ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Иктисанова Валерия Асхатовича

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

Всё чаще объектами разработки становятся низкопроницаемые коллектора, коллектора, содержащие высоковязкую нефть и коллектора малой толщины, которые объединяет низкий коэффициент гидропроводности. Причины этого можно разделить на природные и техногенные. К первым, как это следует из закона Дарси, следует отнести плотные коллектора низкой и сверхнизкой проницаемости, а также коллектора, насыщенные высоковязкой нефтью. В общем случае наличие этих факторов приводит к нелинейной фильтрации, обусловленной либо нелинейно-вязкими свойствами нефти в связи с содержанием в ней парафинов, асфальтенов и смол, либо физико-химическим взаимодействием между жидкостью и высокой удельной поверхностью поровых каналов. Нелинейная фильтрация значительно усложняет процесс интерпретации кривых изменения давления – кривых восстановления давления (КВД), кривых откачки, длительных кривых изменения давления (ДКИД).

К техногенным причинам снижения коэффициента подвижности (гидропроводности) можно отнести:

- разгазирование нефти в призабойной зоне или в пласте, что значительно снижает фазовую проницаемость по нефти,
- возрастание напряженного состояния коллектора при низких забойных давлениях,
- возможное выпадение асфальтенов и/или парафинов в призабойной зоне и/или пласте при изменении термодинамических условий и др.

Практически все эти причины связаны с действиями компаний по значительному снижению забойного давления. В результате существуют ряд причин, приводящих к низким фильтрационным параметрам пласта, либо к снижению этих параметров в процессе разработки. В связи с этим существенно возрастает время проведения гидродинамических исследований скважин (ГДИ), а точнее, время выхода логарифмической производной давления на постоянную величину, характеризующую радиальный поток к скважине, что делает невозможным достоверное определение фильтрационных параметров.

В сравнении с вертикальными скважинами для скважин сложной геометрии (вертикальные с трещиной или трещинами, горизонтальные, горизонтальные с множественными трещинами, многоствольные скважины и др.) время достижения радиального потока повышается на порядки. Данная проблема усугубляется тем, что именно скважины сложной геометрии применяются для разработки коллекторов с низкой и сверхнизкой проницаемостью. В этом случае время достижения радиального потока еще более возрастает и может достигать для ГС с мГРП, пробуренных в сланцах, нескольких тысяч лет. Естественно, что никто не будет, да и не сможет снимать ни КВД, ни кривую откачки в течение такого периода времени.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемый процесс длительного выхода на радиальный поток часто дополнительно усугубляется высоким коэффициентом

Вх. № 371
от «7» 09 2026

послепритока (влияния ствола скважины) из-за постепенного поступления газа в скважину после её остановки в случае низких забойных давлений. В частности, для скважин некоторых карбонатных залежей ПАО «Татнефть» коэффициент послепритока достигает несколько десятков $м^3$/МПа в отличие от традиционных значений порядка 1 $м^3$/МПа. Всё это ведет к тому, что радиальный поток в ряде случаев появляется для вертикальных скважин через несколько месяцев после остановки скважины.

Естественно, что основная функция скважины – добывать нефть, а не простаивать всё время для проведения исследований. В этой связи поставленная автором цель работы– обоснование методик проведения и интерпретации результатов гидродинамических исследований скважин для повышения достоверности оценки фильтрационных параметров пласта и призабойной зоны, является безусловно актуальной.

Структура работы и публикации

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 119 наименований. Результаты работы отражены в 9 публикациях, включая 5 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ. 3 статьи напечатаны в изданиях, входящих в международные базы Web of Science и Scopus.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации и описывается степень ее разработанности. Формулируются цели работы и решаемые задачи, приводятся ключевые 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 обзор существующих методик и отражены основные этапы развития теории и практики интерпретации ГДИ.

