  – координата вдоль ствола скважины; нижние индексы:  $k$  – номер фазы (1 – жидкость, 2 – газ),  $ki$  – взаимодействие с межфазной поверхностью,  $ex$  – окружающие скважину горные породы,  $m$  – другая фаза; верхний индекс  $inj$  – внешние источники;  $T$  – температура;  $\rho$  – плотность;  $P$  – давление;  $v$  – средняя по сечению скорость;  $\alpha$  – объемное содержание фазы;  $S$  – площадь поперечного сечения,  $P$  – периметр сечения эксплуатационной колонны;  $\tau$  – касательное напряжение на стенке эксплуатационной колонны;  $J$  – внешний источник массы или интенсивность фазового перехода;  $c$  – теплоемкость;  $a$  – коэффициент теплообмена;  $F$  – площадь поверхности на единицу объема;  $\eta$  – адиабатический коэффициент;  $\chi$  – скрытая теплота разгазирования.



Основная система уравнений модели расслоенного потока записывается следующим образом.

Уравнения неразрывности для каждой из фаз:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k S) + \frac{\partial}{\partial z}(\alpha_k \rho_k v_k S) = J_k S. \quad (4)$$

Уравнения сохранения количества движения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k v_k S) + \frac{\partial}{\partial z}(\alpha_k \rho_k v_k^2 S) = & -\alpha_k S \frac{\partial p}{\partial x} - \tau_{kw} \Pi_{kw} - \tau_{ki} \Pi_{ki} - \\ & - \alpha_k \rho_k g S \left( \cos \theta \frac{\partial h_1}{\partial x} + \sin \theta \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения сохранения энергии для каждой из фаз:

$$\begin{aligned} \frac{1}{S} \left[ \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k c_k T_k S) + \frac{\partial}{\partial z}(\alpha_k \rho_k c_k v_k T_k S) \right] = & -a_k F_k (T_k - T_{ex}) - \\ & - a_{km} F_{km} (T_k - T_m) + c_k J_k T_k^{inj}. \end{aligned} \quad (6)$$

Здесь  $x$  – координата вдоль ствола скважины; нижние индексы:  $k$  – номер фазы (1 – тяжелая, 2 – легкая),  $w$  – стенка скважины;  $T$  – температура;  $h_1$  – высота слоя жидкости;  $\theta$  – угол наклона скважины относительно горизонтали.

В первой модели жидкость считается несжимаемой, а газ описывается уравнением состояния для идеального газа. Во второй модели оба флюида несжимаемые, что является допустимым приближением, так как изменение давления вдоль ствола горизонтальной скважины достаточно невелико.

Обе системы уравнений вместе с замыкающими соотношениями и начальными и граничными условиями решались численно методом контрольного объема.

Тестирование численных алгоритмов, реализующих описанные модели, включало в себя проверку законов сохранения, а также сравнение в простых случаях с известными аналитическими решениями.

**Третья глава** посвящена численному исследованию термогидродинамических полей в вертикальных и горизонтальных скважинах с использованием разработанных моделей.

Наибольшее внимание в данной главе уделено межфазному теплообмену, так как на текущий момент, как при качественной так и количественной интерпретациях температур он не учитывается, делается предположение о мгновенном выравнивании температур различных фаз. Но в реальной скважине на это требуется некоторое время, за которое флюиды могут переместиться на значительное расстояние. Основными параметрами, влияющими на это расстояние являются средняя скорость смеси и интенсивность межфазного теплообмена, которая в свою очередь зависит от площади контакта фаз и скорости проскальзывания.

Рассмотрим данные параметры для пузырькового режима течения. Скорость всплытия одиночного пузырька, которая в первую очередь определяет скорость проскальзывания, для условий газонефтяных скважин составляет порядка 20 см/с. Кроме того за счет неравномерного профиля скорости смеси и концентрации газовой фазы, в поперечном сечении скважины скорость проскальзывания становится еще большей.

Эффективный размер пузырьков газа по различным оценкам составляет 4 – 10 мм, что является достаточно широким диапазоном, потому что площадь межфазной поверхности при крайних значениях изменяется примерно в 6 раз.

