

*На правах рукописи*



**Каган Кирилл Григорьевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОПЕРАТИВНЫХ МЕТОДОВ  
ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ  
И РАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

(на примере шельфовых месторождений Каспийского моря)

25.00.18 – Технология освоения морских месторождений  
полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Волгоград – 2019

Работа выполнена в Филиале Общества с ограниченной ответственностью  
«ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть» в г. Волгограде

Научный руководитель: доктор технических наук Люгай Дмитрий  
Владимирович

Официальные оппоненты: Федоров Вячеслав Николаевич, доктор технических  
наук, профессор, Эксперт Научно-технологического  
центра ООО «Башнефть-Петротест» ПАО «НК  
«Роснефть».

Вольпин Сергей Григорьевич, кандидат технических  
наук, начальник отдела гидродинамических  
исследований и моделирования Федерального  
научного центра Научно-исследовательский институт  
системных исследований РАН (НИИСИ РАН).

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Институт проблем нефти и газа Российской  
академии наук (ИПНГ РАН).

Защита диссертации состоится «22» мая 2019 г. в 13 часов 30 минут на  
заседании диссертационного совета Д 511.001.01, созданного на базе ООО  
«Газпром ВНИИГАЗ», по адресу: 142717, Московская область, Ленинский район,  
сельское поселение Развилковское, пос. Развилка, Проектируемый проезд № 5537,  
владение 15, строение 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и  
на сайте [http:// www.vniigaz.gazprom.ru](http://www.vniigaz.gazprom.ru)

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
д.г.-м.н.



Соловьев Николай Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

При поиске и разведке морских нефтяных и газовых месторождений решается актуальная во все времена задача – определение наличия коллектора по разрезу скважины с оценками характера его насыщения и промышленной значимости.

Современные методы интерпретации результатов испытания в открытом стволе скважин включают в себя комплекс взаимосвязанных технологий, различающихся теоретической основой и техникой исполнения, которые направлены на обеспечение достоверности запасов нефти и газа, расширение геологической информативности. Достоверность информации, в основном, зависит от объема проведенных исследований и количества поисково-оценочных скважин.

Известно, что для морских месторождений характерно малое число разведочных скважин из-за их дороговизны и отсутствие этапа опытно-промышленной эксплуатации, позволяющих уточнить как геолого-промысловые характеристики залежей, так и достоверность величин запасов, влияющих на выбор проектных решений по разработке месторождения. Поэтому важным является планирование комплекса исследований на скважинах и наличие эффективных методов обработки полученных результатов для их последующего использования (в качестве исходных данных) при формировании проектных решений по эффективной разработке месторождений.

В настоящее время при исследовании поисково-оценочных и разведочных скважин Каспийского шельфа для оценки продуктивных коллекторов используются результаты анализа кернового материала, геофизических исследований скважин (ГИС), интерпретация каротажных записей (регистрация забойного давления и подвижности) и стандартный набор гидродинамического каротажа и опробования пластов на кабеле (ГДК-ОПК), которые отражают только часть информации об испытанных интервалах исследования.

Проблема повышения информативности промыслово-геофизических исследований скважин может быть решена путем более широкого применения современных приборов на кабеле, позволяющих в режиме реального времени получать информацию в скважине, и развития методологий оперативной обработки получаемой информации. Поэтому научные исследования в данном направлении являются весьма актуальными.

### **Степень разработанности темы**

За последние 15-20 лет методология выявления продуктивных коллекторов при исследовании морских поисково-оценочных и разведочных скважин существенно изменилось.

Если ранее перспективными объектами испытания в разрезе поисковой скважины считали все возможно продуктивные и неясные интервалы, в настоящее время при бурении поисковых и разведочных скважин предусматривается опробование перспективных интервалов в открытом стволе с помощью пластоиспытателя на бурильных трубах, либо на кабеле.

Анализ исследуемых коллекторов проводится на наличие проницаемой мощности, насыщенной углеводородами, а также оперативно определяется потенциал продуктивного пласта по обеспечению промышленного притока углеводородов. При отсутствии положительного результата по любому из этих определений интервал считается непродуктивным, испытание по нему прекращают. В случае отрицательных результатов по всем перспективным интервалам разреза скважину ликвидируют как выполнившую своё назначение. В случае положительных результатов продолжают работы по доразведке объектов.

Однако, длительность проведения исследования для получения основных гидродинамических параметров является проблемой при испытаниях морских поисково-оценочных и разведочных скважин, обуславливающая необходимость в совершенствовании подходов ГДИС для оперативной оценки коллекторов в открытом стволе морской скважины.

### **Цель работы**

Повышение информативности и создание алгоритма интерпретации экспресс-методов исследования морских поисково-оценочных и разведочных скважин.

### **Основные задачи исследований**

1. Обоснование методов определения продуктивных и фильтрационных параметров пластов по результатам гидродинамического каротажа (ГДК).
2. Совершенствование методики экспресс-оценки промышленной значимости объектов разреза поисково-оценочных скважин.
3. Анализ результатов выполненных оценок продуктивности и дебита в нормальных условиях, выполненных различными методами (ГДК и Drill Stem Test (DST)) и обоснование достоверности полученных данных.
4. Дальнейшее методическое развитие экспресс-оценок промышленной значимости объектов, обеспечивающих получение информации о фильтрационно-емкостных свойствах пласта, о состоянии призабойной зоны и выявлении границ пласта и граничных условий.

