

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по научной деятельности федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»,
д.ф.-м.н., профессор

Дмитрий Альбертович Таюрский

« 01 »

2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Аносовой Елизаветы Петровны
«Фильтрация флюида в трещине ГРП,
перпендикулярной к горизонтальной скважине»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность исследования

Для разработки нефтяных и газовых месторождений в настоящее время активно применяется технология гидравлического разрыва пласта (ГРП) на горизонтальных скважинах с целью повышения интенсивности добычи углеводородных запасов или предельной величины их извлечения. Непосредственное измерение параметров созданных трещин гидроразрыва недоступно. Поэтому весьма востребованы методы их косвенной диагностики, одним из которых является гидропрослушивание. Описание фильтрационных процессов вблизи скважин в основном выполняется с использованием численных методов. Для их верификации, а также для получения надежных оценок в идеализированных условиях необходимы аналитические решения. В диссертационной работе Аносовой Е.П. построена модель в виде интегро-дифференциального уравнения, позволяющая описать динамику давления в трещине ГРП, перпендикулярной скважине. Найдены точные аналитические решения, позволяющие получить более детальную информацию о давлении вблизи скважины и на ее забое, а также удобные для практического применения, приближенные решения.

Содержание диссертационной работы

Диссертация объемом 127 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня основных обозначений и списка литературы. В диссертации 31 рисунок, 4 таблицы и список литературы из 152 наименований. *Во введении* представлена актуальность, новизна, цели, задачи и обоснованность исследования, указана практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту, и кратко излагается содержание работы по главам. *Первая глава* содержит обзор литературных источников, посвященных ГРП и теории фильтрации флюида. *Во второй главе* построена математическая модель для описания процесса нестационарной

фильтрации в трещине ГРП, перпендикулярной к горизонтальной скважине. Изучено распространение низкочастотных гармонических волн давления в трещине ГРП. В третьей главе рассмотрена задача о закачке флюида из скважины в пласт при наличии трещины ГРП, перпендикулярной стволу горизонтальной скважины, в режиме постоянного перепада давления между забоем и пластом. Получены точные аналитические решения, описывающие эволюцию давления в трещине ГРП и расхода флюида в скважине через трещину. В этой же главе, рассмотрена задача об отборе жидкости из пласта в скважину при наличии трещины ГРП, перпендикулярной стволу горизонтальной скважины, в режиме постоянного расхода. Получены точные аналитические решения, описывающие эволюцию давления в трещине ГРП и на забое скважины при задании постоянного расхода флюида. В четвертой главе рассматривается решение задач из третьей главы с использованием приближенного метода последовательной смены стационарных состояний. Получены удобные для практического применения приближенные решения, проведен сравнительный анализ численных результатов по приближенным решениям с аналитическими решениями, полученными в третьей главе. В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Соответствие требованиям ВАК

Работа представляет собой завершенное научное исследование. Полученные результаты могут быть использованы при моделировании эволюции давления и расхода горизонтальной скважины, простимулированной вертикальными трещинами гидроразрыва. Текст написан грамотным языком с соблюдением научного стиля изложения материала. Корректно указываются ссылки на основные источники научной литературы по исследуемым задачам.

Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов работы обеспечивается использованием классических подходов гидродинамики, теории фильтрации, уравнений математической физики в процессе построения математической модели, а также применением методов теории функций комплексного переменного при получении аналитических решений. Приведены достоверные оценки условий применимости основных упрощений используемых моделей.

Новизна полученных результатов и выводов

Автором впервые получены аналитические решения задачи, описывающей нестационарную фильтрацию флюида в трещине ГРП, расположенной перпендикулярно к горизонтальной скважине, с учетом фильтрации флюида через стенки трещины в окружающую трещину пористую и проницаемую среду при работе скважины в режиме поддержания постоянного перепада давления между скважиной и пластом, а также при работе скважины в режиме постоянного дебита, изучено распространение низкочастотных гармонических волн давления в трещине ГРП.

