

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Дубини Никиты Владиславовича
**«Реконструкция профилей горизонтальных напряжений на основании
скважинных исследований трещиноватости»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических
наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых

Диссертационная работа Н.В. Дубини посвящена разработке нового метода оценки напряженного состояния пород в околоскважинном пространстве на основе расширенного комплекса геофизических исследований скважин и анализа трещиноватости.

Актуальность диссертационного исследования обусловлена необходимостью создания новых методов и подходов к интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) для определения тензора напряжений, так как существующие методы реконструкции профилей главных напряжений могут быть применены лишь в ограниченном числе случаев. В условиях, например, безаварийного бурения оценка главных напряжений в рамках существующих моделей приводит к введению большого числа дополнительных параметров и неустойчивости решения по отношению к зашумлению входных данных.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 106 наименований и содержит 144 страницы текста, 52 рисунка и 1 таблицу. Большинство рисунков хорошего качества и по необходимости они выполнены в цвете, что существенно улучшает восприятие материала. Диссертация написана в научном стиле понятным языком.

Во введении обсуждаются вопросы актуальности работы, цели и задачи, новизна исследования, личный вклад автора. Представлено три защищаемых положения, которые удовлетворяют требованиям ВАК по новизне и обоснованы материалами проведенных исследований.

В первой главе диссертации представлен обзор некоторых проблем, возникающих при разработке месторождений, и показано, что для решения многих задач геомеханики месторождений углеводородов необходима корректная оценка величины горизонтально направленных главных напряжений. Представлены основные методы интерпретации данных ГИС для реконструкции профилей главных напряжений. Установлено, что по данным существующих прямых методов измерения параметров напряженно-деформированного состояния задача реконструкции профилей главных напряжений является некорректной, а её решение представляет собой класс эквивалентных решений, определяемый линейной комбинацией двух независимых параметров. Этот вывод составил первое защищаемое положение.

Во второй главе представлены основы развиваемого подхода к решению задачи восстановления горизонтальных главных напряжений и алгоритм решения обратной задачи. В основе предложенного метода лежит гипотеза (предположение) о связи между критически напряженными и флюидопроводящими трещинами. На основе обзора результатов предыдущих исследований определены пределы применимости гипотезы о существовании связи между критически напряженными и флюидопроводящими трещинами, т.е. предположения о том, что если трещина находится в критически напряженном состоянии, то ее флюидопроводимость достаточно высока. Также предполагается, что в описываемых средах сохраняется линейная связь между напряжениями и деформациями.

В этом разделе формулируются прямая и обратная задачи реконструкции профилей главных напряжений по данным о флюидопроводимости трещин пород околоскважинного пространства. Представлен общий алгоритм решения обратной задачи, который включает 4 этапа. Важным является то обстоятельство, что на первом этапе первичный анализ микроимиджей позволяет определить азимут максимального горизонтального напряжения, что в совокупности с предположением о субвертикальности одной из главных осей, полностью определяет ориентацию главных осей эллипсоида напряжений. Автор демонстрирует, что при дальнейших итерациях чрезвычайно удобным является использование интегрального параметра – доли проводящих трещин – который может быть рассмотрен как функция двух независимых переменных: горизонтальных деформаций и отношений горизонтальных напряжений к вертикальным. Апробация решения обратной задачи на синтетических данных с единичным точечным результатом прямого измерения минимального горизонтального напряжения показала возможность практически точного восстановления профиля минимальных горизонтальных напряжений, а неопределенность восстановления максимальных горизонтальных напряжений по сравнению с известными методами снижена примерно в шесть раз.

Третья глава посвящена применению разработанного метода для реконструкции профилей главных напряжений без привлечения дополнительных методов оценки напряжений. Подробно описан полигон напряжений – ограниченная область допустимых значений на координатной плоскости σ_h $O\sigma_h$ (координатные оси – минимальное σ_h и максимальное σ_h горизонтальные напряжения). Показано, что анализ только трещиноватости позволяет в рамках разработанного подхода дать предварительную оценку значений управляющих параметров, значительно сужая область допустимых значений по сравнению с оценкой, выполненной только по критерию разрушения. Применение разработанного метода реконструкции профиля главных напряжений вдоль скважин месторождения России только по данным трещиноватости демонстрирует высокую эффективность предлагаемого подхода. А проведенная реконструкция профиля напряжений на скважине одного из месторождений

Сербии при условии дополнения данного метода прямыми измерениями минимального горизонтального напряжения по данным миниГРП позволило существенно снизить неопределенность в реконструируемых профилях напряжений до нескольких МПа.

В четвертой главе представлена модификация разработанного метода, которая позволяет использовать меньшее количество входных данных для реконструкции профилей горизонтальных напряжений. С помощью модифицированного метода автором выполнена реконструкция профилей горизонтальных напряжений для исследовательской скважины, расположенной в районе желоба Нанкай.