### **Научная новизна выполняемой работы**

1. Разработана технология проведения гидродинамического каротажа в поисково-оценочных и разведочных скважинах за счет регистрации продолжительной КВД после отработки пласта на разных частотах работы насоса (метод специального ГДК).

2. Предложен алгоритм комплексной интерпретации результатов исследования методом ГДК-ОПК, включающий в себя анализ претестов, расчет коэффициента продуктивности в каждой точке замера и обработка дополнительной кривой восстановления давления после очистки скважины от фильтрата бурового раствора и механических примесей.

3. Усовершенствована методика оперативной интерпретации результатов мониторинга ГДК-исследований, позволяющая в режиме реального времени оценивать необходимость дальнейшего экспресс-исследования, перспективность испытания и освоения объекта в колонне.

### **Практическая ценность**

1. Предложенные методики экспресс-оценки промышленной значимости объектов используются компаниями ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», ООО «Нефтяная компания «Приазовнефть»», ООО «Каспийская нефтяная компания» при проведении и интерпретации результатов исследований в открытом стволе скважин.

2. Результаты, полученные в диссертационной работе, отражены в «Методике диагностики продуктивных пластов нижнего мела Ракушечного вала по данным ГИС, ГДИС, ГДК, керна и РVT-анализа пластовых флюидов для оценки запасов промышленной категории», утвержденные протоколом экспертного технического совета Федерального Бюджетного Учреждения «Государственная Комиссия по Запасам полезных ископаемых» (ЭТС ФБУ «ГКЗ») и ОЭРИ от 19 апреля 2012 г.).

3. Обобщения и выводы, полученные в диссертационной работе, неоднократно доложены в ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» и рекомендованы в качестве основы для формирования «Методических рекомендаций по проведению и интерпретации гидродинамических исследований скважин в открытом стволе для условий Каспийского шельфа».

4. Результаты исследований автора позволили ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» сформировать программы специальных промыслово-геофизических и гидродинамических исследований более 35 скважин в акватории Каспийского моря и на сухопутных скважинах Волгоградского региона, а методические рекомендации автора по системе исследований поисково-оценочных скважин использованы в проектных документах.

5. Предложенные автором методические подходы к оценке промышленной значимости и выявления перспективных объектов освоения на этапе геолого-разведочных работ значительно дешевле проведения исследований в уже обсаженных скважинах за счет исключения возможного спуска эксплуатационных колонн и внутрискважинного оборудования.

#### **Методы исследования**

Решение поставленных задач, осуществляется путем обобщения и анализа отечественных и зарубежных исследований; математического моделирования геофизических и гидродинамических процессов в скважинах с использованием известных и усовершенствованных методик и алгоритмов.

#### **Основные защищаемые положения**

1. Усовершенствование технологии испытания морских поисково-оценочных и разведочных скважин в открытом стволе с помощью испытателя пластов на кабеле для повышения информативности оперативных методов исследования.

2. Разработка методических подходов к оценке продуктивных и фильтрационных параметров пласта-коллектора по данным исследований оперативного метода ГДК-ОПК.

3. Методические рекомендации по определению в режиме реального времени промышленной значимости объектов шельфовых месторождений на основе результатов гидродинамического каротажа.

#### **Степень достоверности результатов работы**

Достоверность результатов работы определяется научно обоснованными выводами, полученными на основе анализа научных публикаций гидродинамических исследований скважин в открытом стволе и подтверждается практикой применения предложенных способов исследования поисково-оценочных и разведочных скважин, адекватностью результатов с данными, полученными другими методами.

#### **Апробация работы**

Основные положения и результаты работы докладывались автором на международных, всероссийских, отраслевых конкурсах и конференциях:

- Конкурс на лучшую молодежную научно-техническую разработку по проблемам топливно-энергетического комплекса (г. Москва 2012, 2013 гг.; г. Пермь 2015 г.; г. Тюмень 2016 г.; г. Волгоград 2017 г.);

- Семинар ФБУ ГКЗ (г. Москва 2013 г);

- III, IV и V Конференции молодых ученых и специалистов ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» (г. Москва 2013, 2014 гг.; г. Пермь 2015 г.; г. Тюмень 2016 г.; г. Волгоград 2017 г);

- Международная конференция «ГЕОПЕТРОЛЬ 2014» (Польша, г. Краков 2014 г.);
  - Международная конференция «ГЕОПЕТРОЛЬ 2016» (Польша, г. Краков 2016 г.);
  - Научно-практическая конференция, посвященная 55-летию филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть», (г. Волгоград 2014 г.);
  - II Научно-практическая конференция «Горизонтальные скважины 2017. Проблемы и перспективы» (г. Казань 2017 г);
- а также на совещаниях в ОАО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» и ООО «РИТЭК».

