

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе

ГБОУ ВО АГНИ

д.т.н. доцент

Д.С. Реченко

\_\_\_\_\_ 2023 г.



## **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (ГБОУ ВО АГНИ) на диссертационную работу Кашапова Дениса Вагизовича на тему «Совершенствование методов гидравлического разрыва пластов баженовской свиты Западной Сибири», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Поддержание деятельности нефтегазодобывающих обществ обеспечивается следующим: открытие новых залежей углеводородов с дальнейшим их вводом в разработку, повышения эффективности разработки эксплуатируемых нефтяных и газовых месторождений. Вторая задача носит сложный характер, так как требует постоянного проведения опытно-промысловых исследований и работ, по реанимации и повторному вводу в эксплуатацию скважин старых фондов, что также требует существенных затрат материальных и научных ресурсов. Таким образом, возрастает доля трудноизвлекаемых запасов, для разработки которых требуется развитие существующих или разработка совершенно новых технологий. Для условий нефтематеринских пород, к которым относится баженовская свита (БС), величина запасов исчисляется миллиардами тонн сырья, что безусловно требует продолжение научных исследований в данном направлении.

Постоянный процесс получения новых данных по проводимым опытным работам и исследованиям требует детализации и уточнения существующих подходов, а также их адаптацию к условиям нефтематеринских пород.

Целью диссертационной работы Кашапова Дениса Вагизовича является совершенствование методов гидравлического разрыва пластов баженовской свиты Западной Сибири. Выработка рекомендаций по разработке залежей баженовской свиты методами многостадийного гидравлического разрыва пласта являются актуальной задачей и стратегической проблемой современной нефтегазодобывающей отрасли РФ.

### **Структура и содержание диссертации**

Представленная диссертационная работа Кашапова Дениса Вагизовича на тему «Совершенствование методов гидравлического разрыва пластов Баженовской свиты Западной Сибири» состоит из введения, шести глав, основных выводов, рекомендаций, списка литературы, который включает 123 наименования. Диссертационная работа изложена на 175 страницах, содержит 23 таблицы и 109 рисунков.

В первой главе представлена классификация нетрадиционных нефтей и залежей, особенности их строения и разработки. Приведены результаты анализа мирового опыта изучения и освоения сланцевых формаций, в мире. Показаны успехи «сланцевой революции» в США. Приведены характеристики баженовской свиты Западно-Сибирской нефтегазовой провинции. Отмечено, что углеводороды (УВ) БС относятся к сланцам, содержащим нефть в системе УВ-содержащих скоплений. Для промышленной разработки БС необходимо горизонтальное бурение скважин с последующим проведением на них операций МГРП.

Во второй главе приведены подходы к проведению операций ГРП на объектах, схожих по строению БС, основанные на использовании больших объёмов маловязкой жидкости гидроразрыва и проппанта. На основе опыта

разработки плотных и сланцевых формаций Северной Америки дизайн ГРП требует обеспечения главной задачи — создания сложной максимально разветвлённой конфигурации трещин с целью увеличения продуктивности скважин, в связи с чем, требуется развитие технологий ГС с МГРП для создания обширной системы трещин.

В третьей главе проведена оценка поведения трещины ГРП в зависимости от технологических параметров обработки и строения пласта. Выбор дизайна обработки, учитывающего высокую хрупкость пласта, позволяет создавать высокоразветвлённую сеть трещин (Stimulated Reservoir Volume (SRV)) при кратном увеличении площади дренирования запасов УВ. Проведено моделирование прогнозной характеристики развития SRV при различных параметрах обработки: изменении вязкости жидкости гидроразрыва и её расхода, массы и типоразмера проппанта. МГРП моделировали на специализированном программном обеспечении, позволяющем рассчитывать развитие SRV — взаимодействие техногенных и естественных трещин. На основании проведённых многовариантных расчётов с варьированием параметров обработки определено, что при уменьшении вязкости используемого флюида происходит увеличение высокоразветвлённой сети трещин за счёт большей способности жидкости ГРП инициировать естественные трещины. Увеличение расхода жидкости разрыва не всегда приводит к росту SRV. При увеличении расхода маловязкой жидкости свыше  $12 \text{ м}^3/\text{мин}$  происходит избыточный рост трещины ГРП по высоте с уменьшением SRV. Подтверждено, что для образования SRV необходимы минимальная анизотропия напряжений пласта и высокая хрупкость пород.

В четвертой главе представлен комплексный подход к планированию проведения операций ГРП на скважинах БС Западной Сибири. По результатам многовариантных расчётов предложен и внедрён оптимальный дизайн проведения МГРП, позволивший увеличить начальный дебит нефти до  $83 \text{ т/сут}$ , относительно ранее пробуренных скважин со стартовым

дебитом 15–20 т/сут.

В пятой главе приведены результаты математического моделирования оседания проппанта в горизонтальном стволе скважин при проведении операций ГРП на маловязкой жидкости. Показано, что факторами, способствующими оседанию проппанта, являются: технологические параметры обработки — малый расход жидкости, проппанты крупной фракции; геометрические размеры скважины — внутренний диаметр НКТ, длина горизонтальной секции скважины. Для проведения математического моделирования использовалась система дифференциальных уравнений двух несжимаемых изотермических несмешивающихся фаз (жидкость–проппант). Численная реализация процесса переноса проппанта по горизонтальной секции скважины проведена с использованием программного комплекса с открытым кодом OpenFOAM, используемого для решения задач механики сплошных сред. По результатам моделирования с варьированием параметров типоразмера проппанта и расхода жидкости рассчитаны границы оседания различных типов проппанта при различных параметрах обработки. Получены следующие зависимости: с увеличением фракции проппанта его оседание происходит ближе к началу ГС в результате возрастания силы тяжести частиц, а также повышения лобового сопротивления большего диаметра частиц; с увеличением концентрации проппанта оседание его частиц происходит ближе к началу ГС за счёт большей объёмной доли проппанта в жидкости

