

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Хисамова Артура Альфировича по теме: «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 диссертации.** Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является одним из методов интенсификации работы скважин для повышения темпов отбора нефти из пласта. Наличие трещин ГРП качественно и количественно меняет характер фильтрационных потоков вокруг скважины, поэтому актуальным является развитие теории фильтрации в пластах с трещинами ГРП. В данной диссертационной работе рассмотрено решение некоторых задач фильтрации в пластах с трещиной ГРП в пространственных масштабах порядка размеров пластов и в течении характерного времени разработки пластов.

**Содержание диссертационной работы.** Диссертация объемом 117 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

Во введении сформированы актуальность темы диссертации, цель и задачи работы, ее научная новизна, практическая значимость, приведены основные положения и результаты, выносимые на защиту, дано обоснование их достоверности.

В первой главе представлен обзор теоретических исследований в области нестационарной фильтрации в системе «скважина-пласт-трещина ГРП». Выполненный обзор формирует и подтверждает актуальность постановки математических моделей фильтрации в пластах с трещиной ГРП.

Во второй главе представлены постановки задач для билинейной фильтрации малосжимаемой жидкости в бесконечном пласте с трещиной ГРП, перпендикулярной скважине при заданных давлении на скважине или постоянном дебите. Задачи решаются методом интегрального преобразования Лапласа. Получена формула для давления на забое скважины. Асимптотическое представление этой формулы, соответствующее большим временам, является базовой формулой, применяемой при гидродинамическом исследовании скважин для оценки проводимости трещины ГРП методом типовых кривых. Найдено и проанализировано выражение для определения количества жидкости, поступающей из пласта в трещину и доли дебита скважины объема жидкости, поступающей в трещину из пласта.

В третьей главе представлены результаты моделирования процесса нестационарной фильтрации жидкости в пласте, вскрытой скважиной, которая пересекается по всей толщине пласта вертикальной трещиной ГРП конечной длины. Используя метод интегральных преобразований Лапласа построено аналитическое решение системы уравнений, описывающей фильтрацию жидкости в пласте и в трещине. На основе анализа полученных решений установлены основные характерные особенности исследуемого процесса фильтрации в системе «пласт-трещина». На забое скважины выполняется одно из условий, которые соответствуют эксплуатации скважины в режиме заданной депрессии или в режиме заданного дебита (1-ая или 2-ая краевые задачи). В рассматриваемой модели, нестационарное распределение давления в пласте является двумерным  $\bar{P}_r(\bar{x}, \bar{y}, \bar{t})$ , а в трещине одномерным  $\bar{P}_f(\bar{x}, \bar{t})$ . В соответствии с общепринятым положением в теории фильтрации в пластах с трещиной ГРП, считается, что жидкость поступает в скважину только через трещину, а из пласта в трещину – через ее боковые поверхности, трещина по высоте вскрывает всю толщину пласта, поток жидкости в трещину через ее торец считается пренебрежимо малым.

В четвертой главе получены аналитические решения для фильтрационного потока к скважине с вертикальной трещиной ГРП при наличии около трещины скин-зоны, моделируемой граничным условием 3-го рода для давления на линии смыкания скважины и трещины ГРП. Найденные аналитические решения позволяют определить распределения давления в трещине ГРП и в пласте, а также дебит скважины в зависимости от параметров пласта, трещины и скин-зоны.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Диссертационная работа логически структурирована, выполнена на высоком научно-техническом уровне и отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК.

**Научная новизна полученных результатов.** В диссертационной работе представлены новые аналитические решения теории нестационарной фильтрации жидкости в пласте с вертикальной трещиной ГРП. Решения получены на основе реализации модели с учетом фильтрации жидкости в пласте и сжимаемости трещины, которая является более общей, чем известные в литературе.

**Теоретическая и практическая значимость основных результатов.** Используемые в работе математические модели и полученные в ней аналитические результаты углубляют понимание процесса нестационарной фильтрации жидкости. Результаты работ могут быть использованы для

теоретического обоснования методов гидродинамических исследований скважин и пластов. Применение решений в случае нагнетательных скважин позволит описать динамику заводнения пластов с трещинами ГРП, в частности, определить скорость движения жидкости в трещине и в пласте при моделировании трассерных исследований. Также представляется возможным использование аналитических выражений для полей давления и скоростей фильтрации при разработке математических моделей неізотермической фильтрации флюида применительно к задачам термометрии пластов.

**Обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов** соответствует общепринятой в рамках специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов можно оценить как высокие. Достоверность и обоснованность следует из корректности математических постановок задач. Реалистичность полученных решений в частных случаях полно контролируется сравнением с результатами известных исследователей.

По теме диссертации опубликовано 19 научных работ: 1 научная статья в рецензируемом научном издании, входящем в перечень Scopus, 3 научных статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень международных реферативных баз данных и RSCI, 3 научных статьи в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, 12 научных публикаций в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень РИНЦ.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию и выводам, сформулированным в работе.

#### **Замечания по содержанию диссертации.**

1. В главе 2, озаглавленной «НЕСТАЦИОНАРНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ В ПЛАСТЕ С ТРЕЩИНОЙ ГИДРОРАЗРЫВА НЕОГРАНИЧЕННОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ» после формулы (2.7) появляется конечная величина полудлины трещины  $x_f$ , которая используется далее для перехода к безразмерным величинам. Замечу, что в окончательной формуле, полученной в работе, после перехода от безразмерных к размерным величинам, полудлина трещины  $x_f$  исчезает. Однако, на наш взгляд, следовало бы этот момент пояснить подробнее.

2. На рисунке 2.18 представлен график сравнения распределений давления, полученных в ПО Saphir и по формуле (2.62). Под рисунком указано, что 1 – численное решение; 2 – аналитическое решение. Но на графике мы видим лишь одну кривую. Если они в этом масштабе совпадают,

то следовало бы отобразить отличия, показав отдельные участки кривых, отобразив разницу.

3. В диссертационной работе приводятся частные случаи решений, имеющих самостоятельный интерес: глава 3 (стр. 83), глава 4 (стр. 99-100), наличие такого анализа является конечно положительным результатом, однако для лучшего восприятия о каких частных случаях идет речь не хватает схем областей фильтрации. Например, «эта задача описывает плоско-параллельный фильтрационный поток из пласта к галерее или к трещине ГРП бесконечной проводимости при наличии скин-зоны соответственно на галерее или на боковой поверхности трещины».

Высказанные замечания не снижают общую положительную оценку работы в целом.

**Заключение.** Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, и соответствует области исследований научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы (физико-математически науки). Диссертационная работа отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 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.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук (специальность 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы), доцент, профессор кафедры «Информационные технологии и прикладная математика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования Уфимского государственного нефтяного технического университета, г. Уфа, 450062, ул. Космонавтов, д. 1, +79053537801, e-mail: [emi.galiakbar@yandex.ru](mailto:emi.galiakbar@yandex.ru)

*Э.В. Галиякбарова*  
21.09.2023

Галиякбарова Эмилия Вильевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, 450062, ул. Космонавтов, д. 1, +7(347) 242-87-15, e-mail: [kafedra-matematiki@rambler.ru](mailto:kafedra-matematiki@rambler.ru)

Подпись Э.В. Галиякбаровой заверяю  
Специалист по работе с персоналом



*О.А. Дадаян*

Дадаян Ольга Анатольевна