Для того, чтобы посмотреть совместное влияние всех описанных параметров на расстояние, необходимое для выравнивания температур фаз, были проведены многовариантные расчеты, часть из которых представлена на рисунке 1. Они показали, что расстояние варьируется в пределах от 1.5 до 10 м. При этом наибольшая зависимость наблюдается от эффективного размера пузырьков газа, а средняя скорость смеси влияет незначительно.

В случае расслоенного потока в горизонтальной скважине характер межфазного теплообмена существенно отличается. Во-первых, площадь контакта фаз меньше на 1-2 порядка относительно пузырькового режима, из-за чего интенсивность теплообмена между флюидами существенно ниже. Во-вторых, скорость проскальзывания сильно зависит от угла наклона скважины. Как известно, горизонтальные скважины всегда обладают небольшим углом наклона, который может быть как положительным, так и отрицательным.

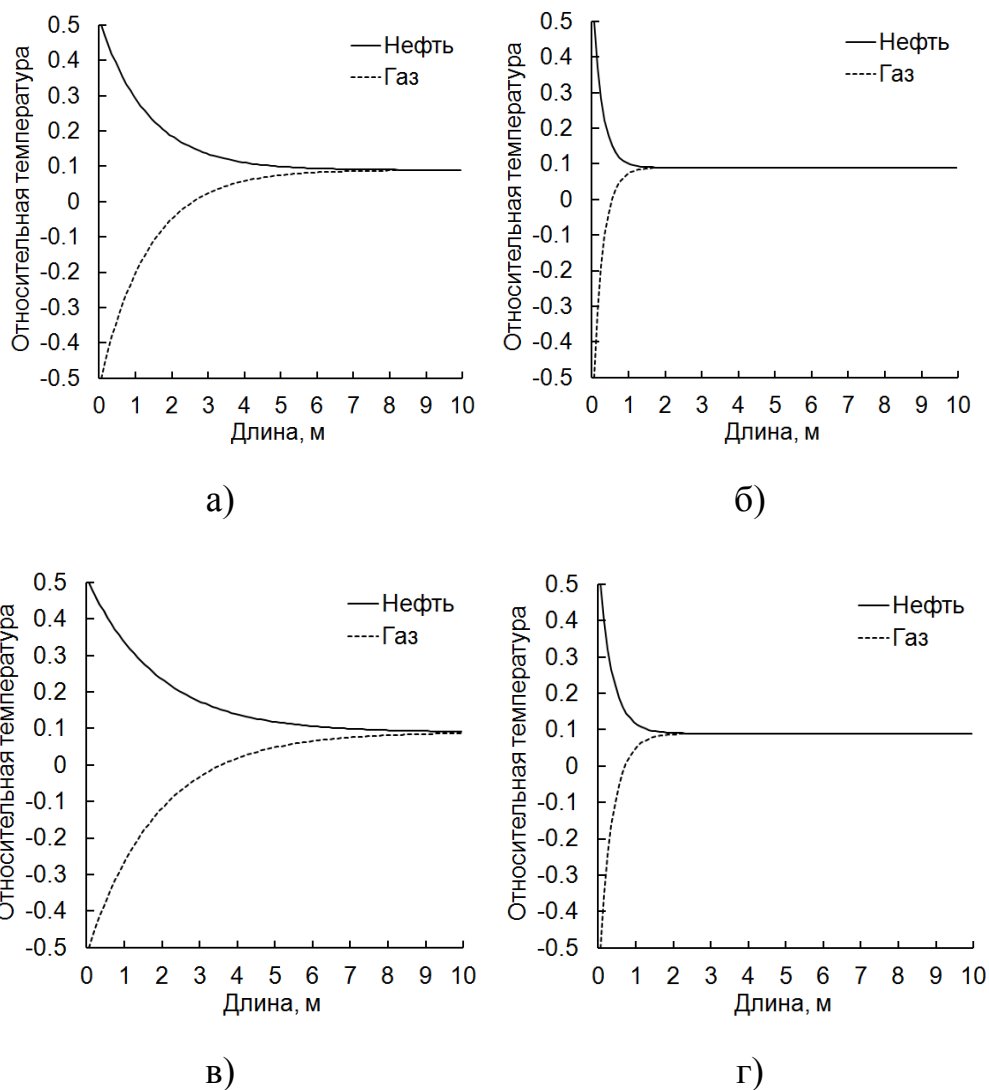


Рисунок 1 – Выравнивание температур фаз при различных размерах пузырьков газа и суммарных дебитах при соотношении нефти и газа 1 к 3. (а – 1 см, 40 м<sup>3</sup>/сут; б – 4 мм, 40 м<sup>3</sup>/сут; в – 1 см, 160 м<sup>3</sup>/сут; г – 4 мм, 160 м<sup>3</sup>/сут).

