

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ)
имени И.М. Губкина», д.т.н., профессор

Мурадов А.В.



« » ноября 2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе
Дубини Никиты Владиславовича

«Реконструкция профилей горизонтальных напряжений на основании скважинных исследований трещиноватости», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Актуальность темы выполненной работы обусловлена ролью геомеханических процессов на всех стадиях изучения, освоения и разработки нефтегазовых месторождений. Особую важность учет этих процессов приобретает для сложнопостроенных залежей трудноизвлекаемых запасов, осложненных разломами и трещиноватостью, для глубоких скважин, а также для прогноза эволюции трещиноватости и фильтрационно-емкостных свойств в процессе разработки.

Основной упор в работе сделан на оценку напряженно-деформированного состояния с использованием данных геофизических исследований скважин.

Цель и задачи исследований

Основной целью представленной диссертационной работы является развитие методов оценки параметров напряженно-деформированного состояния горных пород, находящихся в окрестности скважины. Для достижения этой цели автором были решены следующие задачи:

- 1) Анализ современного состояния методов оценки напряжения по скважинным данным, определение их точности и пределов применимости;
- 2) Математическая формулировка обратной задачи реконструкции профилей главных напряжений вдоль траектории скважины по данным интерпретации ГИС; нахождение класса эквивалентных решений этой некорректной задачи, определяемого линейной комбинацией двух независимых параметров;
- 3) Формулировка подхода к реконструкции профилей главных напряжений на основании скважинных исследований трещиноватости. Апробация сформулированного подхода на синтетических данных;

- 4) Применение сформулированного подхода для реконструкции профилей напряжений по данным добывающих и исследовательских скважин реальных месторождений.

Цель диссертации и решаемые задачи соответствуют современным тенденциям геофизических исследований, направленных на анализ напряженного состояния верхних слоев Земной коры по скважинным данным.

Структура работы

Диссертация Дубини Н.В. логично структурирована и состоит из введения, четырех глав и заключения. Основное содержание диссертации изложено на 144 страницах, 52 рисунке и 1 таблице.

Во введении автор дает общую характеристику работы: обосновывает актуальность темы и основные направления исследований, формулирует цель работы, научную новизну, свой личный вклад, теоретическую и практическую значимость, защищаемые положения.

Первая глава состоит из двух основных частей. В первой части описываются прикладные задачи геомеханики месторождений углеводородов, для которых может потребоваться реконструкция профилей напряжений. К этим задачам автор относит: расчет устойчивости ствола скважины, гидроразрыв пласта и эволюцию фильтрационно-емкостных свойств флюидонасыщенных пород в ходе разработки месторождения. Вторая часть первой главы посвящена обзору существующих методов оценки тектонических напряжений с помощью скважинных исследований. Соискатель разделяет эти методы на прямые и косвенные. Среди косвенных методов выделяются анализ вывалов и трещин растяжения, образующихся при бурении; анализ наведенной анизотропии динамических упругих свойств; анализ температурных профилей; оценку деформаций, сброшенных при помещении кернового материала в атмосферные условия. Подробнее всего соискатель описывает анализ вывалов, который наиболее часто используется при построении одномерных геомеханических моделей. К прямым методам оценки напряжений соискатель относит результаты измерений, получаемые при проведении гидроразрыва пласта (ГРП), миниГРП, тестов на приемистость. В главе также описаны два принципиальных подхода к реконструкции горизонтальных моделей – пороупругая модель и кусочно-линейная модель. Классы эквивалентных решений найдены для обеих моделей.

Во второй главе представлена основная концепция подхода к реконструкции горизонтальных напряжений, созданного в ходе выполнения диссертационной работы. В первой части главы описана концепция связи критически напряженных и флюидопроводящих трещин. Сформулирована общая идея решения обратной задачи реконструкции профилей горизонтальных напряжений на основании исследований

трещиноватости: параметры, определяющие профили горизонтальных напряжений, варьируются таким образом, чтобы достичь максимального соответствия между флюидопроводящими и критически напряженными трещинами. Описан алгоритм реконструкции напряжений по этому подходу. Далее этот алгоритм верифицирован на синтетических данных. Было продемонстрировано, что сформулированный соискателем подход к реконструкции напряжений может давать неединственное решение обратной задачи, в то же время показано, что это решение является устойчивым по отношению к зашумлению входных данных.