Во второй главе описаны методические решения, позволяющие повысить информативность гидродинамических исследований в ГС с МГРП. В частности рассмотрены особенности проявления режимов фильтрации для КВД и кривой откачки, оценена погрешность результатов интерпретации КВД при отсутствии позднерадиального потока, выедена эмпирическая формула для оценки проницаемости для эллиптического потока, оценена применимости предложенной методики для синтетических кривых давления, рассмотрены трещины бесконечной и конечной проводимости

Для РПР в условиях бесконечной проводимости трещин предложена эмпирическая формула, позволяющая с приемлемой для практики погрешностью оценивать проницаемость пласта. Представлена схема получения РПР на практике и методика, позволяющая повысить точность эмпирической формулы за счет анализа характера настройки модельной кривой производной давления на факт на последующем после РПР переходном режиме. Показано, что в условиях сверхнизкой проницаемости возможность получения РПР сохраняется после нескольких лет сложной истории отработки скважины, но одновременно с этим требуется проведение длительного замера КВД в течение порядка полугода.

Третья глава посвящена адаптации метода модификации кривых изменения давления для скважин сложной конструкции. Под модификацией понимается подход, предложенный д.т.н. А.М. Сваловым. Он заключается в ускорении времени получения диагностических признаков радиального потока. Изначально он был разработан для кривых откачек и КВД, регистрируемых в вертикальных скважинах в условиях влияния ствола скважины и скин-фактора. Согласно решению Свалова А.М., ускорить проявление

признаков радиального потока в переходный период возможно путем устранения искажающего влияния второго по старшинству члена асимптотического разложения зависимости забойного давления от времени. Процесс модификации заключается в подборе некоторого постоянного коэффициента M перед известной функцией времени, соответствующей второму члену разложения. В работе Свалова А.М. его вид был представлен в функции времени для отработки при постоянном дебите и «классического» времени Хорнера для КВД.

Соискателем предложено использовать данный метод для ВС с ГРП и ГС. Для данных скважин перед выходом на позднерадиальный режим также формируется переходный режим. Однако в этом случае он является следствием не ВСС, а предшествующих других структур потока. В работе предлагается использовать представленный А.М. Сваловым подход для этого потока, учитывая, что на момент достижения позднерадиального потока влияние предшествующих периодов течения можно свести к эквивалентному скин-эффекту для скважины. Благодаря этому становится возможным адаптировать метод А.М. Свалова и для скважин более сложной конструкции. При этом метод обобщен для использования с более общей временной функции, учитывающей полную предысторию работы скважины – временем суперпозиции.

Применимость метода для ВС с ГРП и ГС подтверждена по результатам верификации на синтетических и фактических данных КВД. Разработана процедура обработки данных ГДИ при использовании метода. Суть процедуры заключается в построении семейства модифицированных кривых с разными значениями параметра модификации N и последующим выявлением кривой, показывающей наиболее быстрый выход на горизонтальную асимптоту. Таким образом, в ситуации недостижения радиального потока, но при наличии переходного периода, применение метода сохраняет возможность точной оценки проницаемости. При планировании ГДИ применение метода модификации кривых давления позволяет на порядок снизить время замера, необходимое для получения признаков позднерадиального потока на КВД.

В четвертой главе приводится комплексная методика анализа ГДИ для газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной в условиях наличия контактных запасов. Автор использует анализ КВД, сопоставление с результатами повторных исследований, междисциплинарный анализ и воспроизведение КВД с помощью численного гидродинамического моделирования. Применение методики рассматривается на примере газовой залежи пласта ПК1. Особенностью рассматриваемой залежи явилось наличие двух продуктивных интервалов, разделенных заглинизированными низкопроницаемыми слоями. Автору удалось уточнить особенности механизма охвата дренированием залежи по разрезу. Установлено, что перемычки не являются флюиудопорами и обеспечивают охват всего продуктивного разреза дренированием за достаточно короткие сроки. Оценена проницаемость перемычек при отсутствии керновых данных. Кроме этого методика дала возможность выявить и подтвердить на КВД диагностические признаки подъема конуса подошвенной воды в процессе эксплуатации вертикальной скважины.