На рисунке 2 представлен расчет расслоенного потока нефти и воды на тестовой траектории, которая имеет секцию подъема в середине. Как видно, угол наклона скважины имеет критическое влияние как на объемную долю, так и на интенсивность межфазного теплообмена. Первый эффект связан с различным воздействием силы тяжести на поток при изменении угла наклона, а второй – результат изменения скорости проскальзывания.

Также необходимо отметить, что расстояние, необходимое для выравнивания температур флюидов в расслоенном потоке очень существенное, порядка десятков или сотен метров. Это говорит о том, что допущение об одинаковой тем-

пературе фаз может привести к существенным неточностям в описании температурного поля.

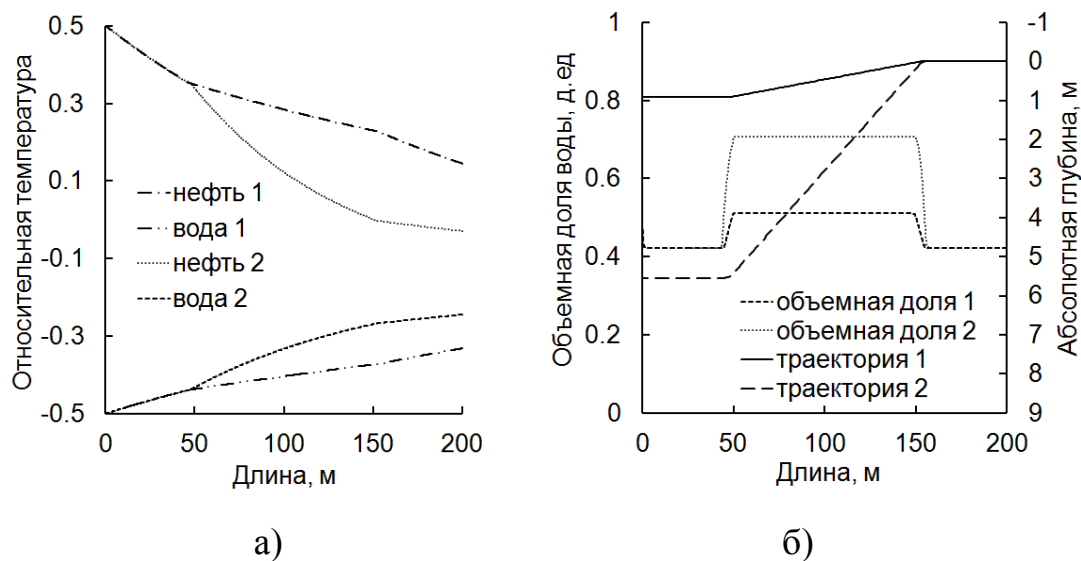


Рисунок 2 – Выравнивание температур фаз при различных траекториях. Дебит нефти и воды – по  $50 \text{ м}^3/\text{сут.}$  (а – угол подъема  $0.5^\circ$ ; б – угол подъема  $3^\circ$ ).

На текущий момент при качественной и количественной интерпретации в российской практике используются гомогенные модели. Как было показано выше, расстояние, необходимое для выравнивания температур фаз при пузырьковом режиме течения, может достигать 10 м. Поэтому применение гомогенной однотемпературной модели в некоторых случаях может привести к неточности интерпретации. Например, при поступлении свободного газа в поток нефти (рисунок 3) прибор находится на нижней образующей ствола скважины, а газ идет по верхней. В итоге датчик находится в нефти и регистрирует ее температуру, которая отличается от среднемассовой температуры, являющейся результатом при расчете по гомогенной модели, в интервале смешивания и выше него. Данный эффект проявляется существенно при большом эффективном размере пузырьков газа (10 мм) и практически исчезает при его малых значениях (4 мм).