### **Публикации и личный вклад автора**

По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе три статьи в рецензируемых научных журналах, входящих в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России, из них одна публикация входит в международную базу данных Scopus.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Общий объем текста 121 страница, 21 таблица, 46 рисунков. Список использованной литературы включает 92 наименования.

Автор выражает искреннюю признательность и благодарность научному руководителю доктору технических наук Д.В. Люгаю, профессору, доктору технических наук М.Н. Мансурову, кандидату технических наук, ст. научн. сотр. В.С. Левченко, кандидату геолого-минералогических наук Н.В. Валиуллиной и кандидату технических наук А.Ю. Самойленко за консультации, ценные практические рекомендации и замечания, полученные в процессе решений поставленных задач, а также коллективам структурных подразделений по исследованиям скважин и пластовых флюидов филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть» в г. Волгограде за благожелательное отношение и помощь в процессе исследований и в оформлении диссертационной работы.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показана актуальность работы, сформулирована тема диссертации, определены цели исследования, основные задачи, научная и практическая новизна полученных результатов.

**В первой главе** приводится анализ теоретических основ гидродинамических исследований поисково-оценочных скважин методом КВД, рассматриваются особенности неустановившейся фильтрации флюида в однородных терригенных коллекторах и методы определения их фильтрационно-емкостных характеристик при кратковременном дренировании пласта-коллектора.

Целью ГДИС, проводимых при испытании, освоении и эксплуатации продуктивных пластов, является получение данных об их продуктивности и приемистости, фильтрационных параметрах и скин-факторе, выявлении и трассировке границ пласта и особенностях зон дренирования, анизотропии пласта по проницаемости и др. Эта информация необходима для создания детерминированной динамической модели пластовой фильтрационной системы, на базе которой осуществляется проектирование, освоение, разработка и эксплуатация залежей углеводородов.

Все гидродинамические методы исследований, применяемые для определения фильтрационных параметров пласта и скважины, разделяются на две основные группы: методы, основанные на изучении установившихся и нестационарных режимов фильтрации флюида.

Первая группа основана на замерах забойных давлений и дебитов при установившихся процессах фильтрации в продуктивных пластах и имеет название метода установившихся отборов (пробных откачек). Сущность этого метода заключается в установлении зависимости между установившимся дебитом скважины и величиной её забойного давления (метод индикаторных диаграмм). На базе этой зависимости определяются такие важные характеристики, как фактический коэффициент продуктивности скважины, коэффициент гидропроводности пласта, пластовое давление.

Ко второй группе гидродинамических методов исследований, относятся метод восстановления (падения) давления и метод гидропрослушивания.

Метод восстановления давления основан на прослеживании за изменением забойного давления и дебита в скважине, некоторое время работавшей, а затем внезапно остановленной. Результатом исследований этим методом являются кривая изменения дебита скважины, как во время её работы, так и после остановки и кривая восстановления (падения) забойного давления после остановки (КВД-КПД). На основе анализа полученных кривых определяются не только средние значения фильтрационных характеристик в дренируемой области пласта, но и их изменение на некотором расстоянии от скважины и само расстояние до места резкого изменения фильтрационных характеристик пласта. Это позволяет уточнять разного рода неоднородности пласта-коллектора, выявить наличие непроницаемых и проницаемых границ пласта, мест перетоков между пластами и экранов, состояние призабойной зоны, текущее пластовое давление и т.д.

Метод гидропрослушивания близок к методу восстановления давления. Отличие заключается в том, что при изменении режима эксплуатации скважины (пуск или остановка) изменение давления регистрируется на забое другой сква-

жины. Регистрируемая кривая изменения забойного давления в реагирующей скважине называется кривой гидропрослушивания или реагирования.

Надежность определения фильтрационно-емкостных характеристик коллекторов по результатам гидродинамических исследований скважин зависит от правильного выбора гидродинамической модели и методики интерпретации результатов.

Гидродинамические исследования скважин отражены в работах П.Я. Полубариновой-Кочиной, В.Н. Щелкачева, М. Маскета, И.А. Чарного, Г.И. Баренблатта, Ю.П. Борисова, Э.Б. Чекалюка, С.Н. Бузинова и И.Д. Умрихина, Б.С. Чернова, М.Н. Базлова, А.И. Жукова, С.Г. Каменецкого, Л.Г. Кульпина и Ю.А. Мясникова, Р.Г. Шагиева, Р.С. Хисамова с соавторами, В.Д. Лысенко, Миллера, Дайеса и Хетчинсона, Хорнера, Херста, Ван-Эвердингена, Хисамова Р.С., Михайлова В.С. и многих других исследователей. На основе их научных трудов созданы теоретические основы гидродинамических методов исследования нефтяных и газовых скважин. Благодаря этому они в настоящее время с большим успехом используются в практике нефтяной промышленности.

Для получения достоверных фильтрационно-емкостных характеристик предложенными выше методами требуется продолжительное время исследований, что в современной практике считается проблемным фактором, ввиду экономической составляющей испытаний, особенно при исследовании морских поисково-оценочных и разведочных скважин. В связи с этим настоящая работа основана на результатах установившихся и нестационарных режимах гидродинамических исследований скважин методом построения индикаторной диаграммы (ИД) с небольшим временем периодов притока и регистрацией кривой восстановления давления. В данном разделе подробно изложены традиционные подходы и приемы определения параметров пласта по ИД и КВД и переход к новым подходам интерпретации данных ГДК-ОПК в режиме реального времени.

