

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу  
Аносовой Елизаветы Петровны  
“Фильтрация флюида в трещине ГРП,  
перпендикулярной к горизонтальной скважине”,  
представленную на соискание учёной степени  
1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

### **Актуальность темы диссертации**

В современной нефтедобывающей отрасли для увеличения дебита добычи углеводородов из коллекторов с низкими фильтрационно-ёмкостными характеристиками применяются различные гидромеханические способы воздействия на углеводородные пласты. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) представляет одну из таких эффективных технологий. Поэтому проблема описания процесса фильтрации вблизи горизонтальной скважины остаётся **актуальной**. Для этого в основном активно используются численные методы. В данной работе Аносовой Е.П., получена аналитическая модель для описания процесса фильтрации в трещине гидроразрыва, а также в окружающей трещину пористой и проницаемой среде. Наличие точных аналитических решений позволяет получить более детальную информацию о давлении вблизи скважины и на её забое, позволяет анализировать продуктивность выработки пластов и определять их коллекторские свойства. Кроме того, точные аналитические решения позволяют тестировать решения, найденные численными методами по другим моделям.

### **Научная новизна**

Построена математическая модель в радиальной постановке в виде интегро-дифференциального уравнения для описания распределения давления в гидроразрывной трещине, перпендикулярной стволу горизонтальной скважины. Учтена фильтрация жидкости через стенки трещины в пористую и проницаемую среду, окружающую трещину. Получены точные аналитические решения для распределения давления жидкости в трещине ГРП с учетом фильтрации флюида через стенки трещины, получены формулы для определения забойного давления и дебита скважины. Получены приближенные решения методом ПССС для распределения давления жидкости в трещине ГРП при повышении давления на

скважине с дальнейшим удержанием постоянного значения и при задании постоянного расхода на скважине.

### **Научная и практическая значимость основных результатов**

Расширены теоретические основы описания нестационарной фильтрации для горизонтальных скважин, пересеченных перпендикулярными трещинами. Установлены качественные и количественные закономерности формирования полей давления в системе «скважина – трещина ГРП – пласт» при различных режимах работы скважины. На основе полученных аналитических решений, соответствующих заданию на забое скважины постоянной депрессии и/или расхода, представляется возможным провести анализ изменения фильтрационно-ёмкостных характеристик призабойных зон скважин, их продуктивности при гидроразрыве пластов и закономерности распространения давления в трещинах. Полученные решения могут служить основой для тестирования алгоритмов расчетов при теоретическом описании процессов фильтрации в пластах с гидроразрывными трещинами по более сложным математическим моделям.

### **Степень достоверности и апробация результатов**

Обоснованность и достоверность результатов обуславливается корректностью физической и математической постановки задачи, применением при разработке математических моделей фундаментальных законов механики многофазных сред и теории фильтрации; получением точных и приближенных решений, непротиворечащих общим гидродинамическим представлениям и находящимся в соответствии с результатами, которые были получены другими исследователями в рассматриваемой области.

### **Содержание диссертационной работы**

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертационной работы составляет 127 страниц, включая рисунки и графики — 31, таблиц — 4 и список литературы, содержащий 152 работы.

**Во введении** раскрыта актуальность темы диссертационного исследования, перечислены цели и задачи, приведены основные положения и результаты исследовательской работы, выносимые на защиту, представлена научная новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость исследований.

**В первой главе** проведён обзор ключевых литературных источников, посвященных изучению технологии гидравлического разрыва пласта, исследованию фильтрации флюида в гидроразрывной трещине и в пористой проницаемой среде, окружающей трещину.

**Во второй главе** даётся постановка задачи и описывается процесс построения математической модели, которая сводится к одному интегро-дифференциальному уравнению, описывающему фильтрацию флюида от скважины по трещине в пласт или из пласта в трещину и скважину. Исследовано распространение гармонических волн давления.

**В третьей главе** рассматривается процесс нестационарной фильтрации флюида к горизонтальной скважине через гидроразрывную трещину, расположенную в пористой и проницаемой среде, перпендикулярно стволу скважины, при задании постоянной депрессии на забое скважины, а также при работе скважины в режиме постоянного расхода.