Для расслоенного режима течения при поступлении флюида с температурой, отличной от потока, разница температур фаз будет наблюдаться на существенном расстоянии от места притока. Этот факт ограничивает возможность использования гомогенных однотемпературных моделей при таких условиях.

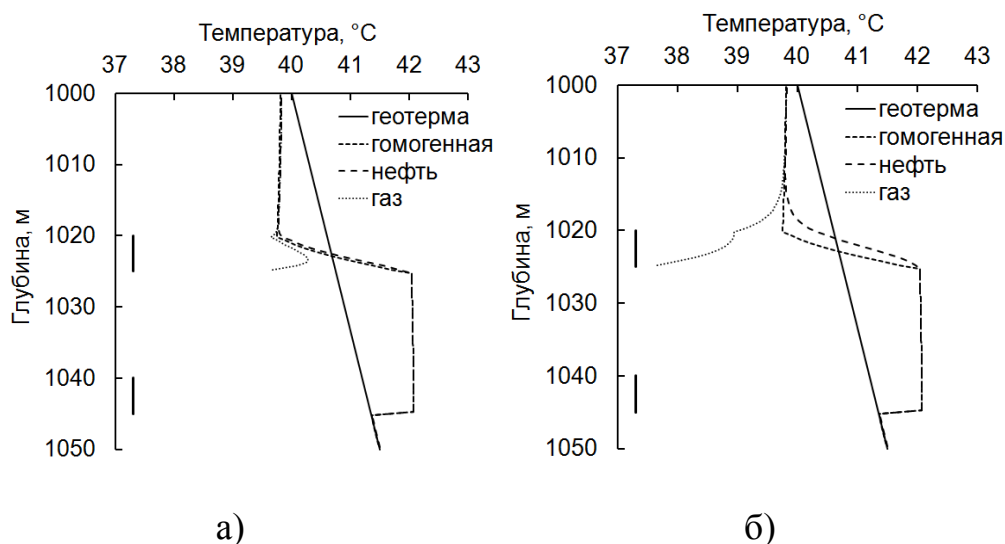


Рисунок 3 – Сравнение текущей модели при различных размерах пузырьков с термограммой, рассчитанной с помощью однотемпературной гомогенной модели (а – 4 мм, б – 10 мм).

Также для горизонтальной скважины была изучена чувствительность объемной доли к притоку из пластов для того, чтобы выявить возможность количественного определения зон притока по измеренной объемной доле с помощью многодатчикового прибора. На данный момент в РФ широко используется прибор АГАТ-КГ-42-6В, который обладает шестью распределенными по сечению скважины датчиками влагомера и температуры. Погрешность определения объемной доли таким прибором составляет как минимум 25%. Поэтому объемная доля должна обладать хорошей чувствительностью к притоку для его уверенного выделения и расчета.

Как показали многовариантные расчеты (пример одного из них на рисунке 4б), при расходах менее 100-200 м<sup>3</sup>/сут, чувствительность объемной доли недостаточна для расчета фазовых расходов. Это происходит из-за того, что поток при малых скоростях сильно чувствителен к углу наклона скважины (рисунок 4а). В итоге, на фоне влияния траектории зоны притока рассчитать достаточно сложно.

