ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Дубини Никиты Владиславовича «Прямые и обратные задачи изучения естественной трещиноватости методами геомеханики», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9 — Геофизика

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Н.В. Дубини направлена на создание комплекса математических моделей и алгоритмов для исследования естественной трещиноватости горных пород геомеханическими методами. Актуальность выбранной темы сомнений не вызывает и обусловлена двумя основными обстоятельствами.

Во-первых, естественная трещиноватость представляет собой одну из ключевых характеристик пород-коллекторов углеводородов. Она определяет их фильтрационно-емкостные свойства, направление и интенсивность фильтрации флюидов, а также механическое поведение массива. Достоверный прогноз пространственных ориентаций, плотности и флюидопроводимости трещин имеет критическое значение для решения практических задач разработки месторождений: оптимизации траекторий бурения, расчета устойчивости ствола скважины, проектирования гидроразрыва пласта, прогноза пескопроявления и проседания земной поверхности.

Во-вторых, применяемые в настоящее время методы оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород по данным о трещиноватости имеют ограниченные области применения и, как правило, опираются на существенные априорные допущения о виде тензора напряжений и реологических свойствах среды. В рецензируемой работе предложен принципиально иной подход, позволяющий восстанавливать компоненты тензора напряжений без априорных предположений о его виде, что создает новые возможности для повышения достоверности геомеханических моделей.

Таким образом, тема диссертации лежит на пересечении фундаментальных проблем механики деформируемого твердого тела, геофизики и прикладных задач нефтегазовой отрасли, что делает ее безусловно актуальной.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в разработке принципиально нового алгоритма построения динамической модели естественной трещиноватости. Этот алгоритм позволяет на основе результатов геомеханического и гидродинамического моделирования осуществлять вероятностный прогноз положений, пространственных ориентаций и флюидопроводимости естественных трещин сдвига. В отличие от известных подходов, предложенная модель является динамической, то есть дает возможность исследовать эволюцию параметров трещиноватости по мере изменения НДС массива.

Кроме того, в работе впервые предложен подход к совместной реконструкции параметров напряженного состояния среды (без априорных предположений о его виде) и отдельных ее реологических свойств на основе данных о флюидопроводимости естественных сдвиговых трещин. Это представляет собой значительный шаг вперед по сравнению с традиционными методами, требующими задания вида тензора напряжений.

Анализ содержания работы

Диссертация включает введение, семь глав, заключение и приложение. Работа условно разделена на две части: главы 1–4 посвящены прямым задачам (прогноз свойств трещиноватости по данным о НДС), главы 5–7 — обратным задачам (реконструкция НДС и свойств среды по данным о трещинах).

В первой главе представлен обзор существующих подходов к построению моделей трещиноватости, обоснована необходимость комплексирования статистических, петроупругих и геомеханических методов.

Вторая глава посвящена разработке математической модели неупругого деформирования горной породы с использованием неассоциированного закона пластического течения с упрочнением по углу внутреннего трения. Модель позволяет определять положения и пространственные ориентации трещин сдвига, а также оценивать интенсивность трещиноватости с учетом индекса хрупкости. Корректность модели подтверждена лабораторными экспериментами на псевдотрехосное сжатие с ультразвуковым сканированием образцов.

Третья глава посвящена анализу флюидопроводимости естественных трещин в текущем поле напряжений. На основе критерия сухого трения (неравенство Кулона) найдено аналитическое решение, позволяющее для известного тензора напряжений определить все возможные пространственные ориентации флюидопроводящих трещин. Предложен параметр S_{crit}, характеризующий относительное количество критически напряженных

трещин, и его вероятностный аналог P_{fr}, учитывающий статистический закон распределения трещин по ориентациям. Рассмотрены тренды флюидопроводимости на разных глубинах, в околоскважинной зоне и в окрестностях крупных разломов.

Четвертая глава представляет алгоритм объединения разномасштабных геофизических данных и геомеханического моделирования для построения модели трещиноватости. Приведен пример применения к реальному месторождению углеводородов.

Пятая глава посвящена постановке обратной задачи для одномерного случая. Предложена авторская слоистая модель реконструкции профилей горизонтальных напряжений, учитывающая контраст упругих модулей слоев. Сформулировано защищаемое положение №4.

