

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования

Тюменский государственный
университет»



[Handwritten signature]

А.В. Толстикова

31.08. 2023

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Хисамова Артура Альфировича «Аналитическое исследование нестационарной фильтрации жидкости в системе пласт-трещина гидроразрыва», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность темы диссертационной работы

Россия наряду с Венесуэлой и Канадой входит в тройку стран-лидеров по объему запасов тяжелых углеводородов. В настоящее время ввиду низкой рентабельности разработки тяжелой нефти в России, как правило, относят к альтернативным источникам углеводородов. Тем не менее, анализ литературных источников показывает, что за счет освоения таких месторождений добычу можно увеличить на десятки миллионов тонн ежегодно. Одним из эффективных методов интенсификации извлечения углеводородов является гидравлический разрыв пласта.

На данном этапе развития технологий разработки использование в расчетах формул, основанных на решениях квазистационарных задач, является недостаточным для корректного описания гидродинамики пласта и требует доработки методов расчета. Таким образом, актуальна задача нестационарной фильтрации в трещину гидроразрыва.

Научная новизна

Представлены новые аналитические решения задач нестационарной фильтрации жидкости с учетом вертикальной трещины разрыва пласта.

Математическая модель подразумевает авторские упрощения, которые позволяют использовать известные методы исследования. Новые постановки предполагают различные типы граничных условий и геометрию области фильтрации. Получены новые интегральные характеристики прискваженных течений, поля давлений и потоков в продуктивном пласте. Асимптотика решений имеет важное значение для оценки запасов и позволяет скорректировать стратегию разработки месторождения.

Достоверность и обоснованность результатов исследования

Достоверность и обоснованность полученных автором в диссертационной работе результатов обеспечивается использованием классических подходов гидродинамики, теории фильтрации, уравнений математической физики при построении математических моделей и решений поставленных начально-краевых задач, применением методов операционного исчисления; сравнением результатов, полученных диссертантом, с известными аналитическими решениями в частных случаях.

Теоретическая и практическая значимость работы

Полученные автором результаты обоснованы, обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость. Изучен процесс фильтрации при наличии скин-зоны в трещине гидроразрыва и без нее. Определены нестационарные поля давления в пластах с вертикальной трещиной гидроразрыва при различных режимах. Найдены функции восстановления давления после прекращения работы скважины. Представленная информация позволит сформировать рекомендации при разработке месторождения после проведения гидроразрыва пласта. Найденные временные зависимости давления на забое скважины можно использовать при исследовании истощения пластов с учетом всего комплекса определяющих параметров.

Характеристика содержания диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 116 наименований. Общий объем диссертации составляет 117 страниц. Во введении обоснована актуальность, сформулированы цели и задачи научного исследования. Приведены основные результаты работы, выносимые на

защиту, указаны научная новизна и практическая значимость проведенного исследования.

Первая глава содержит обзор литературных источников, относящихся к различным аспектам моделирования процесса фильтрации слабосжимаемой жидкости в пласте и трещине гидроразрыва. Обзор содержит всестороннюю информацию о современном состоянии проблемы. Анализ показал, что целесообразно дальнейшее исследование нестационарной фильтрации в после проведения гидравлического разрыва.

Вторая глава посвящена исследованию базовой модели нестационарной фильтрации в пласте с трещиной бесконечной протяженности. Предполагается, что поток флюида в пласте однонаправлен и перпендикулярен трещине. Таким образом, давление в пласте удовлетворяет одномерному уравнению пьезопроводности, при этом область не ограничена. Движение флюида в самой трещине описано в рамках одномерной модели течения с источником членом, учитывающим приток жидкости из пористой среды, тип уравнений аналогичен, область решения – полупрямая. К модельным уравнениям добавлены граничные условия первого и второго рода, соответствующие постоянному давлению или расходу на забое. Выбран масштаб и выполнен переход к безразмерной форме. Для решения задачи использован метод интегральных преобразований Лапласа по временной переменной, перехода к оригиналу выполнен двумя способами. Показано тождественное равенство решений при замораживании притока в трещину. Далее проведен анализ представленных результатов. Вторая краевая задача также решена методом операционного исчисления. Полученные формулы, дающие распределение давления в пласте и трещине, а также зависимость забойного давления от времени проиллюстрированы и проанализированы.