**Во второй главе** подробно описывается методика экспресс-оценки характера насыщения и промышленной значимости объектов разреза поисково-оценочных и разведочных скважин.

Для решения поставленной задачи автором проанализированы существующие методы интерпретации данных в открытом стволе и предложена методика экспресс-оценки характера насыщения и промышленной значимости объектов с использованием результатов гидродинамического каротажа (ГДК) и опробования пластов на кабеле (ОПК) скважин с помощью модульного динамического испытателя пластов Modular formation Dynamics Tester (MDT). Данная методика зарекомендовала себя как в терригенных, так и в карбонатных отложениях шельфа Северного Каспия и опробована на поисково-оценочных скважинах 2, 4, 5, 6, 7, 9, 9-

bis, 11 Ракушечные, 1 Морская, Тюб-Караган, ВП-2, G-1 месторождения им. Ю. Корчагина, 1,2 Западно-Сарматские и др.

При выполнении исследований методом ГДК-ОПК первоначально оценивается наличие коллектора. При обнаружении коллектора производится декомпрессия в приборе MDT, что сопровождается замером пластового давления и регистрацией КПД-КВД.

Одним из основных условий отнесения запасов УВ к категории В<sub>1</sub> является изучение по результатам испытания и исследования скважин коэффициентов продуктивности, гидропроводности, пьезопроводности продуктивных пластов, начальных пластовых давлений и температур, потенциальных дебитов нефти, газа и конденсата.

Количественная оценка перечисленных параметров производится по результатам испытателей пластов на трубах (ИПТ, DST) в открытом стволе или по данным промысловых исследований перфорированных продуктивных пластов в обсаженных скважинах.

Однако в настоящее время решать аналогичные задачи можно по результатам комплексных исследований объектов испытателями пластов на кабеле в компоновках:

- с прижимным зондом – точечные замеры пластового давления, подвижности и температуры (рисунок 1);
- с двойным пакером – интервальные исследования, мини-DST (рисунок 1).



Рисунок 1 – Внешний вид прибора MDT: с прижимным зондом в варианте «прижимной зонд» (слева) и двухпакерная компоновка (справа)

Таким образом, обоснование промысловых характеристик пласта для отнесения запасов УВ к категории В<sub>1</sub> на новых площадях требует решения следующей

задачи – обеспечение необходимых и достаточных объемов исследований различными компоновками испытателей пластов на кабеле с целью получения достоверных величин гидродинамических параметров.

Замеры пластового давления прибором MDT осуществляют как с применением прижимного зонда, так и при помощи двухпакерной компоновки. Для измерения давления используются одновременно кварцевый и пьезометрический манометры, что позволяет обеспечить контроль качества и повысить надежность прибора.

Высокая точность датчиков давления и небольшая продолжительность замера на одной точке позволяет проводить значительное количество замеров давления в ходе одной спуско-подъемной операции и, таким образом, производить профилирование пластового давления по разрезу.

Построение зависимостей рассчитанного пластового давления в каждой точке замера от глубины позволяет по методу наименьших квадратов подтвердить глубины контактов пластовых флюидов (ГНК, ВНК, ГВК), характер насыщения коллектора по плотности флюидов в пластовых условиях с уточнением градиентов пластового давления (рисунок 2).