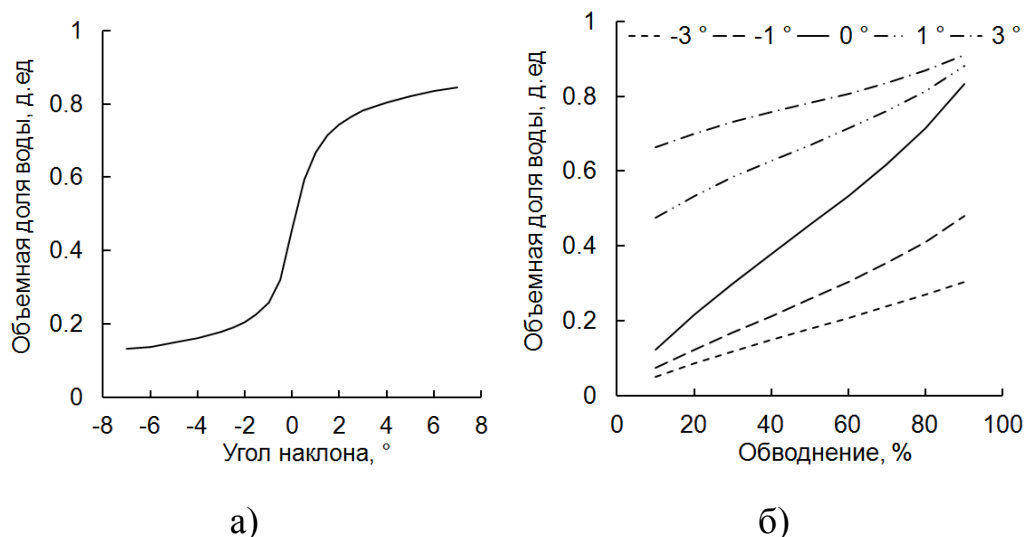


Рисунок 4 – Чувствительность объемной доли к углу наклона скважины относительно горизонтали (а) и к соотношению дебитов воды и нефти при различных углах наклона (б).

**В четвертой главе** рассматривается проблема выявления заколонных перетоков в скважинах подземных хранилищ газа, что является одним из основных вопросов контроля за их эксплуатацией.

Численное моделирование было применено для улучшения методик выявления заколонных перетоков в скважинах подземных хранилищ газа. Оно позволяет выяснить особенности распределения температуры в исследуемой системе в нестационарных условиях. Ниже приведен (рисунок 5) пример расчета восстановления температуры при наличии заколонного перетока газа из пласта коллектора подземного хранилища газа в вышележащий пласт. Видно, что при восстановлении температуры, вышележащий пласт (в который за счет заколонного перетока закачивается газ) отмечается сниженным темпом восстановления температуры.

Основной проблемой при интерпретации данных термометрии при выявлении заколонных перетоков является разделение процессов связанных с влиянием теплопроводности и конвективного переноса тепла при наличии заколонных перетоков.

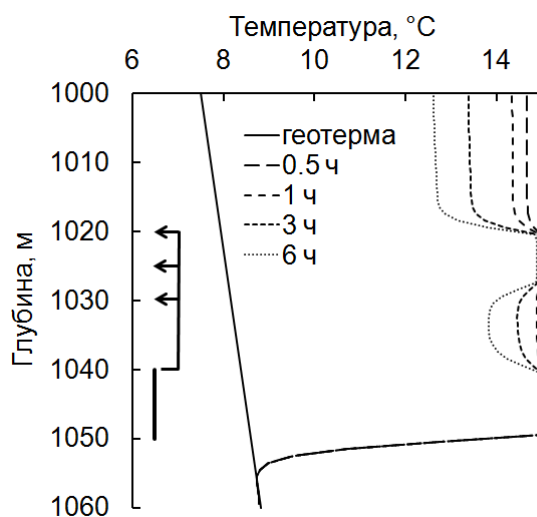


Рисунок 5 – Распределение температуры после нагнетания с дебитом  $10000 \text{ м}^3/\text{сут}$  и интенсивностью заколонного перетока –  $500 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Далее рассматривается практический пример использования математической модели при интерпретации данных термометрии. Приводятся результаты расчета и сопоставление с промысловыми данными распределения температуры в различные моменты времени после остановки скважины подземного хранилища газа при наличии заколонного перетока. Анализ восстановления температуры в скважинах ПХГ позволяет прогнозировать места техногенного нарушения. В основе данного подхода лежит различие во временах восстановления температуры, в интервалах охваченных заколонными перетоками газа и не нарушенных зон. В принимающих и отдающих интервалах, восстановление температуры происходит гораздо медленнее.

На следующем примере (рисунок 6) приведены результаты расчета и сопоставление с промысловыми данными распределения температуры в различные моменты времени после остановки скважины подземного хранилища газа при наличии заколонного перетока. Анализ восстановления температуры в скважинах подземных хранилищ газа позволяет выявить наличие заколонного перетока. В основе данного подхода лежит различие во временах восстановления температуры, в интервалах охваченных заколонными перетоками газа и не нарушенных

зон. В принимающих и отдающих интервалах, восстановление температуры происходит гораздо медленнее.

