

ОТЗЫВ

**официального оппонента д.т.н. Карева Владимира Иосифовича
на диссертацию Моисеенкова Алексея Владимировича «Геомеханически
обоснованный контроль целостности покрышек флюидопоров 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»**

Диссертация А.В. Моисеенкова посвящена вопросам использования геофизических методов контроля и геомеханического моделирования для снижения рисков при утилизации бурового шлама и технологических жидкостей в ходе освоения шельфовых месторождений нефти и газа. Соискатель представляет обзор существующих методов решения проблемы утилизации; обосновывает предпочтительность метода размещения отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр для условий шельфа острова Сахалин; предлагает комплекс методов геофизических исследований для выбора и контроля состояния вмещающего массива пород; формулирует концепции технического и операционного пределов давления при закачке; описывает феноменологическую и теоретическую модели развития механических процессов при закачке; подтверждает успешность разработанных подходов практикой их применения на практических случаях.

Актуальность темы исследования связана с тем, что разработанные А.В. Моисеенковым подходы и методики повышают эффективность освоения и разработки шельфовых нефтегазовых месторождений, играющих существенную роль на текущем этапе развития топливно-энергетического комплекса. Снижение геологических и экологических рисков при освоении таких месторождений является актуальной задачей, что подтверждается многочисленными публикациями и управляющими документами.

Цель и основные задачи исследования

В качестве цели исследования диссертант указывает снижение геологических и экологических рисков, сопряженных с утилизацией отходов бурения и технологических жидкостей при разработке и эксплуатации морских месторождений углеводородов, характеризующихся сложными географическими и климатическими условиями. В рамках диссертационной работы решаются следующие задачи:

1. Обзор современного состояния технологий и методик утилизации отходов бурения и технологических жидкостей в мировой практике; Выбор оптимальных технологий для работы на морских месторождениях углеводородов, расположенных в зонах с тяжелыми климатическими условиями.

2. Оценка геологических и экологических рисков реализации технологии размещения отходов бурения и технологических жидкостей в пласты домены.

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

4. 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.

5. 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.

6. 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

Предложенный комплекс геофизических исследований для выбора пласта-домена и мониторинга его состояния, а также вышележащих пластов (флюидоупоров в терминологии соискателя) является новым техническим решением, способствующим повышению безопасности технологий утилизации отходов бурения. Концептуальная модель технического и операционного пределов давления, определенных на основании геомеханического моделирования, представляет существенный теоретический интерес и ранее не была представлена в научных публикациях. Использованная математическая модель не является новой сама по себе, но является соединением двух теоретических работ, причем применена для решения специальной задачи, не изученной специалистами – геомеханиками в сформулированной постановке ранее.

Теоретическая и практическая значимость работы

Предложенная автором концептуальная модель прорыва пласта-флюидоупора при закачке отходов бурения и технологических жидкостей, а также полученные с ее помощью результаты, обладают существенной практической значимостью, поскольку могут быть напрямую использованы для решения текущих задач освоения шельфовых

месторождений. Более того, такая модель дает возможность проводить последующие работы по решению специфической задачи – течения неньютоновской жидкости в слоистой среде, представленной проницаемыми и непроницаемыми слоями, с возможностью развития системы трещин разрыва. В своей диссертации автор представляет теоретически значимую математическую модель, которая может быть развита в дальнейшем.

Личный вклад автора

Согласно тексту диссертации, автор самостоятельно выполнил обзор литературных источников; разработал концепцию пределов давления при нагнетании; провел работы по геомеханическому моделированию; выполнил расчет режимов закачки для нескольких скважин. При участии автора проведены работы по внедрению предложенных решений в практику, развернуты системы геофизического мониторинга, разработано программное обеспечение для контроля системы, представленной скважиной, проницаемым и непроницаемым пластами. Существенный вклад соискателя подтверждается авторством статей, в том числе, в качестве первого автора.

Основные положения, выносимые на защиту

Автор формулирует три защищаемых положения:

1. Система комплексного геофизического мониторинга позволяет реализовать программу размещения отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр с минимизацией геологических и экологических рисков в условиях труднодоступных морских месторождений.
2. Размещение отходов бурения и технологических жидкостей в подземных пластах доменах с геомеханическим и геофизическим контролем флюидоупоров является передовой технологией утилизации отходов при разработке месторождений в прилегающей акватории острова Сахалин.
3. Концептуальная модель условий прорыва пласта-флюидоупора позволяет использовать данные мониторинга для прогноза наполнения домена и достижения операционных пределов при закачке отходов бурения и технологических жидкостей в пласт со снижением геологических и экологических рисков.

Защищаемые положения обосновываются результатами практической реализации разработанных программ и методик при разработке месторождений нефти и газа Сахалинской области. Все полученные результаты внедрены в практику, утилизация отходов бурения и технологических жидкостей на разрабатываемых объектах происходит безаварийно и непрерывно контролируется.

Содержание диссертационного исследования

Диссертационная работа состоит из введения, четырех основных глав, заключения, списка сокращений и использованных обозначений, а также списка использованных источников.

Во введении описан объект исследования – проект «Сахалин-2», – обоснована актуальность решения задач утилизации отходов бурения на этом проекте; кратко описан опыт решения этой задачи на объекте; представлена методология исследования; сформулированы цель и задачи работы, научная новизна полученных результатов и положения, выносимые на защиту; обоснована теоретическая и практическая значимость работы; кратко описаны опубликованные соискателем статьи и конференции, на которых были представлены результаты исследования.