В пятой главе рассматриваются особенности интерпретации ГДИ, проводимых на трещинных коллекторах. На основе литературного обзора автор приходит к выводу, что традиционная модель двойной пористости часто не соответствует реальным исследованиям. Вместо этого, отмечается разнообразное поведение кривых изменения давления. Показано, что такое поведение кривых является откликом на особенности системы трещин (проводимость трещин, их взаимная ориентация, масштаб и др.).

Соискателем предлагается выполнять детальный анализ КВД в трещинных коллекторах, выявлять характерные участки кривых давления и затем отслеживать их изменение по повторным исследованиям, проводимым в процессе эксплуатации скважины и/или после ГТМ. По результатам применения методики произведена оценка структурных изменений в конфигурации системы трещин, изучены характерные особенности гидроразрыва пласта, установлены причины отсутствия отклика на работу трещин гидроразрыва в вертикальных скважинах. Методика позволила выявить признаки «дыхания» системы трещин – их смыкания при отработке на режимах и раскрытии при остановке на КВД.

Научная новизна результатов диссертации

1. Показано возникновение участка постоянства логарифмической производной давления перед участком радиального потока к ГС с МГРП, образующегося в результате суперпозиции давления от кратковременной работы и последующей остановки скважины. На основе выделения данного участка разработана методика интерпретации кривой давления без выделения радиального потока.
2. Для газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной предложена методика интерпретации данных ГДИ, включающая сравнительный анализ первичных и последующих исследований, численное моделирование процесса, учет распределения фильтрационных свойств по разрезу и работу скважин окружения. Применение данной методики позволяет изучить особенности дренирования продуктивной толщи залежи
3. Расширена область применения метода д.т.н. А.М. Свалова для вертикальных скважин с ГРП и горизонтальных скважин, что позволяет повысить точность определения фильтрационных параметров пласта для недовосстановленных КВД.

Практическая значимость

1. По данным отклика КВД на РПР для ГС с МГРП предложена эмпирическая зависимость для оценки гидропроводности. Разработан алгоритм интерпретации КВД при наличии отклика на РПР и приведены схемы дизайна ГДИ для его получения. На основе синтетических расчетов показана возможность повышения точности оценки параметров пласта и трещин ГРП.
2. Произведена апробация метода модификации кривых давления для ВС с ГРП и ГС. На примерах с синтетическими и реальными данными показано, что в случае недостижения радиальной фильтрации при получении переходного режима применение метода позволяет снизить ошибку интерпретации. В случае своевременного планирования исследования применение методики позволяет сократить длительность исследования на несколько сотен часов, что дает существенный экономический эффект за счет снижения времени простоя скважины и операционных затрат для замера КВД.
3. Для газовых залежей с малой газонасыщенной толщиной предложенная методика комплексной интерпретации ГДИ позволяет оценить проницаемость низкопроницаемых заглинизированных слоев, а также выявить признаки конусообразования.

Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждена актом внедрения в производственные процессы ООО «Харампурнефтегаз».

Апробация результатов диссертации и личный вклад автора

Результаты работы доложены на 10 научно-практических конференциях и научных семинарах. Личный вклад автора является определяющим и состоит в формировании направлений исследования, в проведении численных и аналитических расчетов, анализе и

обобщении результатов, разработке, верификации и апробации методик, подготовке графических и табличных материалов, подготовке публикаций и научных докладов. Автореферат корректно отражает основные положения диссертационной работы.

Обоснованность результатов диссертации

Результаты, представленные в работе, являются оригинальными. Их обоснованность подтверждена применением известных аналитических моделей и программных комплексов для решения прямых и обратных задач ГДИ, а также гидродинамического моделирования. Разработанные в работе методики верифицированы данными многовариантного численного моделирования, апробацией и слепым тестированием на синтетических и реальных данных ГДИ, проведением междисциплинарного анализа.