Теоретическая и практическая значимость работы

Результаты работы обоснованы, обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость. Полученные в работе аналитические решения позволяют расширить теоретические основы описания нестационарной фильтрации в трещине ГРП для горизонтальных скважин, провести анализ фильтрационно-ёмкостных

характеристик как самих трещин гидроразрыва, так и призабойной зоны скважины на основе закономерностей распространения давления в трещинах; могут служить основой для тестирования алгоритмов расчета фильтрационных течений по более сложным математическим моделям.

Следует подчеркнуть, что работа Аносовой Е.П. является демонстрацией высококвалифицированного владения мощным аппаратом построения аналитических решений задач фильтрации, который всё реже применяется на фоне повсеместного использования численного моделирования.

Замечания по диссертационной работе

1. Литературный обзор избыточен и включает направления исследований, не затронутые в основном содержании диссертации, в том числе неньютоновские жидкости, тепломассоперенос, многоствольные скважины, модели распространения трещин.
2. Эффективнее было бы работать с нормированными уравнениями, оперируя меньшим числом параметров, и получая более общие выводы.
3. В работе не указан способ технической реализации и затрачиваемое машинное время на вычисление интегралов, входящих в полученные решения.
4. В работе не приведены профили распределения притока пластового флюида вдоль трещины, которые кроме самостоятельной теоретической ценности, позволили бы оценить применимость гипотезы о трещине бесконечной длины при вычислении ее дебита.
5. Для оценки допустимости упрощений, положенных в основу математических моделей, не хватает сравнения полученных результатов с результатами других методов решения аналогичных задач, например, с помощью пакетов CMG, Eclipse.
6. Согласно рис. 4.9 внутренняя граница области, где в пределах 10% погрешности выполняется гипотеза ортогональности линий тока берегам трещины, удаляется от скважины с течением времени. Так на временах порядка $10^4..10^6$ с, анализируемых в предыдущих разделах диссертации, это расстояние достигает уже 15..50 м, что может быть сопоставимо с полным размером трещин и ставит под вопрос применимость полученных решений и достоверность выводов на таких временах. Прояснить данный момент позволили бы ответы на замечания пп. 4, 5.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления о работе и не носят принципиального характера.

Публикации, отражающие основное содержание работы

По теме исследований автором опубликовано 11 печатных работ, в том числе 4 работы в рецензируемых научных изданиях, входящих одновременно в наукометрические базы Scopus, Web of Science и RSCI. Основные результаты апробированы и доложены на международных и всероссийских конференциях.

Все основные результаты, выносимые на защиту, опубликованы в ведущих рецензируемых журналах, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки РФ.

Заключение

Диссертационная работа Аносовой Елизаветы Петровны «Фильтрация флюида в трещине ГРП, перпендикулярной к горизонтальной скважине» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является законченной научно-квалификационной работой. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Диссертационная работа Аносовой Елизаветы Петровны «Фильтрация флюида в трещине ГРП, перпендикулярной к горизонтальной скважине» соответствует требованиям пп. 9–11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, заведующим кафедрой аэрогидромеханики Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» Поташевым Константином Андреевичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры аэрогидромеханики Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», протокол № 6 от «28» июня 2024 года.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.
Тел.: +7 (843) 939-29-03
Электронная почта: public.mail@kpfu.ru
Сайт: <https://kpfu.ru>

Директор
Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского ФГАОУ ВО «КФУ»,

кандидат физ.-мат. наук

Насрутдинов Марат Фаритович

Заведующий кафедрой аэрогидромеханики
Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского ФГАОУ ВО «КФУ»

доктор физ.-мат. наук, доцент

Поташев Константин Андреевич



Насрутдинов М.Ф.
Зав. кафедрой аэрогидромеханики
Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского ФГАОУ ВО «КФУ»



Поташев К.А.
Зав. кафедрой аэрогидромеханики
Института математики и механики им. Н.И.Лобачевского ФГАОУ ВО «КФУ»