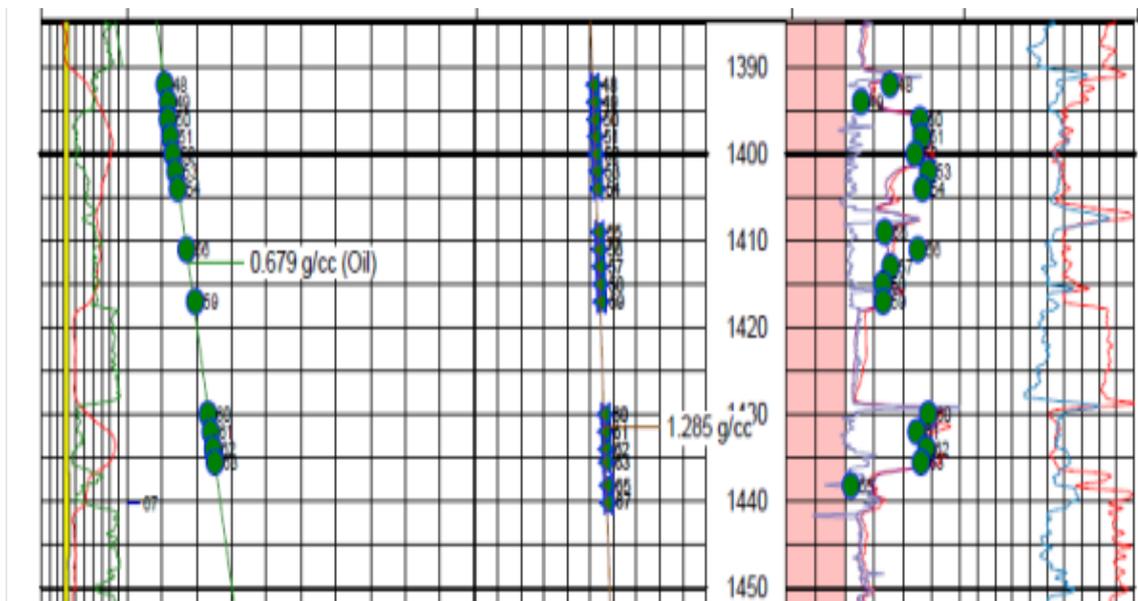


Рисунок 2 – Профиль и градиент давления по результатам ГДК в скважине 4 Ракушечная

Для оценки вертикальной и горизонтальной проницаемости используются различные аналитические и численные модели бесконечного гомогенного поперечно-изотропного пласта.

При достаточно продолжительной депрессии кривая изменения давления, регистрируемая вертикальным зондом, обратно пропорциональна горизонтальной проницаемости ( $1/k_h$ ), а интерференция давления, регистрируемая горизонтальным зондом, обратно пропорциональна квадратному корню произведения вертикальной и горизонтальной проницаемостей ( $1/\sqrt{k_\lambda k_v}$ ). Таким образом, измеряя интерференцию давления в двух наблюдательных зондах, можно оценить вертикальную и горизонтальную проницаемости.

Необходимо отметить, что для приводимой здесь методики расчета, следует обладать точной информацией о дебите отбора жидкости, откачиваемой депрессионным зондом. Наилучшим способом достижения постоянства дебита отбираемой жидкости является использование дополнительного модуля контроля потока. Также для создания депрессии можно использовать глубинный насос и оценить дебит отбора по техническим характеристикам насоса.

Использование технологий ГДК-ОПК предусматривает несколько способов оценки фильтрационных свойств коллектора.

1 В случае, когда в конце периода отбора кривая падения давления (КПД) выходит на асимптоту, применяется аналитическая формула точечного стока.

2 Используется аппроксимация прямолинейного участка кривой восстановления давления (КВД) на графике зависимости давления от «радиальной» или «сферической» временной функции (характерные участки).

3 Применяется совмещение диагностического графика КВД с типовой кривой соответствующей аналитической модели. При этом должно выполняться условие совпадения истории давления в ходе всего исследования (КПД и КВД) с расчетной, полученной в рамках модели.

Второй и третий подходы представляют собой стандартные способы обработки и интерпретации промысловых гидродинамических исследований методами КПД-КВД.

Благодаря возможности компоновки MDT по откачки флюида в пробоотборные камеры или просто в скважину при помощи глубинного насоса, а также с использованием модуля двойного пакера, возможно провести так называемые интервальные исследования на неустановившихся режимах притока (мини-DST) (аналог исследования испытателем пластов на трубах). Такая компоновка позволяет в определенной мере заменить стандартный пластоиспытатель на трубах (ИПТ, DST) и, как следствие, значительно снизить продолжительность испытаний. Особую ценность это представляет для дорогостоящего морского бурения, т.е. актуально для шельфа Северного Каспия.

Необходимо отметить, что решение таких задач как оценка контура питания и границ пласта, стоящих при исследованиях стандартными гидродинамическими

методами, как правило, не являются основными задачами, стоящими перед исследованиями, проводимыми с помощью ГДК и ОПК, так как определение этих характеристик требует дополнительных затрат времени. Однако, можно производить отбор проб пластовых флюидов для РVT-анализа, а также, в большинстве случаев, возможно, оценить горизонтальную и вертикальную проницаемости.

Исследование с использованием модуля двойного пакера позволяет в некоторых случаях оценить свойства пласта в радиусе до нескольких десятков метров с регистрацией КВД, продолжительностью от десятков минут до нескольких часов.

Разработанный алгоритм проведения и интерпретации исследований методом специального ГДК, предложенный автором и коллективом отдела гидродинамических и индикаторных исследований скважин филиала «ВолгоградНИПИ-морнефть» позволяет оценить фильтрационные и коллекторские параметры пласта-резервуара, состояния призабойной зоны и уточнить величину начального пластового давления по результатам замеров не только двухпакерной компоновкой, но и прижимным зондом.

Особенность специального исследования ГДК заключается в увеличении времени дренирования пласта (за счет очистки скважины на разных режимах работы насоса и отбора пробы флюида) и регистрации дополнительной продолжительной КВД (~ 0,8 – 2,0 ч) в конце исследования. Общее время исследования при этом не превышает 7-8 часов на запланированной точке. Апробация разработанного подхода проведения и интерпретации специальных ГДК на более чем 10 морских поисково-оценочных и разведочных скважинах показала незначительную погрешность (не более 19,7 %) в определении основных гидродинамических параметров. Это дает возможность утверждать, что данный алгоритм исследования позволяет в режиме реального времени оценить свойства пласта в радиусе до нескольких десятков метров в открытом стволе скважины без спуска колонны.

