



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И РАЗРАБОТКИ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ»
(АО «ИГИРГИ»)**

Адрес: ул. Вавилова, д. 25, корп. 1, г. Москва, 117312
Телефон: +7 (495) 989-80-22, e-mail: info@igirg.rosneft.ru
ОКПО 00147022, ОГРН 1107746497374, ИНН/КПП 7736619522/773601001

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Акционерного общества
«Институт геологии и разработки
горючих ископаемых»

Я.Н. Смышляев

«04» Февраля 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института геологии и разработки горючих ископаемых (ИГИРГИ) на диссертацию
Жигульский Светланы Владимировны

«Изучение взаимосвязи между раскрытостью и напряженно-деформированным состоянием трещины на примере трещиноватого коллектора нефти и газа»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность темы диссертационной работы.

Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов углеводородов, в том числе приуроченных к низкопроницаемым трещинным коллекторам, характеризующимся сложной структурой пустотного пространства, требует создания и использования комплексных подходов, позволяющих на основе анализа различных геолого-физических данных об объекте выявлять и прогнозировать участки для размещения высокодебитных скважин. В диссертации С.В. Жигульский рассматривается напряженно-деформированное состояние трещинного коллектора и его взаимосвязь с флюидопроводимостью трещин. В работе предпринята попытка выявить эмпирические связи между геомеханическими параметрами и данными о продуктивности скважин на примере одного из месторождений углеводородов. Наличие таких зависимостей позволяет решить сложную и очень актуальную задачу прогнозирования перспективных для бурения и освоения зон в сложных трещинных коллекторах. Исследуется изменение раскрытости трещины и напряженного состояния в околоскважинном пространстве при использовании различных критериев прочности, что позволяет оценить допустимое давление в скважине для минимизации рисков поглощения бурового раствора в процессе строительства скважины.

Новизна работы состоит прежде всего в том, что впервые предложен подход к оценке раскрытости и критически напряженного состояния системы трещин в околоскважинном пространстве с последующим отображением результатов моделирования на данные пластового микросканера. На примере трещинного коллектора показано, что коэффициент продуктивности скважин находится в некоторой связи с такими геомеханическими параметрами как: результирующее напряжение, длина фрагмента ствола в области критически напряженных трещин и количество критически напряженных трещин. Новым также является проведенный анализ модели Бартона-Бандиса, по результатам которого выявлены основные параметры, которые оказывают значимое влияние на раскрытость трещины. Показано, что модель наиболее чувствительна к изменению таких параметров трещин, как коэффициент шероховатости и прочность на сжатие материала стенки трещины.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что предложенные подходы к оценке критически напряженного состояния и раскрытости трещин позволяют оценить, как зоны перспективные для освоения, так и минимизировать риски, связанные с поглощениями бурового раствора в процессе бурения. Последнее обеспечивается за счет выбора оптимального удельного веса бурового раствора и ориентации скважины по отношению к выявленной системе трещин. По результатам проведенного исследования был зарегистрирован один патент №2728039 (Способ (варианты) и система (варианты) определения траектории бурения скважины) и получено одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021667371 (Программа для выбора оптимального забойного давления в процессе разработки и плотности бурового раствора в процессе бурения на основе расчета активности/проводимости плоскости разрыва (разлома или трещины)).

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 142 страницы, 76 рисунка, 10 таблиц, два приложения, список литературы насчитывает 124 наименования.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, приведены основные результаты и положения, выносимые на защиту. Также приведены сведения о научной новизне, практической и теоретической значимости, апробации результатов и основных публикациях.

Содержание главы I включает аналитический обзор методов оценки напряженного состояния трещины, пласта и стенок скважины. Приводится подробное описание

существующих критериев прочности для трещиноватой породы, анализируется критерий сухого трения и нелинейный критерий прочности трещины на сдвиг (Н. Бартона). Рассматривается модель раскрытости трещины Бартона-Бандиса, а именно методы исследования основных параметров, входящих в модель. Один из выводов проведенного обзора литературы заключается в том, что наибольшая неопределенность состоит в определении коэффициента шероховатости трещины, который участвует в расчете раскрытости по модели Бартона-Бандиса, а также в критерии прочности трещины на сдвиг.

В главе 2 рассмотрено напряженное состояние по различным критериям прочности, которые определяют переход трещины в критически напряженное состояние. Приводятся результаты сравнения критериев при изменении различных параметров. В случае критерия прочности трещины на сдвиг Бартона меняется коэффициент шероховатости трещины, в допустимых пределах, определяемых ранее в работах Бартона, и предел прочности на сжатие материала стенок трещины. Такое сравнение позволило выявить некоторые особенности интерпретации критически напряженного состояния. Отмечается, что применение критерия прочности трещины на сдвиг Бартона выдвигает высокие требования к определению коэффициента шероховатости в лабораторных условиях. На примере трещинного коллектора продемонстрирован подход к оценке критически напряженного состояния трещин на основе имеющихся данных о флюидопроводимости трещин. Приводится описание полученных корреляций между геомеханическими параметрами трещиноватой породы и коэффициентом продуктивности скважин. Сделан вывод о том, что полученные эмпирические связи могут быть использованы для прогноза зон перспективных для бурения и освоения.

Глава 3 включает результаты проведения анализа чувствительности модели Бартона-Бандиса, исследуется влияние входных данных и рассчитываемых на основе эмпирических корреляций параметров на величину раскрытости. Приводится подробное изложение проведенного параметрического исследования критически напряженного состояния и раскрытости системы трещины по результатам построения численной конечно-элементной модели. Показано, как меняется гидравлическое раскрытие с ростом эффективного напряжения для различных значений коэффициента шероховатости. Сделан вывод о том, что модель Бартона-Бандиса может быть применена для оценки раскрытости трещин трещинных коллекторов, но в тоже время характеризуется высокой чувствительностью к входным данным.