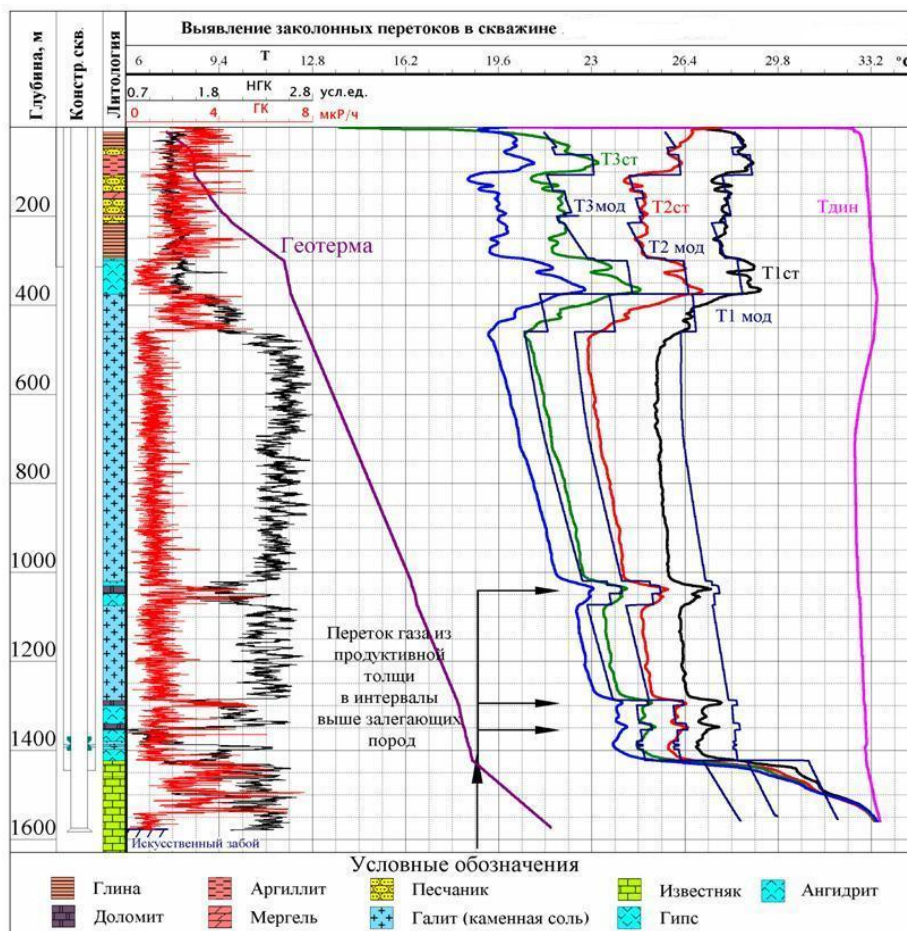


Рисунок 6 – Результаты промысловых исследований и сопоставление с результатами расчета

Таким образом, математическое моделирование процесса восстановления температуры в этой скважине подтвердило отмеченные закономерности, что позволило выявить заколонный переток газа из резервуара хранилища в вышележащие коллекторы.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Разработаны и исследованы численные модели тепло- и массопереноса при нестационарном многофазном потоке в наклонных скважинах с учетом межфазного теплообмена, фазового перехода, конвективного и кондуктивного



теплопереноса, которые позволяют адекватно описывать процесс формирования температурного поля в наклонной скважине.

2. Разработанные модели протестированы на известных аналитических решениях.

3. Исследованы особенности температурных полей в скважинах с двухфазным потоком при малых скоростях.

4. Результаты проведенных исследований пузырькового режима потока показали, что при больших эффективных размерах пузырьков газа использование гомогенной однотемпературной модели может привести к неточности интерпретации данных термометрии.

5. Результаты проведенных исследований расслоенного режима течения показали, что выравнивание температур фаз происходит на существенном расстоянии от места смешивания. Кроме того было показано, что чувствительность объемной доли к притоку при расходах до 100-200 м<sup>3</sup>/сут недостаточна для ее количественного расчета.

6. Математическое моделирование процесса восстановления температуры в скважинах подземных хранилищ газа позволяет выявить заколонный переток газа из резервуара хранилища в вышележащие коллекторы

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:**

1. Хабилов, Т.Р. Исследование неизотермического двухфазного течения в вертикальной скважине / Р.Ф. Шарафутдинов, Т.Р. Хабилов, А.А. Садретдинов // Прикладная механика и техническая физика. – 2015. – №2. – С.15-20.

