

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации **Шевцовой Анны Александровны** на тему: «Закономерности поведения трещины гидроразрыва горных пород, инициированной закачкой жидкостей с широким диапазоном реологических свойств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 20 декабря 2023 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС (16.10.2023, протокол № 14).

Диссертация выполнена в центре науки и технологий добычи углеводородов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования "Сколковский институт науки и технологий" (Сколтех).

Научный руководитель – Черемисин Алексей Николаевич, кандидат технических наук, заместитель директора центра науки и технологий добычи углеводородов Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования "Сколковский институт науки и технологий" (Сколтех).

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (16.10.2023, протокол № 14) в составе:

1. Вознесенский Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Физических процессов горного производства и геоконтроля (ФизГео) НИТУ МИСИС – *председатель комиссии*;

2. Винников Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физических процессов горного производства и геоконтроля (ФизГео) НИТУ МИСИС;

3. Коликов Константин Сергеевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой безопасности и экологии горного производства НИТУ МИСИС;

4. Турунтаев Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт динамики геосфер Российской академии наук имени академика М.А. Садовского» (ИДГ РАН);

5. Кузьмин Юрий Олегович, доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по вопросам прикладной геодинамики и мониторинга ответственных объектов, заведующий II отделением «Разведочной геофизики и прикладной геодинамики», заведующий лабораторией №201 «Лаборатория современной и прикладной геодинамики», главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта Российской академии наук» (ИФЗ РАН).

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), отметившее в своём

положительном отзыве актуальность, научную новизну и практическую значимость работы.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований (соответствует пп. 4, 9, 11 паспорта специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»):

1) разработана специальная методика проведения лабораторных экспериментов гидроразрыва в полноразмерном керне ($\varnothing 10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$) и в блоках породы ($25 \text{ см} \times 25 \text{ см} \times 25 \text{ см}$) с обеспечением непрерывного мониторинга параметров роста трещины гидроразрыва тремя независимыми системами наблюдения: датчиками акустической эмиссии, ультразвукового прозвучивания; датчиками осевой и радиальной деформации породы во время роста трещины; датчиками давления и объема жидкости гидроразрыва в псевдо-трехосных и истинно трехосных условиях нагружения;

2) выявлена экспериментально зависимость эффективного давления гидроразрыва от вязкости агента гидроразрыва; более высокое эффективное давление ГРП наблюдалось в экспериментах с закачкой более вязкой жидкости. Наименьшее давление ГРП было зафиксировано при испытании с закачкой жидкого CO_2 ;

3) выявлена экспериментально зависимость раскрытия трещины гидроразрыва от вязкости агента гидроразрыва. Закачка высоковязких жидкостей гидроразрыва обеспечивает большее раскрытие трещины и, как правило, больший объем жидкости был закачан в трещину до того, как трещина достигла поверхности образца;

4) выявлена экспериментально зависимость скорости распространения трещины гидроразрыва от вязкости агента гидроразрыва. Более высокая скорость распространения трещины гидроразрыва была обнаружена в экспериментах с закачкой жидкости низкой вязкости. Самое быстрое распространение трещины было зафиксировано в испытаниях с закачкой CO_2 и дистиллированной воды;

5) экспериментально выявлено, что закачка жидкости гидроразрыва с низкой вязкостью приводит к образованию более извилистых трещин;

6) экспериментально обнаруженная утечка маловязких реагентов должна приниматься во внимание при проектировании закачки таких реагентов в трещиноватые коллекторы.

Теоретическая значимость и новизна исследования заключается: в установлении полученных впервые зависимостей параметров трещины гидроразрыва от вязкости жидкости, инициирующей эту трещину, для исследованных горных пород на разных масштабных уровнях в псевдо-трёхосных и истинно трехосных условиях при использовании жидкостей в широком диапазоне вязкостей от 0.1 сП до 100 000 сП.

Практическая значимость и реализация результатов исследования состоит в разработке методических рекомендаций по оптимизации операций

гидроразрыва пласта на основе полученных в лабораторных условиях результатов экспериментов по инициации трещины гидроразрыва на образцах горных пород. Предложенная автором методика может быть рекомендована к использованию в следующих организациях: ПАО «НК «Роснефть»», ПАО «Газпром нефть», АО «РусВэллГрупп», ООО «Новосибирский Научно-технический Центр», Сибирский филиал АО «ВНИМИ», ООО «Сибирский институт геотехнических исследований», ООО «Геонавигационные технологии» при планировании и проведении лабораторных исследований трещин гидроразрыва, параметры которых необходимы при разработке технических решений и рекомендаций по проведению операций гидравлического разрыва пласта (ГРП) для различных типов горных пород. Результаты диссертации предполагаются к использованию для валидации численных моделей роста трещины гидроразрыва в лаборатории с целью определения оптимальных параметров закачки жидкости.

Достоверность и обоснованность результатов исследований подтверждается:

- применением проверенных современных методик экспериментальных исследований;
- воспроизводимостью и непротиворечивостью полученных данных общим законам физики, теории прочности и акустики, а также ранее опубликованным результатам;
- представительным количеством выполненных экспериментов, полученных с использованием разработанной экспериментальной методики;
- удовлетворительным совпадением результатов обработки и интерпретации геомеханических данных, описывающих параметры трещины гидроразрыва, с результатами регистрации сигналов акустической эмиссии;
- апробацией результатов на международных конференциях.

Личный вклад соискателя состоит в:

постановке цели и задач работы, в сборе и обобщении научно-технической информации, в разработке методик и проведении экспериментов по установлению закономерностей изменения параметров трещины гидроразрыва от вязкости иницирующей жидкости в условиях псевдо-трехосных и истинно трехосных условий нагружен, анализе, обработке и интерпретации полученных данных, в выявлении и объяснении корреляций между параметрами трещины и геомеханическими свойствами исследуемой горной породы, формулировке основных научных положений и выводов диссертации.

Основные положения и результаты работы отражены в 4 рецензируемых научных периодических изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, а также индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Шевцовой Анны Александровны соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней

на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований содержится решение актуальной научной задачи выявления закономерностей изменения параметров трещины гидроразрыва от вязкости иницирующей жидкости в условиях псевдо-трехосных и истинно трехосных условий нагружения, что имеет важное значение для развития методов гидроразрыва массивов горных пород и освоения ресурсов Земли в целом.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Шевцовой Анны Александровне ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовало: за 5 человек, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель Экспертной комиссии



А.С. Вознесенский

20.12.2023