В начале главы достаточно подробно обсуждены недостатки, вытекающие из основополагающей гипотезы связи флюидопроводящих и критически напряженных трещин, и представлен новый метод классификации трещин на основе математического аппарата теории вероятности. Модифицированный подход реконструкции профилей горизонтальных напряжений по скважинным исследованиям трещиноватости, использованный при обследовании исследовательской скважины С002, был верифицирован в интервалах глубин, где существуют независимые оценки параметров напряженного состояния. Его применение позволило провести оценки горизонтальных напряжений на глубинах, где достигнут режим безаварийного бурения.

В качестве основного результата диссертационного исследования следует отметить разработанный автором новый метод реконструкции профилей главных напряжений на основе данных о трещиноватости породы приконтурной зоны скважины. Отдельного внимания заслуживает проведенная реконструкция профиля главных напряжений исследовательской скважины в районе Нанкайского желоба, позволившая сделать заключения о значениях горизонтальных напряжений на глубинах, где был достигнут режим безаварийного бурения.

Разработанный подход позволяет существенно повысить достоверность определения величин горизонтальных напряжений с использованием данных скважинных наблюдений, основывающийся на анализе трещиноватости пород. Полученные в диссертации результаты имеют важное значение для решения практических задач геомеханики месторождений углеводородов.

При несомненно положительном впечатлении, сложившемся у оппонента, следует отметить некоторые замечания:

1. В главе 2 при описании алгоритма решения обратной задачи предполагается, что при определении истинных значений горизонтальных деформаций ε_h и ε_H (рис.2.7) имеется не единственность решения. Стоило бы изложить, как именно привлечение дополнительных исследований (информации о вывалах) позволяет выбрать из полученных вариантов верное.
2. В главе 4, посвященной модификации метода, на стр.114 указано, что используемый (в главе 4) математический аппарат позволяет количественно определить погрешность, вносимую при разделении трещин на классы по

признаку критической напряженности, что подразумевает определение значений главных напряжений с определенной вероятностью. Однако из текста остается неясным была ли определена точность и доверительная вероятность выполненных оценок главных напряжений.

3. В тексте имеется некоторое количество опечаток и неточностей: 1) на стр. 26 написано, что для полного описания напряженного состояния среды необходимо определить пространственные распределения 6 параметров, однако далее идет перечисление только 5 параметров; 2) из текста на стр. 92 и рис. 3.12 следует, что коридор допустимых значений минимального горизонтального напряжения лежит в области более высоких значений напряжений, нежели максимальные горизонтальные напряжения; 3) в заключении говорится о четвертом защищаемом положении, хотя во введении и автореферате представлены только 3 защищаемых положения.

4. Судя по тексту диссертации, первое защищаемое положение не прошло достаточной апробации, т.к. изложено лишь в одной работе, представляющей собой тезисы конференции.

5. Бросается в глаза некоторая небрежность в оформлении диссертации: 1) Для определения напряжения используются как "Паскали (Па)", так и внесистемные единицы "атмосфера (атм)"; 2) При формулировке вероятностной модели при описании модифицированного метода допускается некорректное использование таких слов, как "около", "порядка", "с достаточно высокой точностью". Использование понятийного аппарата теории вероятности предполагает строгое определение значений величин. Кроме того, вероятность является безразмерной величиной, изменяющейся в диапазоне $[0, 1]$ и является некорректным написанием "с вероятностью около 70 %" и т.д.

Сделанные замечания не снижают положительного впечатления от работы. Диссертационная работа Н.В. Дубини является законченным исследованием, оформленным в соответствии с требованием ВАК и выполненным на высоком научном уровне. Работа выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение задачи, имеющей существенное значение для геофизики - реконструкции профилей горизонтальных напряжений по данным скважинных исследований трещиноватости. Разработанный метод оценки горизонтальных напряжений может найти применение как при решении практических (бурение и эксплуатация скважин при разработке месторождений), так и фундаментальных (оценка пространственного распределения главных напряжений на больших глубинах) задач.

В автореферате диссертации в достаточной для ознакомления степени изложено содержание всех материалов работы. Все материалы, привлеченные автором из других источников, сопровождаются корректными ссылками.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842) для ученой степени

кандидата наук, а её автор Дубиня Никита Владиславович достоин присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент

Остапчук Алексей Андреевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории деформационных процессов в земной коре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер Российской академии наук (ИДГ РАН).

Я, Остапчук Алексей Андреевич, даю свое согласие на обработку персональных данных и их включение в документы, связанные с работой диссертационного совета.

23 ноября 2018 года

А. А. Остапчук

Адрес организации: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, дом 38, корпус 1, тел.: +7 (495) 939 75 11, e-mail: ostapchuk@idg.chph.ras.ru

Личные подписи к.ф.-м.н. А. А. Остапчука заверяю.

Ученый секретарь ИДГ РАН

доктор геолого-минералогических наук

Н. В. Болдовский