2. Хабилов, Т.Р. Особенности расслоенного потока в горизонтальной скважине / Т.Р. Хабилов, Р.Ф. Шарафутдинов // Каротажник. – 2014. – №9. – С. 63-71.

3. Хабилов, Т.Р. О количественном определении состава притока с использованием распределенных влагомеров / Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, Т.Р., Хабилов, К.Р. Ахметов, Ю.Г. Мызников, И.Р. Бакиев, С.Г. Кудряшова // Георесурсы. – 2013. – №3. – С. 21-24.

4. Хабилов, Т.Р. Математическая модель для расчета термогидродинамических процессов в системе горизонтальная скважина-пласт / Т.Р. Хабилов, А.А. Садретдинов, Р.Ф. Шарафутдинов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2013. – №8. – С.29-32.

5. Хабилов, Т.Р. Экологические вопросы контроля за эксплуатацией скважин подземных хранилищ газа / Р.А. Валиуллин, Р.Ф. Шарафутдинов, Садретдинов, М.Ф. Закиров, Т.Р. Хабилов, А.М. Шарипов // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – №2. – С.1456-1462.

**В других изданиях:**

6. Khabirov, T.R. The Use of Mathematical Models in the Control Environment of Underground Gas Storage / R.F. Sharafutdinov, R.A. Valiullin, A.S. Ramazanov, A.A. Sadretdinov, T.R. Khabirov, A.M. Sharipov // 21<sup>st</sup> European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. – Turin. – 2015. – Мо 21P1 06.

7. Хабилов Т.Р., Садретдинов А.А., Шарафутдинов Р.Ф. Неизотермическое двухфазное движение с фазовыми переходами в системе скважина – пласт / Т.Р. Хабилов, А.А. Садретдинов, Р.Ф. Шарафутдинов // XIII Всероссийская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики»: Тезисы докладов. – Новосибирск. – 2014. – С.165-166.

8. Хабилов, Т.Р. Многофазные потоки в стволе горизонтальных скважин при низких и средних дебитах» / Т.Р. Хабилов // Тезисы докладов конференции, посвященной 50-летию кафедры «Геофизика» БашГУ в рамках XXII Международной специализированной выставки «Газ. Нефть. Технологии-2014». – Уфа. – 2014. – С.163-168.

9. Хабилов, Т.Р. Моделирование расслоенного многофазного потока в горизонтальной скважине / Т.Р. Хабилов, Р.Ф. Шарафутдинов // Сборник докладов Восьмой молодежной научно-практической конференции «Повышение эффективности геологоразведочных работ». – Уфа. – 2013. – С.101-104.

10. Хабилов, Т.Р. Результаты экспериментальных исследований и теоретического моделирования двухфазного расслоенного потока при знакопеременной траектории горизонтального ствола / А.Р. Яруллин, Т.Р. Хабилов // Международная научно-практическая конференция «Наука XXI века: проблемы и перспективы». – Уфа. – 2013. – С.124-128.
11. Хабилов, Т.Р. Математическое моделирование термогидродинамических процессов в горизонтальной скважине / Т.Р. Хабилов // Сборник докладов ВНКСФ-19. – Архангельск. – 2013. – С. 425-426.
12. Хабилов, Т.Р. Моделирование температурного поля в скважине при дисперсном течении / Т.Р. Хабилов, А.А. Садретдинов // Тезисы докладов Российской конференции «Многофазные системы: природа, человек, общество, технологии». – Уфа. – 2010. – С.162-163.
13. Хабилов, Т.Р. Численная модель неизотермического дисперсного течения в вертикальной скважине / Р.Ф. Шарафутдинов, А.А. Садретдинов, Т.Р. Хабилов // Теплофизика и теплоэнергетика: сб. науч. статей. – Магнитогорск. – 2010. – С.147-151.
14. Хабилов, Т.Р. Теоретическое исследование режимов течения в стволе горизонтальной скважины / Т.Р. Хабилов, Р.Ф. Шарафутдинов // Промысловая геофизика в XXI веке: сборник докладов научно-практической конференции. – Уфа. – 2009. – С.132-134.