Третья глава посвящена применению разработанного в диссертационной работе подхода к реконструкции горизонтальных напряжений в различных условиях. В первом разделе главы введен полигон напряжений, позволяющий наглядно представлять результаты реконструкции напряжений на основании скважинных исследований трещиноватости. Приведены результаты реконструкции напряжений на нескольких объектах – по данным, полученным со скважин, разрабатывающим месторождения углеводородов. Описано, каким образом подход может быть модернизирован для случая отсутствия прямых измерений минимального горизонтального напряжения по данным ГРП. Соискатель показывает, что результаты реконструкции напряжений на основании скважинных исследований трещиноватости соответствуют оценкам тех же величин, полученным с использованием других подходов.

В четвертой главе представлены результаты подхода для оценки напряжений в окрестности исследовательских скважин региона желоба Нанкай (Япония). Предложена методика прогноза критически напряженных трещин на основании локальных вариаций эффективных упругих модулей, в основе которой лежат положения теории эффективных сред и результаты экспериментальных работ, выполненных при участии соискателя. Показано, что критически напряженная трещина может вызвать локальный экстремум эффективного упругого модуля, а степень выраженности этого экстремума может быть связана с возможностью трещины быть критически напряженной. Полученный результат позволил автору выполнить реконструкцию напряжений по ограниченному набору входных данных с исследовательских скважин в регионе желоба Нанкай.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты, полученные в данной работе. Результаты исследований отражены в защищаемых положениях и полностью их обосновывают.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением сформулированного подхода к реконструкции напряжений на данных модельных задач,

сравнением полученных соискателем результатов по конкретным объектам с результатами других исследователей, полученными с использованием общепринятых методов.

К основным результатам диссертационной работы, обладающим научной новизной, относятся следующие:

1. Реконструкция профилей главных напряжений вдоль скважин по данным существующих прямых методов осуществляется путем линейной комбинации двух независимых параметров.
2. Снижение неопределённости в определении профилей главных напряжений при анализе критически напряжённых естественных трещин по данным расширенного комплекса ГИС.
3. Определение максимального горизонтального напряжения с помощью использования комплекса методов: полигона напряжений, анализа вывалообразования, изучения естественной трещиноватости и анализа ГРП.

Теоретическая и практическая значимость работы обуславливается созданием подхода к реконструкции напряжений по данным расширенного комплекса ГИС и возможностью связать особенности напряженно-деформированного состояния трещин с их флюидопроводимостью. Созданный подход отличается от уже существующих подходов к оценке напряжений по скважинным данным своей областью применимости, что повышает значимость скважинных исследований для понимания процессов, протекающих в верхних слоях Земной коры.

Несомненная практическая значимость разработанного подхода состоит в возможности оценки напряжений по скважинным данным в условиях безаварийного бурения. Это обусловлено тем, что существующие методы оценки напряжений используют полученные в ходе бурения условия разрушения пород околоскважинной зоны и поэтому неприменимы, если такового не происходит. Подход к реконструкции напряжений, созданный в рамках данной работы, позволит решить многие прикладные проблемы геомеханики месторождений, находящихся на поздних стадиях разработки.

Диссертационная работа Дубини Никиты Владиславовича основана на результатах, полученных в процессе интерпретации имеющихся геофизических исследований скважин. Автором составлены алгоритмы и программные модули, выполняющие все необходимые расчеты, выполнен анализ исходных данных и методики их интерпретации, а также проведена оценка предлагаемых подходов на устойчивость получаемых результатов. Все

материалы, привлеченные автором из открытых источников, сопровождаются корректными ссылками.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Целесообразно продолжить работу в данном направлении с целью улучшения оценки напряженно-деформированного состояния горных пород в окрестности скважины и расширения исследований на горизонтальные скважины, а также с учетом многостадийного гидроразрыва пласта для широкого диапазона различных пористых сред и технологий. Приоритетными направлениями продолжения исследований является оценка эволюции транспортных и упругих свойств в ходе разработки с привлечением дополнительной информации (термометрии, шумометрии и др.). Результаты диссертации могут рекомендоваться к использованию в научно-исследовательских и проектных институтах нефтегазовой отрасли.

Замечания

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

1. Следовало бы провести анализ современных отечественных работ по тематике диссертации, что позволило бы существенно расширить список литературы и пополнить его отечественными исследованиями.
2. В диссертации не указано, что автор разработал программные комплексы, реализующие предложенные алгоритмы, хотя именно это определяет в большой степени практическую значимость работы.
3. Использование предположения о субвертикальности одной из главных осей тензора напряжений существенно ограничивает область применения разработанного в диссертации подхода, не позволяя получать корректные результаты при работе со скважинами, находящимися в окрестности больших разломов.
4. Подход, использованный в главах 2 и 3, основан на гипотезе о связи критически напряженных и флюидопроводящих трещин, которая, как указано соискателем в главе 2, может быть неприменима для некоторых пород. Автором не указаны в явном виде пределы применимости этой гипотезы, однако она используется на конкретных объектах, на которых она, возможно, и не выполняется.

5. В работе малое внимание уделено влиянию на поле напряжений порового давления и его изменения во времени при движении жидкостей. Основой для реконструкции поля напряжений (глава 3) являются скважинные данные, однако не рассматриваются и не анализируются погрешности, вызванные искажениями поля напряжений в околоскважинной зоне, обусловленными изменением порового давления.
6. Задача реконструкции горизонтальных напряжений включает в себя также определение азимута. Знание направлений главных осей горизонтальных напряжений является ключевым при планировании разработки месторождений в низкопроницаемых и трещиноватых коллекторах. Однако в работе этому вопросу уделено крайне мало внимания.
7. Применение вероятностного подхода при описании трещиноватости представляется очень перспективным. Однако в работе (глава 4) он вызывает серьезные вопросы: непонятно, почему выражение (4.1) интерпретируется как вероятность; формула (4.2) подразумевает независимость событий критической напряженности трещин в заданном интервале глубин, хотя, по-видимому, это не так.

Заключение

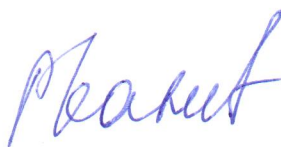
Диссертационная работа Дубини Никиты Владиславовича «Реконструкция профилей горизонтальных напряжений на основании скважинных исследований трещиноватости» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполнена на высоком научном уровне, получены решения новых задач, имеющих важное практическое значение. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Автореферат диссертации в достаточной степени отражает содержание и суть исследования.

Основные результаты диссертации отражены в публикациях различного уровня, в том числе в журналах из перечня ВАК и изданиях, индексируемых в международных системах цитирования SCOPUS и WoS. Работа соответствует паспорту заявленной специальности, требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены 27.11.2018 на научном семинаре кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования с привлечением специалистов

кафедры геофизических информационных систем и кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина». Одним из основных направлений научной деятельности кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования является математическое моделирование месторождений углеводородов, в том числе в области геофизики и геомеханики. Отзыв одобрен в качестве отзыва ведущей организации, протокол № 8.

Заведующая кафедрой
прикладной математики и
компьютерного моделирования
д.т.н., профессор



Р.Д. Каневская

Подпись Р.Д. Каневская заверяю

Начальник
отдела кадров Ю.Е. Ширяев Ю.Е. Ширяев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина»

119991, Москва, Ленинский проспект, д. 65, к. 1.

Телефон: +7(499) 507-8888,

E-mail: com@gubkin.ru

Веб-сайт: <http://www.gubkin.ru>