Замечания по работе

1. Автор делает в работе упор на трудноизвлекаемых запасах, но по факту рассматривает только коллектора с низким коэффициентом гидропроводности (продуктивности), в связи с чем возникает несоответствие содержания и более широкого названия работы.
2. В п. 1 научной новизны автор утверждает, что впервые обнаружил радиально-подобный режим - «полочку» производной давления, образующуюся при регистрации КВД после кратковременной работы скважины. Однако эффект влияния предыстории работы скважины и его появление в виде «полочки» производной давления широко известен и описан в литературе, например, Houze O., Viturat D., Fjaere O.S. Dynamic data analysis. V5.20. https://www.kappaeng.com/papers 2018. 757 p.
3. В пункте 2 научной новизны не раскрыта суть осуществляемой модификации кривой давления, производится только констатация факта, что снижает качество работы. Данный пункт касается методики интерпретации, в связи с чем больше относится к практической значимости, чем к научной новизне. По всей видимости автору следовало указать на полученную функциональную эмпирическую зависимость и её физический смысл.
4. Некорректность использования в диссертации термина КСД «кривая стабилизации давления». Для специалистов по ГДИ хорошо известно, что никакой стабилизации давления не наблюдается, в пласте постоянно происходят неустановившиеся процессы. Корректно использовать термин кривая добычи или кривая откачки по аналогии с «production curve».
5. Предложенные методы интерпретации кривых давления и дебитов базируются на методе суперпозиции, который к сожалению применим только для линейного уравнения пьезопроводности. Как показывает практика, реальная фильтрация жидкости в пласте, а особенно для низкопроницаемых коллекторов почти всегда является нелинейной, что обусловлено нелинейно-вязкими свойствами нефтей, физико-химическим взаимодействием между флюидом и поверхностью поровых каналов, напряженным состоянием коллектора, релаксацией напряжений и скоростей. В связи с этим отличие проницаемости, пьезопроводности, коэффициентов притока приводит к значительному отличию кривых давления при пуске и остановке как добывающих, так и нагнетательных скважин. Данная тенденция ставит под сомнение предлагаемый метод выделения и применимости радиально-подобного притока.
6. Решение поставленной задачи следует выполнять путем интерпретации длительных кривых изменения давления (ДКИД), которые содержат информацию за месяцы и годы. Данные с ТМС и манометров, постоянно расположенных на забое скважины, широко используются в компаниях в последние годы и позволяют избежать ряда проблем,

которые пытается решить автор. Другим подходом решения поставленной задачи для скважин сложной геометрии является использование типов потока, предшествующих радиальному потоку (эллиптический и более сложные для ГС с МГРП). Известны методы решения задач подобного типа без использования упрощения в виде введенного раннерадиального потока для трещины. Регулярно упоминаемые в работе линейные потоки являются значительным упрощением, подтверждением чему является отсутствие угла наклона производной ½ в билогарифмических координатах для ГС и вертикальных скважин с трещинами. К сожалению в основном представленная работа посвящена развитию методов, характерных для прошлого, а не современного этапа развития ГДИ. Исключение составляет 5 глава диссертации, где автор анализирует динамику изменения фильтрационных и иных параметров по серии КВД.

Общая оценка диссертационной работы

В целом 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 определения фильтрационных параметров пласта для коллекторов с низким коэффициентом гидропроводности. Ее результаты характеризуются научной новизной и практической значимостью. Работа отвечает всем требованиям 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». Ее автор, Абрамов Тимур Алексеевич, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Я, Иктисанов Валерий Асхатович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент,
Доктор технических наук по специальности 2.8.4 (25.00.17) – «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», профессор, профессор кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II»

Иктисанов Валерий Асхатович

Адрес места работы: 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д.2
телефон: +7(996)124-1649, e-mail: iktisanov_va@pers.spmi.ru

Подпись Иктисанова Валерия Асхатовича заверяю:

