

Министерство науки и высшего
образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки

ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА
ИМ. Н.А. ЧИНАКАЛА
Сибирского отделения
Российской академии наук
(ИГДСОРАН)

Красный просп., д. 54, Новосибирск, 630091
Телефон/факс (383) 205-30-30
E-mail: mailigd@misd.ru, <http://www.misd.ru>
ОГРН 1035402457683, ИНН 5406015367

19.11.2024 № 658/61-39-29

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Директор Федерального

государственного
бюджетного учреждения науки

Институт горного дела

имени Н.А. Чинакала Сибирского

отделения
Российской академии наук

к.т.н. Хмелинин А.П.

19 ноября 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт горного дела имени Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук» на диссертационную работу Баркова Святослава Олеговича «Геомеханическое моделирование механических и фильтрационных процессов в низкопроницаемых нефтегазовых пластах в условиях сложного нагружения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела»

Актуальность темы диссертации.

Обоснование технологий разработки месторождений углеводородов, интерпретация данных геофизических исследований скважин для оценки коллекторских свойств пород и выявления продуктивных интервалов, обоснование методов и создание технических средств повышения продуктивности скважин – вот далеко не полный перечень проблем, решение которых невозможно без достоверной и полной информации о фильтрационно-емкостных свойствах (ФЕС) нефтяных и газовых пластов.

Уменьшение объема разведанных запасов, истощение действующих нефтегазовых залежей приводит к необходимости разработки месторождений с трудноизвлекаемыми запасами (ТРИЗ), в которых содержится до 65% всех разведанных запасов нефти России. При этом в низкопроницаемых породах находятся примерно две трети ТРИЗ. Их добыча с помощью традиционных технологий невозможна или нерентабельна, поэтому необходимы поисковые исследования в области геомеханики и флюидодинамики, направленные на выявление новых закономерностей процессов деформирования и массообмена в

низкопроницаемых средах, что может стать научной основой технологий извлечения ТРИЗ.

Диссертационная работа посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию деформационных и фильтрационных свойств низкопроницаемых пород-коллекторов в неравнокомпонентном квазистатически изменяющемся поле напряжений для выявления условий, позволяющих целенаправленно варьировать транспортные характеристики околоскважинного пространства и увеличивать флюидоотдачу скважин. Поэтому *актуальность* темы диссертации не вызывает сомнений.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из Введения, Основной части из пяти глав, Заключения и списка литературы; изложена на 150 страницах, включает 42 рисунка, 4 таблицы и список цитируемой литературы из 186 наименований.

Во *Введении* обоснована актуальность исследований, сформулированы цели работы и поставлены задачи, решение которых необходимо для достижения целей, излагается научная новизна и практическая ценность полученных результатов.

В *первой главе* проведен обзор основных публикаций по аналитическому и численному моделированию деформационных и массообменных процессов в пороупругих и пороупругопластических средах и горных породах. Кратко описаны экспериментальные установки для лабораторного исследования процессов массопереноса в геосредах, находящихся в сложном напряженном состоянии, указаны основные преимущества и недостатки таких установок.

Во *второй главе* в рамках изотропной пороупругой модели с использованием известных решений задач Ламе и Кирша проведен теоретический анализ распределения напряжений в окрестности скважины при различной геометрии прискважинной зоны: открытый ствол скважины (G1); необсаженная (G2) и обсаженная (G3) скважины с перфорационными отверстиями.

В *третьей главе* описаны объекты изучения и экспериментальное оборудование, изложены методики трехосных механических испытаний и ультразвукового исследования кубических образцов пород, а также процедуры физического моделирования деформационных и фильтрационных процессов в окрестности скважин с различной геометрией (G1 - G3) при понижении давления на забое.

В *четвертой главе* описаны принципы рентгеновской компьютерной томографии и микротомограф ProCon X-Ray CT-MINI, а также процедура томографических исследований: подготовка и сканирование образца, реконструкция 3D модели, обработка данных, численное моделирование фильтрации с использованием построенной цифровой модели для оценки трещинной проницаемости.