В первой главе описаны существующие методы утилизации отходов бурения. Дан анализ существующих правовых норм регуляции процесса. Для ряда методов рассмотрены плюсы и минусы, отдельное внимание соискатель уделяет вопросам негативного воздействия на окружающую среду. Рассмотрены следующие технологии утилизации отходов бурения: размещение на поверхностных полигонах, биологическая деградация, физико-химическая обработка, перевод в сверхкритическое состояние, электрокинетическая обработка, стабилизация, группа термических методов, размещение в соляных кавернах, размещение в многолетнемерзлых породах, размещение в подземных пластах с контролем по наблюдательным скважинам и с геомеханическим и геофизическим контролем флюидоупоров. Автор выделяет три метода, применимых на морских проектах (размещение в полигонах на суше, термическая обработка и размещение в подземных пластах) и обосновывает, что последний из них является предпочтительным для условий острова Сахалин, что соответствует второму защищаемому положению.

Во второй главе автор описывает технологию закачки в глубокие горизонты недр (CRI) и представляет концепцию минимального и оптимального комплекса геофизических исследований для задач выбора пласта – кандидата для закачки – и мониторинга его состояния. В таблице 2.1 дано обобщение этих методов, представляющее собой один из ключевых результатов исследования. Далее автор детально описывает, как применяется каждый из методов и каким образом используются данные, полученные с их помощью, для выбора домена и мониторинга состояния системы. Интересно, что автор дает детальное описание подготовки пульпы, содержащей твердые отходы и жидкую фазу. В итоге сформулирована комплексная программа мониторинга состояния пласта-домена, пласта-флюидоупора и скважины, соответствующая защищаемому положению 1. Это

положение представляется достаточно обоснованным с использованием литературных источников и привлечением практического опыта.

Третья глава представляет наибольший теоретический интерес. В ней автор представляет модель прорыва флюидоупора, основанную на разнице напряжений, действующих в пласте-домене и флюидоупоре. Предлагаемая модель основана на принципе барьера напряжений. К позитивным моментам можно отнести совместное рассмотрение барьера напряжений и барьера упругих модулей – эти концепции иногда рассматриваются в специализированной литературе порознь, хотя два барьера тесно связаны друг с другом. Автор справедливо отмечает, что прорыв флюидоупора связан с преодолением трещиной разрыва интерфейса между двумя слоями и контролируется в первую очередь напряженным состоянием среды и ее прочностными свойствами. Предложенная концептуальная модель относительно проста, однако дальше предлагается ее математическое обоснование, в рамках которого рассматривается рост трещины в описанной обстановке при нагнетании неньютоновской жидкости. Предложенная концептуальная модель и ее обоснование математическим аппаратом формируют третье защищаемое положение.

В четвертой главе представлены результаты практической реализации описанного комплекса исследований и мер по предотвращению прорыва флюидоупора на скважинах, разрабатывающих месторождения острова Сахалин. Представлены результаты геофизического мониторинга, подтверждающие, что процесс утилизации отходов бурения и технологических жидкостей проводится эффективно и безопасно. Данная глава не связана с защищаемыми положениями, однако подтверждает корректность полученных результатов и усиливает все защищаемые положения.

В Заключение сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы.

Замечания по содержанию диссертации

1. Некоторым недостатком структуры диссертации является то, что защищаемое положение 1 обосновывается в главе 2, а положение 2 – в главе 1. Логичной выглядела бы формулировка положений согласно хронологии упоминания в тексте.

2. Автор уделяет значительное внимание вопросам геомеханики при выборе пласта-домена (глава 2), однако практически не затрагивает другие вопросы. В частности, не рассматривается роль фильтрационно-емкостных свойств, хотя ясно, что способности домена принимать флюид, а флюидоупора – не принимать его, должны играть ключевую роль на подготовительной стадии. Эти положения неявно покрыты описанием

минимального и оптимального комплексов геофизических исследований, однако было бы желательно более явно указать это в тексте.

3. Очень кратко описаны лабораторные исследования по определению механических свойств на керне. Каким образом автор предлагает проводить исследования? Требуется ли обстановка одно- трех- или истинно трехосного нагружения? Должен ли керн быть насыщенным? Нужны ли многостадийные испытания? Проводятся ли испытания по определению прочности на растяжение? Можно рекомендовать автору дать обзор минимального и оптимального комплексов геомеханических исследований на керне по аналогии с таблицей 2.1.

4. В подразделе 3.1.2, п. 5 указано: «При значениях меньше 1 контраст становится отрицательным», однако по логике повествования в этом случае контраст должен быть положительным.

5. Автор заменяет пульпу бурового раствора неньютоновской жидкостью с конкретной реологией. Обоснование такого упрощения основано на рассмотрении литературных источников, однако более корректным было бы рассмотрение различных реологий и проведение лабораторных экспериментов для выбор корректной модели жидкости. Кроме того, никак не рассматривается течение суспензии, однако автор подчеркивает, что у закачиваемого флюида в наличии и твердая, и жидкая фазы.

6. В работе и автореферате присутствуют некоторые неточности. Так, в таблице 1.1 пропущен предлог «размещение соляных кавернах», первое предложение заключения автореферата сформулировано некорректно с точки зрения грамматики.

Заключение

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 в полной мере отражает содержание диссертации.

Диссертация Моисеенкова Алексея Владимировича «Геомеханически обоснованный контроль целостности покрышек флюидоупоров при размещении отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр» 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, Карев Владимир Иосифович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

заместитель директора по научной работе, главный научный сотрудник
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем
механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук

доктор технических наук

Карев В.И.

03 октября 2025 года

Почтовый адрес: Севастопольский пр-кт, 58 кв. 171, Москва, Россия, 117342.

телефон: +7 903 722-97-14, e-mail: wikarev@ipmnet.ru

Подпись В.И. Карева заверяю
Ученый секретарь М.А. Котов М.А. Котов