

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего**  
**образования «Российский государственный университет нефти и газа**  
**(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»**

**(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)**

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1, телефон: (499) 507-88-88 (многоканальный)  
ОКПО 02066612; ОГРН 1027739073845; ИНН/КПП 7736093127/773601001  
E-mail: [com@gubkin.ru](mailto:com@gubkin.ru); <http://www.gubkin.ru>

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
К.Т.Н., доцент



**П. К. Калашников**

«20» сентября 2025 г.

**ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

**на диссертационную работу Моисеевкова Алексея Владимировича**  
**«Геомеханически обоснованный контроль целостности покрышек**  
**флюидоупоров при размещении отходов бурения и технологических**  
**жидкостей в глубоких горизонтах недр», представленную на соискание**  
**учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9**  
**Геофизика**

Диссертационная работа Моисеевкова Алексея Владимировича направлена на повышение эффективности и безопасности эксплуатации морских месторождений нефти и газа благодаря снижению рисков, сопутствующих реализации технологий утилизации отходов бурения и технологических жидкостей.

При бурении и эксплуатации морских месторождений, в частности на шельфе острова Сахалин, образуется значительное количество отходов бурения и технологических жидкостей. Эти отходы включают в себя выбуренный шлам, буровой раствор на углеводородной или водяной основе, различные высоковязкие жидкости на полимерных основах, жидкости глушения и заканчивания, консервационные жидкости, дренажные воды, морскую и пластовую воду. Как правило, утилизируемые жидкости содержат различные соли и химические реагенты, полимеры, а также могут содержать

углеводороды. При этом на острове Сахалин обитает эндемичная и особо охраняемая флора и фауна, нуждающаяся в защите. Таким образом, **актуальность диссертационной работы** объясняется необходимостью экологической безопасности, для обеспечения которой требуется грамотное планирование утилизации отходов бурения и их захоронения.

**Цель диссертационной работы** состояла в снижении 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.

**Новизна и научная значимость исследования** состоит в том, что аналоги разработанной системы комплексного геофизического мониторинга не использовались ранее в мировой практике для контроля состояния пластов-флюидопоров и решения задачи понижения геологических и экологических рисков при размещении отходов бурения и технологических жидкостей в глубоких горизонтах недр. Предложенная Моисеенковым А. В. концепция технического и операционного пределов при обратной закачке в недра является уникальной и позволяет принимать обоснованные решения при контроле условий размещения отходов на основании установленных операционных и технических пределов, полученных в результате анализа комплекса геофизических данных, для достижения максимально безопасного и экономически эффективного уровня утилизации отходов бурения и технологических жидкостей в условиях морских месторождений углеводородов.

**Верификация** предложенных способов утилизации отходов была выполнена с помощью геофизического мониторинга. Также представлены результаты внедрения системы технических и операционных пределов давления. Результаты подтверждают работоспособность предложенного подхода даже в экстремальных природных условиях. На основе разработанной концепции создан электронный модуль, отслеживающий давление закрытия трещин и устанавливающий операционные/технические лимиты. Анализ 12-летней эксплуатации скважины показал: в 2016 году

приближение к операционному пределу потребовало снижения интенсивности закачки, что привело к стабилизации давления. В 2019-2020 годах при полном заполнении домена (подтверждено скважинными геофизическими данными) был выполнен капитальный ремонт с переходом на вышележащий пласт, что увеличило приемистость и снизило давления. Результаты подтвердили эффективность концепции контроля предельных напряжений. Также в работе продемонстрированы результаты 4D-сейсмического мониторинга, подтверждающие локализацию трещин в целевом пласте-домене. Регулярные сейсмические съемки фиксируют изменения петроупругих свойств и волнового поля, позволяя отслеживать динамику пластового давления, насыщенности, температурных аномалий и трещинообразования. Анализ дифракционных данных 4D выявляет зоны трещиноватости, ориентация которых соответствует направлению максимального горизонтального напряжения, что верифицирует результаты геомеханического моделирования. Таким образом, комплексный геофизический и геомеханический мониторинг подтвердил эффективность метода, продемонстрировав значительное снижение экологических и геологических рисков. Регулярный контроль напряженного состояния пластов и соблюдение установленных пределов давления обеспечили безопасную утилизацию отходов в пласты-домены. Полученные результаты доказывают надежность предложенной Моисеенковым А. В. технологии для сложных морских условий.

**Достоверность** полученных научных результатов подтверждается публикациями в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК, результатами интеллектуальной деятельности в виде патентов и в докладах на научных конференциях. Всего опубликовано 18 статей и 16 тезисов докладов, получено 2 патента.

Рассматриваемая работа объемом 146 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы (112 наименований).

## **Содержание работы**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна работы, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** выполнен обзор современных методов утилизации различных отходов, включая отходы бурения и технологические жидкости, использующиеся при освоении и разработке месторождений нефти и газа. Проведен анализ 9-ти методов утилизации буровых отходов, для каждой технологии оценены технологические и экологические аспекты, а также ключевые критерии: контроль процесса, экологическая безопасность, непрерывность производства, прогнозируемость, объемы утилизации, применимость в северных/морских условиях, универсальность для других отходов и стоимость. На основании сравнительного анализа с использованием авторской системы оценки показано, что для морских месторождений острова Сахалин пригодны 3 метода: размещение на наземных полигонах, термическая обработка (сжигание/пиролиз) и закачка в пласты-домены с контролем флюидоупоров, причем последний метод признан оптимальным по сочетанию экологической безопасности и минимизации геологических рисков. Автором обоснована целесообразность использования технологии закачки отходов в подземные пласты с флюидоупорами при обязательном контроле их целостности. Хотя метод имеет существенные преимущества, он несет риск прорыва флюидоупорного слоя с серьезными экологическими и экономическими последствиями, что требует разработки специальной системы мониторинга для своевременного выявления угроз. Эти выводы подтверждают положение исследования о перспективности данного метода для сахалинских месторождений при условии геомеханического и геофизического контроля.