**В третьей главе** рассматриваются основные гидродинамические параметры (пластовое давление, коэффициент продуктивности и дебит) с оценками выявленных погрешностей при применении предложенного (стандартное ГДК) и разработанного (специальное ГДК) методов экспресс-исследований.

Для оценки продуктивных возможностей пласта-коллектора выбран метод идентификации. Суть метода идентификации сводится к построению модели пласта и определению её параметров по данным «воздействий» на входе и выходе. Для пласта, который рассматривается как объект идентификации, «воздействие на входе» – дебит конкретной скважины  $Q(t)$  или приток жидкости к скважине, а на выходе  $P(t)$  – изменение забойного давления.

Восстановление давления на забое скважины рассматривается как некий динамический процесс, описываемый в простейшем случае следующим дифференциальным уравнением:

$$T \cdot \frac{d\Delta P(t)}{dt} + \Delta P(t) = C \cdot Q(t), \quad (1)$$

где  $C^{-1} = \eta$  – коэффициент продуктивности, м<sup>3</sup>/сут·МПа;

$T$  – время переходного процесса, ч.

Из уравнения (1) получается интегральная формула для обработки КВД.

$$\frac{\Delta V(t)}{\Delta P(t)} = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta I(t)}{\Delta P(t)} + \frac{T}{C}, \quad (2)$$

где  $\Delta V(t) = \int_0^t [Q_0 - Q(\tau)] \cdot d\tau$ ;

$\Delta I(t) = \int_0^t [P(\tau) - P_0] \cdot d\tau$ ;

$Q_0, P_0$  – соответственно начальный дебит и установившееся забойное давление.

При достаточно продолжительных КВД и постоянном начальном дебите в процессе притока уравнение (2) можно упростить

$$T + \frac{\Delta I(t)}{\Delta P(t)} = C \cdot \frac{Q_0 \cdot t}{\Delta P(t)}. \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой уравнение прямой в координатах  $\left[ \frac{Q_0 \cdot t}{\Delta P(t)}, \frac{\Delta I(t)}{\Delta P(t)} \right]$ . Таким образом, перестраивая фактические данные замеров давления в указанных координатах, можно определить коэффициент продуктивности.

Следует отметить, что рассчитываемый методом идентификации коэффициент продуктивности отражает состояние удаленной зоны пласта («естественное» состояние).

На основании оценки продуктивности отдельных интервалов разреза скважины появляется возможность прогнозировать эксплуатационную характеристику всей исследуемой залежи.

Анализ влияющих факторов на продуктивность показывает, что рассчитываемая продуктивность по результатам обработки замеров ГДК методом идентификации, определяется, в основном, подвижностью флюида, насыщающего изучаемый интервал в момент его испытания (рисунок 3).