В шестой главе представлена математическая модель описания колебаний забойного давления после остановки насоса основана на модели трещины ГРП Перкинса–Керна–Нордгрена (ПКН), позволяющая проводить расчёт модуля Юнга и геометрических параметров трещины ГРП. Полученные значения модуля Юнга, по разработанной математической модели, достаточно хорошо согласуются с результатами лабораторных исследований керна. Относительная погрешность средних значений модуля Юнга по керновым исследованиям и расчётам по данным колебаний

давления не превышает 10,5 %. Касательно сопоставления результатов геометрических параметров трещины, полученных по данной разработанной методике с расчётами, выполненными в симуляторе ГРП, наблюдается тенденция к линейной корреляции.

Диссертационное исследование выполнено на высоком научно-техническом уровне. Диссертация в полной мере соответствует уровню современных научных публикаций, содержит достаточное количество исходных данных, подробных расчетов с убедительными выводами.

### **Теоретическая значимость**

Автором проведен большой объем расчетов, определены значимые параметры обработки гидроразрыва пласта, влияющие на формирование высокоразветвленной сети трещин, что в конечном счете позволило провести оптимизацию дизайна ГРП для сложнопостроенных, сверхнизкопроницаемых трещиноватых пластов баженовской свиты. Разработана математическая модель течения суспензии маловязкой жидкости с проппантом в горизонтальной секции скважины. Создан алгоритм оценки модуля Юнга пласта и геометрии трещин ГРП по данным, получаемым при проведении тестовых операций ГРП.

### **Практическая значимость**

Разработанный оптимизированный дизайн ГРП с учётом сложного геологического строения БС (наличие естественной трещиноватости, неоднородного поля напряжений) апробирован в промысловых условиях и показал свою эффективность, а именно увеличение стартового дебита скважин относительно результатов ранее проведённых операций ГРП. Результаты разработанной модели течения жидкости гидроразрыва с проппантом позволяют на этапе планирования вносить изменения для предотвращения оседания проппанта в ГС, что способствует значительному снижению рисков осложнений при проведении операций на маловязкой

жидкости. Разработан модуль, позволяющий в автоматизированном режиме оценивать значения модуля Юнга и геометрии трещин.

### **Апробация работы**

Положения и результаты исследования докладывались на научно-технических совещаниях ПАО «Газпром нефть», ПАО «НК «Роснефть» и семинарах ООО «РН-БашНИПИнефть», на XII Научно-практической конференции «Математическое моделирование и компьютерные технологии в процессах разработки месторождений» (Санкт-Петербург, 2019); на XIV Международной научно-практической конференции «Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития» (Сочи, 2019); на XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики (Уфа, 2019).

### **По диссертации имеются следующие замечания**

1. Во второй главе автореферата Рисунок 2 – «Гидравлический разрыв, который изменил все» несет малую смысловую нагрузку.
2. В четвертой главе, важно отметить, что в процессе проведения ГРП вязкость жидкости ГРП изменяется, однако данный факт не учитывался в расчетах, проведенных автором.
3. В шестой главе происходит сравнение геометрий трещин ГРП по модели Planar3D, используемой в симуляторе ГРП с 2D моделью PKN. Такое сравнение является не совсем корректным, т.к. в 2D модели высота трещины ГРП задается постоянной на всей длине трещины ГРП.

Основные материалы диссертационной работы изложены в опубликованных научных трудах достаточно полно, разделы диссертации грамотно и логично взаимосвязаны. Указанные замечания по работе Кашапова Д.В. не снижают общей ценности диссертационной работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне и носят

рекомендательный характер. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки, направленные на совершенствование гидроразрыва пластов баженовской свиты.

### **Соответствие паспорту заявленной специальности**

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 2.8.4. — Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, а именно геолого-физические и физико-химические процессы, протекающие в пластовых резервуарах и окружающей геологической среде при извлечении из недр нефти и газа известными и создаваемыми вновь технологиями и техническими средствами для создания научных основ эффективных систем разработки месторождений углеводородов и функционирования подземных хранилищ газа.

### **Общее заключение**

В целом диссертационная работа Кашапова Дениса Вагизовича «Совершенствование методов гидравлического разрыва пластов баженовской свиты Западной Сибири» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, заключающейся в повышении качества извлечения нефти на баженовской свите. Диссертационная работа полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Соискатель Кашапова Денис Вагизович заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата наук по специальности 2.8.4 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Диссертационная работа Кашапова Д.В. заслушана и обсуждена на расширенном заседании кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Альметьевского государственного нефтяного

института. На заседании присутствовало 10 человек. Результаты голосования: «за» - 10 человек, «против» - 0 человек, «воздержалось» - 0 человек. Протокол № 4 от 29.12.2022 г.

Заведующий кафедрой «Разработки и эксплуатация  
нефтяных и газовых месторождений»  
ГБОУ ВО АГНИ, д.т.н. по специальности  
25.00.17 - Разработка и эксплуатация  
нефтяных и газовых месторождений», профессор

  
Арслан Валерьевич Насыбуллин

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Альметьевский государственный нефтяной институт»  
423450, Республика Татарстан, г. Альметьевск, ул. Ленина, д.2  
Тел.: (8553)31-00-04, (8553)43-88-35;  
E-mail: [alni@rambler.ru](mailto:alni@rambler.ru), [info@agni-rt.ru](mailto:info@agni-rt.ru) Офиц. Сайт: <http://www.agni-rt.ru/>



Подпись Насыбуллина А.В.  
удостоверяется  
Начальник отдела кадров  
АГНИ Норд Нормина С.А.