**В четвёртой главе** получены удобные для практического применения приближенные решения с использованием метода последовательной смены стационарных состояний (ПССС). Проведен сравнительный анализ численных результатов по полученным приближенным решениям с точными теоретическими, которые представлены в предыдущих главах и являются более сложными решениями.

**В заключении** представлены основные результаты, полученные в ходе исследований в рамках работы над диссертацией.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. На рис. 1.3 (стр. 21) радиальная трещина изображена горизонтально, при этом использованы термины для вертикальной трещины: *высота трещины равна ее общей длине*. Далее в работе рассматриваются вертикально расположенные радиальные трещины.
2. На стр. 24 приведена историческая справка по теории фильтрации, начиная с середины XX века, после чего на следующей странице приведены результаты XIX века. Считаю, что подобные сведения логичнее приводить в хронологическом порядке.

3. В таблице 1 (стр. 56) и в последующих задачах пористость пласта и трещины выбрана одинаковой и равной 0,1 при том, что их проницаемости различаются на 5 порядков ( $10^{-15} \text{ м}^2$  и  $10^{-10} \text{ м}^2$  соответственно). Непонятно, чем вызван такой выбор параметров.

На той же странице (рис. 2.3) не приведены обозначения линий.

4. На рис. 2.6 (стр. 60) приведены расчёты с круговыми частотами  $10^{-15} \text{ м}^2$  и  $\omega = 10^{-4}, 10^{-3}$  и  $10^{-2} \text{ с}^{-1}$ , что представляется весьма малой величиной для акустических колебаний. Видно, что это не опечатка, поскольку безразмерная амплитуда колебаний давления для меньших частот ослабевает медленнее с расстоянием до скважины. С другой стороны, при анализе графика рассматривается снижение амплитуды в 10 раз. Логичнее было бы взять указанные числовые значения, но не для круговых частот, а для периода колебаний. Кроме того, имеет смысл рассмотреть снижение амплитуды на 3–4 порядка, что соответствует чувствительности датчиков. Тогда характерные глубины проникновения акустических колебаний окажутся сопоставимы с полученными в расчётах.

5. Выводы по 2-й главе (стр. 62) довольно пространные, использованы такие формулировки как: “изучено”, “проанализировано”. Не приведено, что конкретно показано и установлено.

6. Из рис. 3.2 и 3.3 (стр. 75, 76) не ясен характер зависимости распределения давления в заданной точке пространства от проницаемости и времени соответственно.

7. Из рис. 3.7 (стр. 85) не понятно, каков характер снижения давления от времени для тех точек пространства, через которые уже прошла фильтрационная волна давления. В 4-й главе подобное представление приведено. Так, из рис. 4.8(а) (стр.101) видно, что давление на скважине снижается по логарифмическому закону.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку работы в целом.

### **Заключение.**

Диссертационная работа Аносовой Елизаветы Петровны является завер-

шенной научно-квалификационной работой, имеющей научную новизну и практическую значимость. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК Минобрнауки РФ и международные базы цитирования Web of Science и Scopus. Автореферат верно отражает основное содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Аносова Елизавета Петровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9 - «Механика жидкости, газа и плазмы».

Я, Игошин Дмитрий Евгеньевич, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Аносовой Елизаветы Петровны, и их дальнейшую обработку.

**Официальный оппонент:** профессор кафедры Фундаментальной математики и механики Школы компьютерных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Тюменский государственный университет», кандидат физико-математических наук по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Игошин Дмитрий Евгеньевич

«11» сентября 2024 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», Школа компьютерных наук, кафедра Фундаментальной математики и механики

Адрес: 625003, г. Тюмень ул. Перекопская, 15а, ауд. 203

Тел. +79829174205, Адрес эл. почты: [d.e.igoshin@utmn.ru](mailto:d.e.igoshin@utmn.ru)

Подпись Игошина Д.Е. заверяю,  
Заместитель начальника управления  
по работе с персоналом  
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»



Машинова Н.В.

«11» сентября 2024 г.