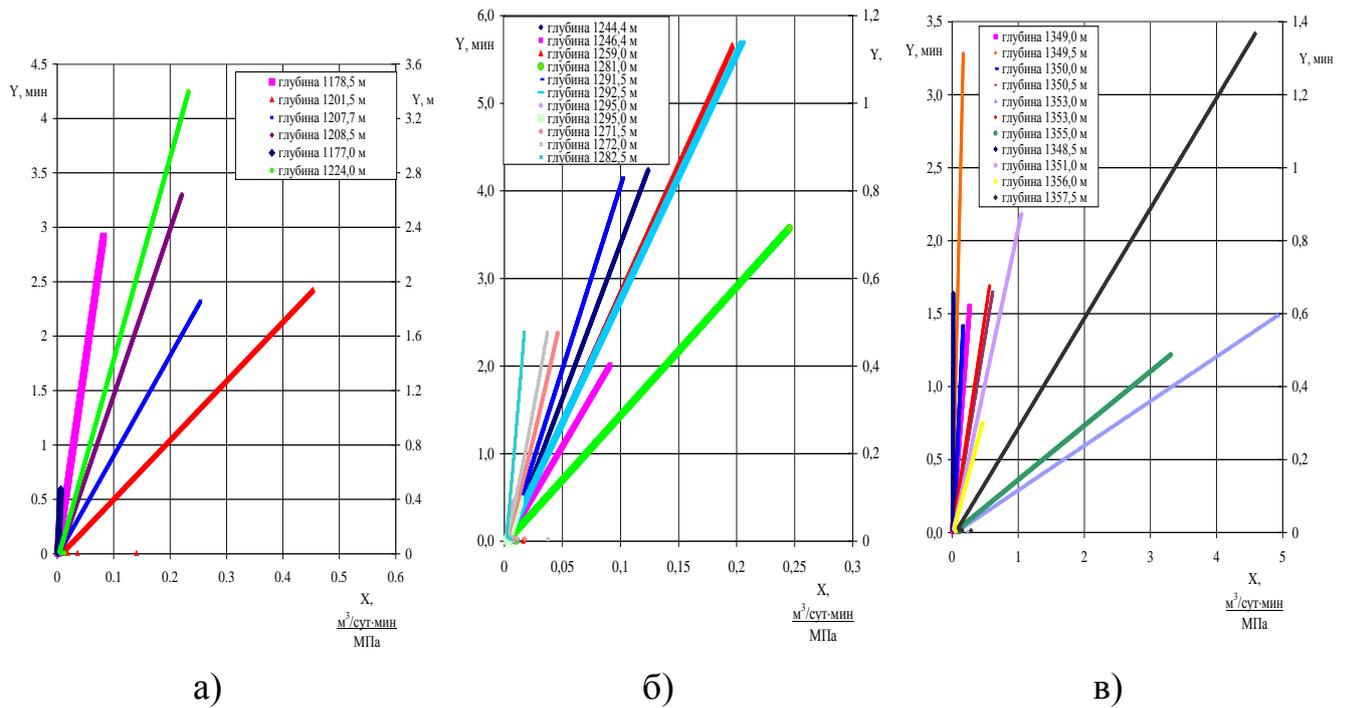


Рисунок 3 – Определение коэффициентов продуктивности методом идентификации по ГДК интервалов альбского (а), аптского (б) ярусов и неокомского (в) надъяруса в скважине 2 Ракушечная

Таблица 1 – Сопоставление гидродинамических параметров по результатам испытаний отложений в открытом стволе и в колонне

Номер скважины	Интервал испытания объекта, м	Объект	Характер насыщения объекта		Пластовое давление, МПа		Погрешность, %	Депрессия, МПа		Дебит, н.м <sup>3</sup> /сут		Погрешность, %
			ГДК	ГДИС	ГДК	ГДИС		ГДК	ГДИС	Прогнозный (по ГДК)	Фактический (по ГДИС)	
2 Сармат	3206,0 – 3223,2	Титон-III	газонасыщенный	газоконденсатный	34,42	34,46	0,1	10,2	10,6	176000	184800	4,8
	3127,3 – 3146,8	Титон - I	газонасыщенный	газоконденсатный	33,48	33,57	0,3	1,7	1,4	1111200	1084200	2,5
2 Зап-Сармат	3235,0 – 3254,0	Титон-III	газонасыщенный	нефтегазонасыщенный	34,69	34,52	0,5	17,4	19,7	173100	174800	1,0
3 Сармат	3221,0 - 3242,5; 3261,5 - 3271,0	Титон-III	газоконденсатонасыщенный	газоконденсатный с пластовой водой	35,18	34,03	3,4	13,67	13,67	40128,3	33524	19,7
	3160,0 - 3166,0	Титон - I	газоконденсатонасыщенный	газоконденсатный с пластовой водой	33,48	33,47	0,0	5,01	5,15	196460	199283	1,4
4 Сармат	3252,5 - 3269,0	Титон-III	газонасыщенный коллектор с признаками пластовой воды	газоконденсатный с пластовой водой и признаками нефти	34,58	34,36	0,6	10	10,15	26700	30428	12,3
1 Южная	2588,5 - 2610,5	Титон-II	водонасыщенный	водонасыщенный	27,18	27,35	0,6	0,11	0,112	2,35	2,3	2,2

Сопоставление коэффициентов продуктивности по ГДК-замерам и комплексным гидродинамическим исследованиям на стационарных и неустановившихся режимах (ГДИС) подтверждают правомерность предлагаемого подхода (таблица 1).

Как видно из анализа данных таблицы 1, максимальная погрешность в оценке эксплуатационной характеристики нефтенасыщенных объектов неоконченного надъяруса не превышает 19,7 %.

В **четвертой главе** приведены примеры практических расчетов гидродинамических исследований, выполненных разработанными методами, содержащие оценку геологических структур по разрезу и промышленной значимости.

В ходе работы над диссертацией автором проводилась систематическая промысловая работа, заключающаяся в отработке и апробации предложенных, разработанных технологий проведения гидродинамического каротажа в поисково-оценочных и разведочных скважинах. Для интерпретации использовались методы, основанные на существующей математической базе интерпретации КВД и вновь представленному алгоритму оперативной интерпретации результатов мониторинга проведения ГДК-исследований с целью экспресс-оценки характера насыщения и промышленной значимости объекта.

Для подтверждения состоятельности предлагаемого подхода интерпретации, помимо анализа интерпретаций поисково-оценочных и разведочных скважин новыми методами и алгоритмами (стандартное и специальное ГДК), автором приведены результаты исследований горизонтальной эксплуатационной скважины континентального шельфа в процессе бурения. Погрешность выполненных определений, в сравнение с испытаниями в колонне, не превышает 7%.

В текущей главе показаны сопоставления основных результатов исследования в открытом стволе с результатами испытаний в колонне (погрешность не превышает 19,7 %).

Апробация предложенных алгоритмов и методов интерпретации результатов ГДК-исследований проводилась на скважинах нефтедобывающих компаний: ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть» (2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9-bis, 11 Ракушечные; ВП-1 и 108 им. Ю. Корчагина, 1 Морская, 1 Хазри и 3, 4 Сарматская, 1, 2 Западно-Сарматская, 1 Южная), ООО «Нефтяная компания «Приазовнефть»» (1 Геологическая), ООО «Каспийская нефтяная компания» (1 Рыбачья).