В главе 4 приводится описание подхода к оценке критического напряженного состояния (критерий сухого трения и критерий прочности трещины на сдвиг) и раскрытости

трещины или системы трещин в околоскважинном пространстве при условии, что известно напряженное состояние пласта и ориентация трещины или системы трещин. Результаты оценки раскрытости и критически напряженного состояния сопоставляются с данными по пластовому микросканеру. Показана реализация данного подхода на примере вертикальной и горизонтальной скважин, которые вскрыли трещинный коллектор. Даны некоторые рекомендации по использованию полученных результатов для решения практических задач при бурении и разработке таких сложных коллекторов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Практическое использование выявленных в работе связей геомеханических параметров с коэффициентом продуктивности скважин имеет большие перспективы и требует дальнейшего всестороннего изучения и расширения верификации на данных месторождений с трещинным типом коллектора. Целесообразно продолжить работу с целью внедрения предлагаемой методики при геомеханическом сопровождении бурения скважин в трещинных коллекторах (обоснование забойного давления и плотности бурового раствора). Разработанные в диссертации и в предложенном автором патенте решения могут рекомендоваться к использованию в нефтегазодобывающих и сервисных компаниях нефтегазовой отрасли.

Замечания

По работе имеются следующие вопросы и замечания, не снижающие общей ценности и значимости выполненного исследования:

1. Один из ключевых результатов диссертации состоит в выявлении взаимосвязи коэффициента продуктивности скважин с геомеханическими параметрами (числом критически напряженных трещин и длиной продуктивного интервала, проходящего через них), однако в тексте диссертации не указана размерность, в которой представлен коэффициент продуктивности, а на графиках с этими результатами не приводится шкала, что делает выводы менее убедительными.
2. Необходимо более подробно осветить рассматриваемые методы ПГИ и их достоверность и точность для решения исследуемой проблемы выявления трещинных интервалов, определения их проницаемости и продуктивности.
3. В диссертации не описана конечно-элементная модель, на основе которой выполнено геомеханическое моделирование. Помимо этого, следовало бы исследовать влияние размеров расчетных ячеек на точность получаемых результатов и сходимость решения, учитывая, что масштаб трещин и расчетных ячеек различается на несколько порядков. В работе указано, что размеры ячеек

составляли 50x50 м, тогда как раскрытость трещин измеряется долями миллиметров. Также результаты расчета НДС могут оказаться зависящими от количества расчетных ячеек между трещинами.

4. Идея использования данных о флюидопроводимости трещин, выявленных по результатам ПГИ, для решения обратной задачи по уточнению параметров геомеханической модели представляется перспективной, но проработана недостаточно. Фактически предлагается решать ее подбором, проводя многовариантные расчеты по геомеханическому моделированию. Следовало бы указать на некорректность рассматриваемой задачи и неединственность решения, исследовать возможные ограничения, сужающие область поиска, а также остановиться на погрешностях результатов ПГИ, используемых для адаптации геомеханической модели и их влиянии на качество адаптации.
5. На рис. 46-51 представлены результаты экспериментов по начальной жесткости разрыва и максимальному смыканию берегов трещины для разных минералов и различных циклов нагружения. Они были бы более наглядными, если бы по оси ординат использовалась одинаковая шкала.

Заключение

Диссертационная работа Жигульский С.В. «Изучение взаимосвязи между раскрытостью и напряженно-деформированным состоянием трещины на примере трещиноватого коллектора нефти и газа» является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые подходы к оценке критически напряженного состояния и раскрытости трещины и систем трещин в пластовых условиях и в околоскважинном пространстве. Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным исследованием, имеет очевидное прикладное применение для повышения эффективности освоения трещинных коллекторов. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Автореферат диссертации в достаточной степени отражает содержание и суть исследования.

Диссертационная работа соответствует требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней. Диссертационная работа соответствует пунктам 5, 16 и 22 паспорта специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10. – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Отзыв подготовлен начальником отдела научно-технического развития и моделирования, доктором технических наук, профессором Каневской Региной Дмитриевной и главным специалистом отдела научно-технического развития и моделирования, кандидатом физико-математических наук Ялаевым Тагиром Рустамовичем.

Согласна на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки к процедуре аттестации научных работников.

Начальник Отдела научно-технического развития и моделирования, д.т.н, проф.

Р.Д. Каневская

Тел.: +7 (985) 999-28-38
e-mail: r_kanevskaya@igirgi.su
адрес: г. Москва, ул. Вавилова, д.25/1, 117312

Согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки к процедуре аттестации научных работников.

Главный специалист Отдела научно-технического развития и моделирования, к.ф.-м.н.

Т.Р. Ялаев

Тел.: +7 (916) 563-29-56
e-mail: t_yalaev@igirgi.su
адрес: г. Москва, ул. Вавилова, д.25/1, 117312

Диссертационная работа и отзыв обсуждены 04.08.2022 на заседании Научно-технического Совета АО «ИГиРГИ» с приглашением специалистов Управления геологического сопровождения бурения скважин и Управления геологии и разработки Одним из основных направлений научно-производственной деятельности АО «ИГиРГИ» является геомеханическое моделирование, развитие и использование геофизических методов при сопровождении бурения скважин. Отзыв одобрен в качестве отзыва ведущей организации, протокол № ПР-НТС-00008-22.

Ученый секретарь, к.г.-м.н.
Тел.: +7 (909) 990-28-86
e-mail: i_khazina@igirgi.su
адрес: г. Москва, ул. Вавилова, д.25/1, 117312

И.В. Хазина