Шестая глава содержит оригинальный алгоритм реконструкции параметров напряженного состояния и коэффициента трения по данным о флюидопроводимости естественных трещин. Алгоритм основан на сопоставлении критически напряженных и фактически флюидопроводящих трещин, выделенных по геофизическим исследованиям скважин. Проведен анализ чувствительности решения к зашумлению данных.

Седьмая глава демонстрирует применение разработанного подхода к реальным данным: исследовательские скважины в зоне субдукции желоба Нанкай (Япония), геотермальное поле Ротокава (Новая Зеландия) и нефтегазовое месторождение Республики Татарстан. Результаты реконструкции напряжений сопоставлены с независимыми оценками по вывалам и давлению закрытия трещин гидроразрыва, что подтверждает корректность подхода.

Практическая значимость

Практическая значимость работы сомнений не вызывает. Разработанные алгоритмы и подходы могут быть напрямую использованы для повышения безопасности и эффективности освоения и разработки месторождений углеводородов, сложенных породами-коллекторами с развитой естественной трещиноватостью. Результаты реконструкции напряжений применимы для оптимизации траекторий бурения, расчета устойчивости ствола скважины, прогноза пескопроявления, дизайна гидроразрыва пласта, прогноза наведенной сейсмичности и проседания земной поверхности.

Отдельно следует отметить, что работа доведена до практического внедрения: результаты используются в практике освоения и разработки месторождений углеводородов.

Достоверность результатов

Достоверность результатов обеспечивается использованием строгих математических методов, проведением контрольных лабораторных экспериментов на образцах горных пород, а также сравнением результатов применения разработанных подходов с независимыми оценками напряжений геофизическими методами. Основные результаты работы опубликованы в 39 статьях, из которых 21 входят в перечень рецензируемых научных журналов из списка ВАК, и прошли строгую экспертизу в отечественных и международных журналах с высоким индексом цитирования. Результаты докладывались на многочисленных российских и международных конференциях.

Замечания

При общей высокой оценке работы следует отметить несколько замечаний:

1. В автореферате недостаточно подробно освещен вопрос о влиянии погрешности определения упругих модулей слоев на точность реконструкции профилей напряжений в рамках слоистой модели (глава 5). Хотелось бы видеть более детальный анализ чувствительности.

2. При описании алгоритма реконструкции напряжений по данным о трещиноватости (глава 6) не вполне ясно, как выбирается пороговое значение целевой функции R_{crit} в случае ограниченного объема данных. Предложенный в главе 7 способ (минимизация разницы между модовым значением и независимой оценкой) требует наличия независимой оценки, что не всегда возможно.

3. В автореферате упоминается, что решение обратной задачи может быть сформулировано в терминах математической статистики с корректным учетом неоднозначности. Однако не приведены количественные оценки области эквивалентных решений для различных геологических условий.

4. Термин «идеальная порода» при описании нормировки индекса хрупкости (глава 2) требует более четкого определения в контексте работы.

Указанные замечания не снижают общей высокой оценки работы и носят дискуссионный характер.

Заключение

Диссертационная работа Дубини Никиты Владиславовича «Прямые и обратные задачи изучения естественной трещиноватости методами геомеханики» представляет собой завершенное научное исследование, в котором решена крупная научная проблема, имеющая важное фундаментальное и прикладное значение. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9 — Геофизика.

Подпись
Пятахин Михаил Валентинович
Адрес: 142717, Московская область, г.о. Ленинский, п. Развилка, ул. Газовиков, зд. 15, стр. 1.
Телефон: +7 498 657 4206
Электронная почта: M_Pyatakhin@vniigaz.gazprom.ru
Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)
доктор физико-математических наук,
Главный научный сотрудник Отдела проектирования и анализа эксплуатации ПХГ в ЦФО

«_15» _сентября__ 2026 г.

Подпись Пятахина М.В
удостоверяю
Зам. начальника
отдела Волкова Е.А

УПРАВЛЕНИЕ ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ
ОТДЕЛ КАДРОВ И ТРУДОВЫХ ОТНОШЕНИЙ