**В заключении** изложены полученные результаты:

В диссертационной работе разработаны и апробированы новые подходы к технологии испытания скважин методами ГДК-ОПК, обработке и интерпретации получаемых данных. Предложен рациональный комплекс методов, позволяющих в процессе бурения скважины и сразу после его завершения решать с высокой геолого-гидродинамической эффективностью задачи по выявлению продуктивных коллекторов, достоверному определению характера их насыщения и промышленной значимости.

Исследованиями автора показано, что погрешность предлагаемых методических подходов изучения геолого-физических параметров пластов в процессе проводки скважин 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 9-bis, 11 Ракушечные шельфа Каспийского моря не превышает 16 % по сравнению с традиционными исследованиями в эксплуатационной колонне.

В диссертационной работе подтверждена достоверность профилирования данных ГДК-замеров пластового давления по разрезу продуктивной толщи для определения границ фазовых переходов отбором и анализом представительных глубинных ОПК-проб пластового флюида.

Проведенный автором анализ возможностей современных приборов MDT показывает, что использование двухпакерной компоновки позволяет проводить отбор глубинных проб пластового продукта при незначительных депрессиях на пласт, что существенно повышает их качество. Контроль процесса отбора по оптическим датчикам в режиме реального времени снижает риски получения не-представительных проб.

Предложенный в диссертационной работе метод проведения специального ГДК расширяет информативность гидродинамических исследований за счет увеличения области дренирования пласта-резервуара.

Результаты выполненных автором исследований позволяют повысить значимость методов ГДК-ОПК для решения задач поиска и разведки перспективных объектов шельфовых месторождений Каспийского моря.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

*Научно-технические журналы, входящие в «Перечень...» ВАК*

1. Левченко В.С., Валиуллина Н.В., Каган К.Г. Сопровождение разработки сложнопостроенных пластов Южно-Хыльчюуского месторождения методом парного гидропрослушивания // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №3. – С. 36-38.
2. Каган К.Г., Левченко В.С., Валиуллина Н.В. Оценка характера насыщения, промышленной значимости и фильтрационных параметров геологических объектов по данным ГДК исследований на примере разреза разведочной скважины 9Р // Neftegaz.RU. – 2016. - №5-6. – С.80-84.
3. Каган К.Г., Самойленко А.Ю., Польская Н.Н., Чухнин Д.А. Научно-методическое сопровождение исследования терригенного объекта скважины 2 Д методом ГДК-ОПК // Вестник буровых подрядчиков. – 2016. – №2. – С. 32-36.

*Конференции и другие периодические издания*

4. Каган К.Г., Левченко В.С. Экспресс-оценка характера насыщения и промышленной значимости геологических объектов разреза поисково-оценочных скважин по данным ГДК замеров // Материалы науч. конф. «НТР-2013». Москва, 2013. – С. 13-16.

5. Левченко В.С., Каган К.Г. Экспресс-оценка характера насыщения и промышленной значимости геологических объектов разреза поисково-оценочных скважин по данным ГДК замеров // Материалы науч.-техн. конф. «Geopetrol-2014». Закопане – Краков, 2014. – С. 147-154.

6. Левченко В.С., Валиуллина Н.В., Воронцова И.В., Михальков А.П., Протасова С.А., Федорчук М.Ю., Каган К.Г., Сеньков А.А. Оценка энергетического состояния залежи неокомских отложений по результатам гидродинамических исследований эксплуатационных скважин в процессе разработки месторождения им. Ю. Корчагина // Принципы и методы изучения нефтегазовых месторождений: Сб. ст. филиала ОАО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ВолгоградНИПИморнефть». – Волгоград, 2015. – Вып.73. – С. 68-73.

7. Каган К.Г. Сопровождение разработки сложнопостроенных пластов Южно-Хыльчюуского месторождения методом парного гидропрослушивания // Мониторинг разработки нефтяных и газовых месторождений: разведка и добыча // Тр. международной 14-й научно-технической конференции 13-15 мая 2015. – Томск, 2015. – С. 10-16.

8. Каган К.Г., Левченко В.С., Валиуллина Н.В. Диагностика продуктивных пластов по данным MDT-исследований для оценки промышленной значимости объектов // Материалы науч.-техн. конф. «Geopetrol-2016». Закопане – Краков, 2016. – С. 361-369.

9. Каган К.Г. Диагностика продуктивных пластов в эксплуатационной горизонтальной скважине по данным гидродинамического каротажа процессе бурения // Материалы научн.-техн. конф. «НТР-2017». Волгоград, 2017. – С. 120-123.

10. Каган К.Г. Диагностика продуктивных пластов в эксплуатационной горизонтальной скважине по данным гидродинамического каротажа процессе бурения // Материалы научн.-техн. конф. «Horizontal Wells 2017». Казань, 2017. – С. 115-120.

Подписано к печати « » апреля 2019 г.

Заказ №

Тираж 100 экз.

1 уч. – изд.л, ф-т 60x84/16

Отпечатано в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

По адресу: 142717, Московская область,

Ленинский район,

сельское поселение Развилковское, пос. Развилка,

Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1,

ООО «Газпром ВНИИГАЗ».