В *пятой главе* описаны результаты проведенных комплексных экспериментальных исследований образцов горных пород-коллекторов Верхневелиючанского НГКМ и Астраханского ГКМ.

В *Заключении* сформулированы основные результаты и выводы.

Научная новизна проведенных исследований и полученных результатов

Научная новизна работы заключается в теоретическом обосновании и реализации в лабораторных условиях *предложенной идеи* контролируемого воздействия на призабойную зону пласта для целенаправленного изменения фильтрационных свойств низкопроницаемых коллекторов. Для этого проведен цикл *оригинальных исследований*, основными этапами которого являются:

- теоретический анализ (в рамках пороупругой модели) полей напряжений, возникающих при реализации технологий вскрытия и эксплуатации скважин, для типичных конфигураций G1 - G3 околоскважинного пространства;

- лабораторные эксперименты на уникальной установке ИСТНН по определению в условиях сложного напряженного состояния деформационно-прочностных и фильтрационных свойств пород-коллекторов, а также вариаций последних при квазистатическом изменении напряжений;

- численный анализ процессов массопереноса в исследуемых образцах на основе построенной по данным рентгеновской компьютерной томографии 3D модели, который позволил количественно оценить проницаемость в условиях, соответствующих таковым при механических испытаниях;

- комплексный анализ результатов деформационных и фильтрационных экспериментов, позволивший разработать схему воздействия на призабойную зону пласта для увеличения проницаемости.

Оценка научной и практической значимости результатов

Представляется, что практическая значимость результатов работы состоит в:

- обоснованной методике воздействия (закрывающегося в создании заранее определенного напряженного состояния) на призабойную зону нефтегазоносного пласта, которое позволит повысить проницаемость;

- установлении эмпирических зависимостей проницаемости от напряжений для рассмотренного типа пород-коллекторов, которые могут быть использованы, например, для оценки дебита скважин;

- накопленной информации о деформационно-прочностных и фильтрационных свойствах исследуемых типов пород, необходимых для параметрического обеспечения геомеханических и гидродинамических моделей, используемых при обосновании технологий добычи углеводородов.

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций обеспечена: использованием апробированных моделей механики

сплошных сред, корректностью постановки краевых задач, использованием сертифицированных программных средств и лабораторного оборудования с высокими метрологическими характеристиками, достаточным объемом проведенных экспериментов, а также непротиворечивостью полученных результатов и их сходимостью с данными аналогичных исследований независимых авторов.

Публикации и соответствие автореферата диссертационной работе

Диссертация соответствует специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела», ее содержание и основные результаты в достаточной мере отражены в 9 статьях в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и журналах, индексируемых в системе Scopus. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Замечания и вопросы

По тексту диссертации имеются следующие вопросы и замечания.

1. При теоретическом обосновании исследований принята гипотеза Гейма о гидростатическом поле внешних напряжений в окрестности скважины (горное давление q). От этого параметра и зависят все напряжения. Между тем, во многих нефтеносных провинциях превалирует взбросовый геодинамический режим, когда горизонтальные напряжения во внешнем поле больше вертикальных. Как надо видоизменить модель для учета неравнокомпонентности внешнего поля напряжений?
2. При рассмотренных типичных конфигурациях G1-G3 в околоскважинном пространстве возникает сложное объемное напряженное состояние даже при гидростатическом поле внешних напряжений. Почему для обоснования программы экспериментов используются простые одномерная (задача Ламе) и плоская (задача Кирша) модели? Это необходимо пояснить.
3. Гидродинамическое моделирование в рамках моделей Стокса и Навье-Стокса с использованием коммерческого симулятора позволило оценить «трещинную проницаемость». Анализировалась ли при этом матричная проницаемость? В тексте диссертации ничего не сказано о трещиновато-пористых моделях сред.
4. Известно, что проницаемость трещин существенно зависит от величины нормальных к их плоскости напряжений. Позволяют ли полученные результаты установить эту зависимость?
5. В тексте диссертации встречаются грамматические ошибки и стилистические неточности (например, стр. 5, 24, 38).

Заключение по диссертации

Диссертационная работа Баркова Святослава Олеговича «Геомеханическое моделирование механических и фильтрационных процессов в низкопроницаемых

