

ОТЗЫВ

официального оппонента к.ф.-м.н. Ялаева Тагира Рустамовича
на диссертацию Моисеенкова Алексея Владимировича «Геомеханически обоснованный контроль целостности покрышек флюидоупоров при размещении отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. - «Геофизика»

Актуальность темы

Диссертационная работа посвящена решению важной научно-практической задачи утилизации отходов бурения при разработке морских месторождений в сложных климатических и геологических условиях. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения экологической безопасности при освоении нефтегазовых месторождений морских месторождений, в частности, в акватории Сахалина, где требуется комплексный подход к решению проблемы размещения буровых отходов.

Цель и основные задачи исследования

Целью диссертационного исследования является снижение геологических и экологических рисков, связанных с утилизацией отходов бурения и технологических жидкостей при разработке и эксплуатации морских месторождений углеводородов на примере разработки месторождений в акватории острова Сахалин.

Для достижения цели автором поставлены и решены следующие задачи:

1. Обзор современных технологий и методик утилизации отходов бурения и технологических жидкостей в мировой практике; выбор предпочтительной технологии утилизации отходов бурения при разработке месторождений в акватории острова Сахалин. Выявление геологических и экологических рисков реализации технологии размещения отходов бурения и технологических жидкостей в пласты домены, а также описание исследований, снижающих эти риски.

2. Разработка системы геофизического мониторинга состояния пластов-доменов и пластов-флюидоупоров для контроля динамики их состояния в ходе проведения размещения отходов.

3. Создание концептуальной системы принятия решений по условиям размещения отходов бурения и технологических жидкостей, основанной на введении понятий технического и операционного пределов давления и учитывающей данные геофизического мониторинга и результаты одномерного геомеханического моделирования.

4. Разработка упрощенной математической модели процесса размещения отходов в глубоких горизонтах недр, позволяющей прогнозировать изменения состояния пластов-

флюидоупоров при выбранных условиях закачки для оценки геологических рисков и своевременного принятия решений об изменении режима работы скважины.

5. Применение разработанной системы принятия решений и системы геофизического мониторинга на территории с суровыми ледовыми условиями и уникальной природой острова Сахалин - с целью реализации технологии размещения отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр с минимумом геологических и экологических рисков.

Новизна исследования и полученных результатов диссертации

1. Представлена авторская методика сравнения различных методов утилизации отходов бурения и технологических жидкостей, которая может быть адаптирована к различным месторождениям, находящимся на стадии освоения.

2. Сформулированы рекомендации по использованию разномасштабных геофизических исследований для обоснованного выбора пласта-домена и мониторинга его состояния в ходе закачки. Выделены методы, относящиеся к минимальному и оптимальному комплексам исследований. Методологическая база построена на комплексном подходе, включающем геофизический мониторинг, геомеханическое моделирование, системный анализ данных и практическую апробацию.

3. Предложена новая концепция обоснования выбора флюидоупора на основании не только фильтрационно-емкостных, но и геомеханических факторов.

4. Предложена, а затем теоретически и практически обоснована концепция выбора режимов закачки на основании анализа напряженно-деформированного состояния пород околоскважинной зоны.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Практической значимостью обладают предложенные критерии выбора наиболее предпочтительных технологий утилизации отходов бурения и технологических жидкостей с учетом особенностей рассматриваемого объекта, а также рекомендации по проведению минимального и оптимального комплекса геофизических исследований для выбора и мониторинга состояния пласта домена. Применение этих результатов на практике позволят повысить эффективность освоения морских месторождений, а также снизить геологические и экологические риски, связанные с воздействием закачиваемых флюидов на окружающую среду.

Практическая значимость подтверждается применением разработанного подхода на месторождении и его успешной реализацией.

2. Теоретической значимостью обладает рассмотренная автором задача циклической закачки жидкости с нелинейной реологией в зону, расположенную между непроницаемыми пластами с одновременным рассмотрением процессов изменения напряженно-деформированного состояния в окрестности интерфейса между пластами и возможности

развития трещины разрыва или системы таких трещин. Аналогичные задачи, но в отличающихся постановках, рассматривались в задачах механики разрушения, гидродинамики и геомеханики, однако решение сопряженной задачи ранее не было представлено в специализированной литературе.