В третьей главе область решения ограничена конечной длиной трещины. Доминирующее направление потока в пласте сохраняется. Постановка задачи представлена в безразмерной форме, переменные расшифрованы. Проведен анализ результатов. Рассматривается отбор жидкости из пласта через скважину с трещиной с заданными геометрическими и физическими параметрами. Ряды,

входящие в решения, заменены частичными суммами. Проиллюстрированы динамика давления и дебита в зависимости от определяющих параметров.

В четвертой главе изучается процесс нестационарной фильтрации через с поврежденным участком трещины гидроразрыва в окрестности скважины. Проницаемость данного участка снижена вследствие технического или технологического процессов; ввиду наличия характерного времени режим течения через данный участок считается квазистационарным. Автор приходит к новой математической постановке задачи о фильтрации с граничным условием третьего рода во входном сечении трещины. Получена зависимость отношения дебитов скважин со скин-зоной в трещине и без нее. Данная зависимость определяется установленным безразмерным параметром.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

По работе имеются следующие **вопросы и замечания**:

1. Имеется некоторое количество опечаток. Следует избегать использования в аргументах функций знак стремления к бесконечности.
2. Во второй главе отсутствует обоснование уравнения для давления в трещине, согласованного с притоком флюида из пористой среды, которое подтвердило бы достоверность математической модели.
3. В математической модели (2.1)-(2.7) отсутствует указание аргументов искомых функций. Уравнение (2.2) для давления в трещине очевидно одномерное, тогда область – луч, а не полоса; в условии (2.3) в правой части вновь присутствует ордината; в (2.5) то же самое.
4. Физическая интерпретация математической постановки (3.1)-(3.7) не до конца ясна. При ограниченной протяженности трещины пренебрегается краевыми эффектами или же носик упирается в непроницаемый пропласток?
5. При анализе найденного решения и построении графиков ряды заменялись частичными суммами. На стр. 77 заявлен диапазон «четыре», а на стр. 89 – «пять». Точность определялась визуально?
6. Детальная формализация задачи при наличии скин-зоны в трещине опущена. Краткое описание улучшило бы восприятие новой математической постановки.

7. Неясно, должна ли проницаемость скин-зоны быть значительно выше проницаемости пласта. Почему отношение дебитов при наличии или отсутствии скин-зоны не зависит от параметров пласта? Проводилась ли оценка скорости фильтрации при используемых значениях расчетных параметров.

Заключение

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе. Автореферат полностью отражает основные положения диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 19 печатных работах, в том числе 1 статья в рецензируемом научном издании, входящем в перечень Scopus, 3 – в изданиях, входящих в перечень международных реферативных баз данных и RSCI, 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК в действующей редакции, 12 работ, входящих в перечень РИНЦ.

Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (физико-математические науки), Работа соответствует следующим пунктам паспорта данной специальности: п. 8 «Течение жидкостей и газов в пористых средах», п. 18 «Точные, асимптотические, приближенные аналитические, численные и комбинированные методы исследования уравнений континуальных и кинетических моделей однородных и многофазных сред».

Диссертационное исследование Хисамова Артура Альфировича «Аналитическое исследование нестационарной фильтрации жидкости в системе пласт-трещина гидроразрыва» является самостоятельным, целостным и завершенным. Полученные автором результаты обоснованы, обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость; вносят существенный вклад в теорию течения жидкостей и газов в пористых средах.

Диссертация соответствует требованиям пп. 9-11 (раздел II) «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Хисамов Артур Альфирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук (01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы), профессором кафедры фундаментальной

математики и механики ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Настоящий отзыв рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры фундаментальной математики и механики Института математики и компьютерных наук ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Присутствовало на заседании 15 человек.

Результаты голосования: «за» – 15 человек, «против» – нет, «воздержалось» – нет (протокол № от 30.08.2023).

Профессор кафедры
фундаментальной математики и
механики ТюмГУ,
д-р физ.-мат. наук

Татосов Алексей Викторович

Заведующий кафедрой
фундаментальной математики и
механики ТюмГУ,
канд. физ.-мат. наук

Девятков Антон Павлович

Подпись <u>Татосова А. В.</u> удостоверяю Главный эксперт отдела аспирантуры и докторантуры УНИИР <u>В. Белозерова</u> А.А. Белозерова		Подпись <u>Девяткова А. П.</u> удостоверяю Главный эксперт отдела аспирантуры и докторантуры УНИИР <u>А.А. Белозерова</u>
« 30 » 08 2023 г.		» 08 2023 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», г. Тюмень, <https://www.utmn.ru>

Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6; (3452) 59-74-29, 59-74-82
e-mail: ceo@utmn.ru

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