ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
Крыганова Павла Викторовича

на диссертационную работу Абрамова Тимура Алексеевича «Совершенствование методик гидродинамического исследования скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Актуальность темы исследования

Как известно, существенная доля из охваченных на сегодняшний день разработкой месторождений нефти и газа характеризуется запасами сниженного качества, что делает их трудноизлекаемыми. К ключевым факторам, вызывающим это снижение, можно отнести низкую проницаемость коллекторов, наличие контактных запасов при небольших нефтегазонасыщенных толщинах, высокую вязкость нефти, усложнение пустотного пространства наличием естественной трещиноватости при низкой проницаемости матрицы и др. На современном этапе активное вовлечение в разработку залежей с такими запасами стало возможно благодаря широкому промышленному внедрению технологий горизонтального бурения и гидроразрыва пласта (ГРП). Помимо относительно «простых» скважин с горизонтальной траекторией ствола и вертикальных скважин с ГРП, на сегодня также повсеместно используются горизонтальные скважины с многостадийным гидроразрывом пласта (ГС с МГРП), а также многозабойные горизонтальные скважины (МЗГС). Таким образом, в процессе разработки залежей с трудноизвлекаемыми запасами (ТрИЗ) происходит формирование сложных систем «пласт-скважина», что обусловлено как геолого-физическими особенностями продуктивных пластов, так и конструкцией вскрывающих их скважин.

Формирование сложных систем «пласт-скважина» в залежах с ТрИЗ оказывает прямое влияние на результативность проводимых в них гидродинамических исследований (ГДИ) – одного из ключевых методов изучения и мониторинга свойств пласта и параметров скважины. В первую очередь отмечается снижение достоверности результатов интерпретации, вызванное недостижением (поздне-)радиального режима фильтрации. Также возможно получение кривых давления, выходящих за рамки «стандартного» поведения, описанного в базовых монографиях и учебниках, но при этом несущих важную информацию об особенностях фильтрации в пласте в процессе эксплуатации скважины.

В этой ситуации становится важным поиск различных методов, позволяющих повысить достоверность ГДИ как в условиях недостижения радиального режима, так и при получении нестандартных кривых изменения давления. Поэтому выбранная соискателем тема диссертационного исследования «Совершенствование методов ГДИ скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами» является актуальной.

Структура работы и публикации

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка использованной литературы из 119 наименований. Работа изложена на 207 страницах машинописного текста, содержит 121 рисунок и 21 таблицу.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, описывается степень ее разработанности. Формулируются цели работы и решаемые задачи, приводятся

ИПНГ РАН
Вх. № 362
от 26. 08 2026

защищаемые положения. Отражены новизна и практическая значимость результатов, методы проведения исследований. Аргументируется достоверность полученных результатов. Приведены сведения об апробации и основных публикациях автора по теме диссертации.

В первой главе представлен литературный обзор по ключевым вехам развития теории гидродинамических методов, который охватывает основные работы отечественных и зарубежных ученых. Показано, что одной из основных причин развития теории являлась проблема идентификации радиального режима при обработке кривых восстановления давления (КВД), а также поиск путей снижения неопределенности результатов интерпретации при его недостижении. Описано состояние и проблематика гидродинамических методов на современном этапе и обозначен ряд ключевых проблем, пути решения которых раскрываются в последующих главах работы.

Вторая глава посвящена возможностям повышения достоверности ГДИ в ГС с МГРП. В условиях низкой проницаемости пласта, и в особенности в случае газовых залежей, достижение позднерадиального режима при проведении КВД в ГС с МГРП является фактически не осуществимым. Одним из возможных путей решения данной проблемы является оценка гидропроводности пласта по данным раннерадиального режима. Однако в то же время для большинства применяемых на сегодняшний день конструкций ГС с МГРП не выполняется критерий его получения, связанный с необходимостью формирования достаточно разреженной системы трещин ГРП относительно малой полудлины. На основании выполненного соискателем анализа поведения синтетических кривых давления, записанных после кратковременной отработки скважины, выявлен и верифицирован не описанный ранее режим, названный в работе «радиально-подобный» (РПР). Его возникновение связано с особенностями суперпозиции давления при кратковременной отработке и последующем закрытии скважины, возникающей на этапе выраженной интерференции между трещинами. Для выявленного режима предложена эмпирическая формула, позволяющая с приемлемой для практики погрешностью оценивать гидропроводность пласта. Разработана схема получения РПР на практике, а также представлена методика, позволяющая повысить точность оценок по предложенной эмпирической формуле за счет анализа характера настройки модельной кривой производной давления на факт на последующем после РПР переходном режиме.

В третьей главе представлено развитие метода модификации кривых давления для скважин сложной конструкции. Метод изначально был предложен д.т.н. А.М. Сваловым для сокращения времени получения диагностических признаков радиального режима на производной КВД для вертикальных скважин в условиях влияния ствола скважины (ВСС) и скин-фактора. Метод базируется на точном решении уравнения пьезопроводности для данных условий. Согласно данному методу, ускорить достижение на производной давления участка радиального режима в переходный период после окончания ВСС возможно путем устранения искажающего влияния второго по старшинству члена асимптотического разложения зависимости забойного давления от времени. Процесс модификации заключается в подборе некоторого постоянного коэффициента, который зависит от неизвестных параметров системы «пласт-скважина» и является множителем перед известной функцией времени, соответствующей второму члену разложения. Соискателем было предложено адаптировать данный метод для скважин сложной конструкции –

вертикальных с ГРП и ГС – для переходного режима, предшествующего выходу на (позднe-)радиальный режим. Применимость метода подтверждена по результатам верификации на синтетических и фактических данных КВД. Разработана процедура обработки данных ГДИ при использовании метода, заключающая в построении семейства модифицированых кривых с разными значениями параметра и выявлением кривой, показывающей наиболее быстрый выход на горизонтальную асимптоту. Результаты выполненного анализа показали, что применение предложенной методики позволяет как существенно повысить достоверность результатов интерпретации, так и во многих случаях более чем на порядок снизить время замера, необходимое для получения признаков (поздне-)радиального режима на КВД.

В четвертой главе приводится разработанная автором комплексная методика проведения и интерпретации данных ГДИ для водоплавающих газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной, включающая детализированный анализ КВД, сопоставление с результатами повторных исследований, междисциплинарный анализ и воспроизведение КВД с помощью численного гидродинамического моделирования. Апробация методики на водоплавающей залежи пласта ПК1 позволила уточнить механизм охвата дренированием залежи по разрезу, выявить проницаемый характер и количественно оценить проницаемость заглинизированных слоев – «перемычек» между двумя основными интервалами коллектора (циклитами). Также предложенная методика позволила выявить и подтвердить на КВД диагностические признаки подъема конуса подошвенной воды в процессе эксплуатации вертикальной скважины.

Пятая глава посвящена изучению особенностей работы трещиноватых коллекторов по результатам анализа повторных ГДИ. Накопленный опыт исследования таких коллекторов показывает достаточно редкое проявление механизма базовой модели порово-трещинной среды. Результаты литературного обзора, представленного в работе, показывают, что поведение КВД в трещиноватых коллекторах является скорее непредсказуемым и «хаотическим». Оно проявляется в виде формирования участков на кривой производной давления с различными наклонами, в т.ч. выходящими за рамки стандартного набора для типовых режимов течения. Такая специфика обусловлена наличием трещин разного масштаба (микро и макро), различной их пространственной ориентацией и проводимостью. При этом ключевой акцент в диссертации сделан на оценке работы трещиноватых коллекторов по результатам проведения на них геолого-технологических мероприятий (ГТМ): циклического геомеханического воздействия (ЦГВ), ГРП и МГРП.

Подход к интерпретации результатов ГДИ заключается в детализации участков на кривой давления, поиску аналогичных примеров поведения кривых в публикациях по трещиноватым коллекторам, а также сопоставительном анализе по разновременным исследованиям и численном моделировании с применением модели дискретных трещин (DFN). По результатам такого анализа по скважине с выполненным ЦГВ удалось установить характер сформированной трещинной среды на различных этапах воздействия и подтвердить его результатами численного моделирования с использованием DFN-моделей. Аналогичным образом удалось установить особенности воздействия на пласт гидроразрывом на скважинах опоковидного пласта нижнеберезовской подсвиты. Результаты анализа КВД показали, что основной эффект от проведения гидроразрыва

проявился не в формировании протяженной вертикальной трещины, а в раскрытии и охвате дренированием дополнительного объема естественных трещин, ранее не участвовавших в фильтрации. Также были выявлены признаки возможного «дыхания» трещинной среды – открытия и закрытия трещин в зависимости от интенсивности режима, предшествующего остановке на КВД. Полученный опыт лег в основу анализа работы ГС с МГРП, для которого, в условиях отсутствия признаков радиального режима, соискателем предложено использовать инвариант линейного течения. По результатам анализа удалось обнаружить сложный механизм работы системы естественных и техногенных трещин на различных этапах работы скважины, заключающийся в возможном непреднамеренном геомеханическом воздействии при отработке скважины на повышенной депрессии с последующим процессом «дыхания» трещин.

Научная новизна

Научная новизна результатов работы заключается в следующем:

1. Соискателем впервые выявлен и описан т.н. «радиально-подобный режим» для ГС с МГРП, формирующийся на КВД в условиях кратковременной отработки скважины перед остановкой. Предложена методика, позволяющая значительно повысить достоверность результатов ГДИ в ГС с плотно расположенными трещинами МГРП.
2. Для скважин сложной конструкции (преимущественно ВС с ГРП, ГС) предложена методика постобработки КВД путем применения метода модификации кривых давления, позволяющая существенно ускорить получение диагностических признаков радиального режима и снизить неопределенности в оценке гидропроводности пласта. Представлен и обоснован алгоритм применения методики на практике
3. Разработана комплексная методика интерпретации данных ГДИ для водоплавающих газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной. Методика включает анализ результатов повторных исследований, междисциплинарных данных и численное моделирование с воспроизведением наблюдаемых особенностей КВД. Применение методики позволяет уточнить особенности дренирования пласта по разрезу в процессе разработки залежи
4. Представлена комплексная методика интерпретации КВД для трещиноватых коллекторов, основанная на диагностике и детализации характерных участков на кривых изменения давления и мониторинге их изменения по данным повторных исследований. Данная методика позволяет оценить динамику структуры естественной и техногенной трещиноватости в процессе разработки залежи и предоставляет важную информацию для оценки эффективности ГТМ и подбора оптимального режима эксплуатации скважины.

Практическая значимость

Практическая значимость диссертации Абрамова Т.А. характеризуется следующими пунктами.

1. Применение предложенной методики проведения и интерпретации ГДИ с получением РПР для ГС с МГРП позволяет существенно повысить достоверность результатов со снижением погрешности определения параметров системы «пласт-скважина» до 1 %.
2. Для ГС и ВС с ГРП разработанная методика применения метода модификации кривых давления позволяет повысить достоверность результатов ГДИ до 99 %, а также существенно (на порядок 100 ч) сократить необходимую длительность замера КВД.

3. Для газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной предложенная в работе методика дает возможность на ранних стадиях разработки установить распределение проницаемости по разрезу, что позволяет увеличить точность петрофизических и гидродинамических моделей.
   Обоснованные диагностические признаки КВД позволяют выявить на ранней стадии подъем конуса подошвенной воды и дают возможность снижения затрат на проведение операций импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК).
4. Методика комплексной интерпретации ГДИ в трещиноватых коллекторах позволяет определять особенности работы системы трещин и воздействия на нее при проведении ГТМ. Это дает возможность получения важной информации для выбора наиболее эффективных ГТМ и подбора оптимального режима эксплуатации, что в конечном итоге повышает эффективность разработки месторождения.

Область практического применения результатов работы связана с проведением и интерпретацией ГДИ на низкопроницаемых нефтяных и газовых залежах, эксплуатируемых ГС, ВС с ГРП и ГС с МГРП, водоплавающих газовых залежах с малой газонасыщенной толщиной, а также залежах с трещиноватыми коллекторами различного типа. Практическая значимость результатов работы подтверждена актом внедрения в производственные процессы ООО «Харампурнефтегаз».

Апробация результатов диссертации и личный вклад автора

Работа прошла широкую апробацию на ведущих профильных всероссийских и международных научно-технических мероприятиях по проблемам ГДИ и разработки месторождений. Результаты диссертации достаточно полно освещены в 9 печатных работах, включая 5 статей в журналах из списка ВАК и 3 статьи – в изданиях, входящих в международные базы Web of Science и Scopus. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы.

Личный вклад автора во все результаты диссертационной работы является определяющим.

Обоснованность результатов диссертации

Представленные в работе научные положения, выводы и результаты являются оригинальными. Их обоснованность подтверждена применением известных аналитических и численных моделей с использованием широко апробированных программных комплексов решения прямых и обратных задач ГДИ. Предложенные методики верифицированы результатами многовариантного численного моделирования, их апробацией и слепым тестированием на синтетических и реальных данных гидродинамических исследований, и сопоставлением с данными междисциплинарного анализа. Анализ результатов ГДИ на трещиноватых коллекторах также широко сопоставлялся с данными, опубликованными в отечественной и зарубежной литературе.

Замечания по работе

1. Во второй главе автором на основании анализа синтетических кривых давления выявлен и изучен «радиально-подобный» режим (РПР), для которого предложена эмпирическая формула, позволяющая с приемлемой для практики погрешностью оценивать гидропроводность пласта. Кроме того, разработана схема получения РПР на практике. Однако в диссертации не представлено ни одного реального примера получения РПР в ГС

с МГРП, подтверждающего работоспособность предложенных методик по материалам фактических ГДИ.

2. На странице 52 автор указывает, что «…оценка гидропроводности пласта возможна и по данным раннерадиального режима. Вертикальное положение горизонтального участка производной для него обратно пропорционально произведению N·kh/μ… Для возникновения раннерадиального режима должен выполняться критерий отсутствия интерференции между трещинами на соответствующем временном интервале, что достижимо при относительно малых полудлинах трещин Xf и больших расстояниях между трещинами L с соотношением не менее L/Xf = 3…5».

Это требование справедливо для возникновения раннерадиального режима в ГС с МГРП, но оно не является единственным. Известно, что в случае ГС с МГРП, в которых приток направлен не только к трещинам ГРП, но и к самому горизонтальному стволу, возникновение раннерадиального режима будет зависеть еще и от длины участков горизонтального ствола, к которым осуществляется фильтрация, и требование обратной пропорциональности положения горизонтального участка производной произведению N·kh/μ в этом случае соблюдаться не будет. Кроме того, этот вариант ГС с МГРП в диссертации вообще не рассматривается. Однако для полноты картины в научной работе в формате рукописи следует хотя бы упомянуть о его существовании.

3. На странице 93 автор предлагает верифицировать полученные результаты интерпретации коротких КВД за счет метода, называемого «анализом динамики добычи» (АДД).

Однако на практике метод АДД очень чувствителен к дебиту, погрешность измерения которого обычно значительно превышает погрешность измерения забойного давления, что приводит к снижению информативности этого метода. Поэтому предполагаемая возможность использования метода АДД в том числе для вышеназванной верификации выглядит весьма сомнительной.

4. На странице 140 автор приводит диагностические графики, построенные по КВД, зарегистрированные в сеноманских скважинах и отмечает характерную для таких скважин зашумленность производной давления в конце КВД на участке ее стабилизации («полке»). Зашумленность связана с тем, что «…в процессе замера КВД темпы прироста давления достаточно быстро достигают предела разрешающей способности манометров, что и становится причиной шумной записи данных давления». Проведенное автором численное моделирование позволило идентифицировать на этом участке производной волнообразное поведение, вызванное процессами межпластовых перетоков.

Возможно, автору стоило бы попробовать значительно более простой способ уточнения поведения производной во время «полки» путем значительного увеличения коэффициента сглаживания в любом современном специализированном ПО. Конечно, необходимо учитывать, что с коэффициентом сглаживания необходимо быть аккуратнее, поскольку его высокие значения могут сгладить производную так, что будет утеряна информация о пласте. Однако правильнее было бы начать анализ зашумленной производной именно со сглаживания. В диссертации о таком способе ничего не сказано.

Отмеченные замечания и недостатки не меняют общего положительного впечатления от рассматриваемой диссертационной работы.

Общая оценка диссертационной работы

Считаю, что, несмотря на отмеченные замечания, диссертация Абрамова Т.А. на тему «Совершенствование методик гидродинамического исследования скважин на месторождениях с трудноизвлекаемыми запасами» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решены актуальные задачи повышения достоверности гидродинамического контроля разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами. Ее результаты характеризуются научной новизной и практической значимостью. Работа отвечает всем требования п. 9-14 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. с изменениями и дополнениями от 25 января 2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Я, Крыганов Павел Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Крыганов Павел Викторович,
кандидат технических наук
по специальности 25.00.17 (2.8.4) Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

Ведущий геофизик
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»,
Адрес: 129110, г. Москва,
ул. Щепкина, д. 61/2 стр. 12,
Тел.: 8 (495) 983-23-93
E-mail: Pavel.Kryganov@lukoil.com

24.08.2026 _____
(дата) (подпись)

Начальник отдела
по работе
с персоналом
Гимадеева Е.В.

Подпись Крыганова Павла Викторовича заверяю: _____

«24» августа 2026 г.