Личный вклад автора

В ходе исследования соискатель лично:

1. Провел детальный литературный обзор, результаты которого обладают самостоятельной значимостью. На основе собственного экспертного опыта предложил методику сравнения различных методов утилизации отходов бурения и технологических жидкостей;
2. Предложил разработку концепции геомеханического и геофизического контроля состояния пластов флюидоупоров и формирование системы комплексного геофизического контроля их состояния; разработку концептуальной модели операционного и технологического пределов закачки, формулировку упрощенной математической модели установления пределов и прогнозирование наполнения пластов-доменов;
3. Руководил работами по созданию комплекса для отслеживания режимов размещения отходов бурения и технологических жидкостей, оформлением и получением двух патентов, составлению и реализации комплексов геофизических исследований, включающих геофизические исследования скважин (ГИС) и интерпретацию 4D-сеймики для подтверждения концептуальной модели наполнения пластов-доменов и целостности пластов-флюидоупоров.

Обоснованность и достоверность основных положений, результатов и выводов диссертации обусловлена значительным представительством автора на авторитетных международных конференциях, наличием публикаций в рейтинговых журналах. Отдельно выделяются описанные в заключительной главе результаты применения разработанных подходов на практике, в рамках которых их эффективность обоснована фактическими данными геофизического мониторинга.

Краткая характеристика основного содержания диссертации

Диссертация А.В. Моисеенкова состоит из введения, четырех основных глав, заключения и списка использованных источников.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; представляется информация о результатах и научной новизне проведенных исследований; формулируются основные положения, выносимые на защиту; характеризуется теоретическая и практическая значимость работы; приводится информация о личном вкладе диссертанта и апробации работы.

В первой главе представлен литературный обзор существующих подходов к утилизации отходов бурения и технологических жидкостей. Описаны плюсы и минусы 11 существующих

подходов к решению этой проблемы. Среди этих методов выделены три, которые могут быть применены при работе на морских проектах. Предложен подход для сравнения эффективности различных методов и обосновано, что технология закачки отходов в пласты-домены с привлечением дополнительных методов контроля состояния не только самих доменов, но и пластов-флюидоупоров, является предпочтительной для условий морских месторождений, находящихся в северных широтах.

Во второй главе даны основные положения разрабатываемой соискателем технологии утилизации (захоронения) бурового шлама и технологических жидкостей (Cuttings Re-Injection, CRI) путем закачки в глубокие горизонты недр. Кратко описаны теоретические основы методы, далее (в разделе 2.2 и далее) подробно описаны технические операции по реализации указанной технологии. Дана общая схема осуществляемых действий и дано подробное описание тех этапов реализации, которые относятся к вопросам геофизики и геомеханики. Существенный интерес представляет таблица 2.1, перечисляющая различные методы геофизических исследований, используемые для решения двух задач: 1) выбора потенциального домена и 2) мониторинга его состояния и состояния вышележащих пластов-флюидоупоров. Автор представляет принципиальную схему основного положения своего исследования – концепцию барьера напряжений. В рамках этой концепции подразумевается (что полностью согласуется с основными положениями геомеханики месторождений углеводородов), что риск прорыва закачиваемой жидкости в вышележащие пласты связан с разницей минимального горизонтального напряжения в вышележащем пласте и в пласте, в который осуществляется закачка. В ходе закачки происходит изменение напряженно-деформированного состояния пласта-домена, ведущее к росту рисков прорыва трещиной автоГРП его покрышки. Автор описывает комплекс геофизических методов, позволяющих констатировать и прогнозировать условия такого прорыва.

В третьей главе описываются меры, необходимые для предотвращения указанных рисков. Автор отмечает, что методы геофизического контроля в большинстве своем способны констатировать прорыв только пост-фактум, и делает закономерный вывод о том, что необходимо иметь возможность изменять параметры закачки исходя из текущего состояния пласта. Для этого автор предлагает концепцию технического и операционного пределов давления закачки, основанную на напряжениях, действующих в домене и флюидоупоре. Приводится теоретическое обоснование этой концепции в рамках упрощенной теоретической модели, результаты ее применения на качественном уровне согласуются с фактическими данными. Приведен пример мониторинга давления в пласте-домене и расчете потенциальных изменений его состояния для последующего принятия решений об изменении параметров закачки.

Четвертая глава посвящена практической реализации представленных соискателем подходов. Представлена геофизическая информация о нескольких скважинах, описана процедура выбора режима закачки на основании операционного и технического пределов. Далее представлены результаты 4D сейсмического мониторинга, обосновывающие отсутствие прорыва флюидоупора. Результаты, представленные в этой главе в достаточной степени обосновывают основное достижение соискателя: успешное решение задачи утилизации отходов бурения и технологических жидкостей при освоении труднодоступных морских месторождений.

В Заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Замечания по содержанию диссертации

Работа производит позитивное впечатление, однако можно отметить несколько недостатков:

1. В главе 1 таблице 1.1 есть опечатки, Таблица дает общее представление о применимости технологий, но не позволяет учитывать важность отдельных факторов для конкретного объекта (один из факторов может иметь ключевое значение при этом он будет давать столько же баллов, что и другие факторы).

2. В главе 2 значительный объем посвящен базовым принципам работы отдельных методов геофизических исследований, не имеющих прямого отношения к теме диссертационной работы. Такая информация уместна в учебном пособии, однако выглядит избыточной в научно-исследовательской работе. Следовало бы сократить этот объем, оснастив его соответствующими ссылками.

2. В главе 3 представлена теоретическая модель для одной конкретной реологии закачиваемого флюида. Вероятно, автор выбрал реологию исходя из опыта и литературных данных, однако следовало бы привести аналогичные решения для задач с отличными реологиями закачиваемой жидкости. Также в рамках теоретической модели используется ряд серьезных предположений, предлагается рассмотреть возможность обойти такие предположения как радиальный режим потока и неразделение твердой и жидкой фаз закачиваемого агента.

3. В главе 3 дано очень краткое описание построение одномерной геомеханической модели в рамках пороупругого подхода. Однако можно предположить, что специфика рассматриваемых задач требует рассмотрения других моделей, в частности слоистой, в которой скачок напряжений при переходе через интерфейс между слоями определяется их упругими свойствами и напряжением в одном из них. Также нужно отметить, что автор время от времени приравнивает понятия минимального горизонтального напряжения и минимального главного напряжения.

Эти замечания носят в большей степени характер рекомендаций и могут быть учтены при дальнейшем развитии соискателем темы своего исследования. Эти замечания не снижают высокую оценку научного уровня диссертационной работы.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 2 научных работах в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Получены патент на изобретение № 2819034 и патент на промышленный образец № 140105. Основные результаты исследований были представлены на семинарах ИФЗ РАН, а также на ряде международных и всероссийских конференций.

В целом диссертация Моисеенкова Алексея Владимировича является законченной научно-квалификационной работой, основные результаты которой в должной мере отражены в научных публикациях в изданиях из перечня ВАК и прошли апробацию на международных и российских конференциях. Научные положения и выводы обоснованы в достаточной степени, достоверность защищаемых положений и результатов не вызывает сомнений.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Моисеенков Алексей Владимирович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 - «Геофизика».

Я, Ялаев Тагир Рустамович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Главный специалист отдела научно-технического развития и моделирования
Акционерного Общества «Институт геологии и разработки горючих ископаемых»
(АО «ИГирГИ»)

кандидат физико-математических наук

Ялаев Т.Р.

3 октября 2025 года

Почтовый адрес: ул. Вавилова, 25 к. 1, Москва, Россия, 109472.

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ПО ПЕРСОНАЛУ

и СОЦИАЛЬНЫМ ПРОГРАММАМ
телефон: +7 (495) 989-80-22 доб.:1104, e-mail: YalaevTR@igirgi.rosneft.ru

БОРИСОВА Л.С.