Во **второй главе** описана технология закачки отходов в пласты-домены, включая методы контроля наполнения пластов и проверки целостности флюидоупоров. Описывается комплексный подход, сочетающий геомеханический анализ и геофизический мониторинг для обеспечения



безопасной утилизации отходов при морском бурении. Особое внимание уделяется механизмам контроля и предотвращения возможных нарушений в системе пласт-флюидоупор. Подчеркиваются риски прорыва системой трещин вышележащих пластов (флюидоупоров). Сформулированы критерии выбора пласта, в который производится закачка на основании упруго-прочностных свойств и распределения пластовых напряжений: для успешного проведения циклической закачки необходим высокий контраст между минимальными напряжениями, действующими в целевом пласте и пласте-флюидоупоре, поскольку в ходе закачки происходит рост эффективных напряжений. Даются рекомендации по периодической закачке пульпы бурового шлама, состоящей из твердых частиц шлама, перемолотых до 400 мк, морской воды и загеливающих агентов порциями по 250 м<sup>3</sup>. Дано описание того, какое оборудование используется для контроля процесса закачки отходов бурения. Сформулирован минимальный комплекс исследований для выбора пласта-домена, который включает в себя 3D сейсмику, стандартные геофизические исследования и лабораторный анализ свойств целевого пласта. Для предотвращения прорыва флюидоупора установлены 2 критических параметра давления: рабочий и технический пределы. Основным индикатором служит давление закрытия трещины, рост которого отслеживается комплексом методов: акустическими, ультразвуковыми, электромагнитными исследованиями, профилометрией, а также методами изучения профиля приемистости (термометрия, шумометрия, расходометрия) и скважинной съемкой. Разработанная система мониторинга, включающая эти методы, успешно апробирована на поглощающих скважинах. На основании описанных подходов предложена программа мониторинга и контроля целостности системы, основанная на комплексировании разномасштабных геофизических методов, исследований и скважинных испытаний для реализации технологии обратной закачки с минимальными экологическими и геологическими рисками.

В третьей главе автором описана концептуальная и математическая модель обратной закачки, используемая для выбора параметров, при которых происходит реализация рассматриваемой технологии. Вводятся

ключевые параметры контроля закачки – технический (проектный) и операционный (рабочий) пределы давления, основанные на предотвращении прорыва во флюидоупор. Отмечено, что давление гидроразрыва не используется как граница из-за возможной естественной трещиноватости пород. Описывается упрощенная математическая модель прогнозирования изменений напряженного состояния пласта при циклической закачке, рассматривающая буровую смесь как упруго-вязко-пластичную среду с нелинейной реологией, используя концепцию эффективных напряжений Био для анализа изменений напряженного состояния. Поровое давление рассчитывается через решение задачи однофазной фильтрации в бесконечном горизонтальном пласте. Критическое давление прорыва флюидоупора определяется по критериям хрупкого разрушения. Раскрывается методика определения давления закрытия трещины по данным мониторинга закачки. Ключевой подход основан на анализе кривой падения давления после остановки закачки, где давление закрытия выявляется через комплексный анализ: поведения самого давления, его первой производной и полулогарифмической производной относительно G-функции времени. Представлены результаты моделирования напряженного состояния на основе реальных данных с сахалинского месторождения. Построена 1D геомеханическая модель скважины с применением пороупругой модели, позволившая спрогнозировать эволюцию напряжений в пласте при продолжении закачки. Результаты подтверждают адекватность разработанной модели для анализа напряженного состояния при длительной эксплуатации пласта. Представлен ключевой результат – методика установления технического и операционного пределов давления закачки на основе геофизического мониторинга и геомеханического моделирования, направленная на предотвращение прорыва трещин во флюидоупоры. Дополнительно разработана прогностическая модель изменений напряженного состояния пласта, позволяющая оперативно корректировать режимы закачки.

В четвертой главе автором рассмотрено практическое применение разработанной методики на реальных месторождениях, которое

подтверждает её эффективность для снижения экологических и геологических рисков при закачке отходов. Представлены результаты внедрения системы технических и операционных пределов давления, а также данные геофизического мониторинга, свидетельствующие о безопасной утилизации отходов в сложных климатических условиях морских месторождений. Результаты подтверждают работоспособность предложенного подхода в экстремальных природных условиях.

### **Замечания**

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

1. Диссертационная работа, несомненно, имеет большую научно-практическую значимость, однако в ней не рассмотрены вопросы возможности применения горизонтальных и наклоннонаправленных скважин для утилизации отходов бурения.

2. При том, что электрические и акустические микроимиджеры вынесены автором в отдельный пункт и отмечена высокая информативность данных этих приборов, обработке и интерпретации их данных, а также полученным результатам в работе не уделено должное внимание.

3. Нельзя не отметить, что мониторинг распределения температуры с помощью оптоволокну является весьма действенным, однако у него есть несколько важных ограничений. В связи с этим опираться только на термометрию нельзя. Если при обнаружении перетоков по заколонному пространству скважины информативные возможности термометрии достаточно высоки и имеются проверенные временем алгоритмы количественной оценки перетока, то для случая перетока по трещине ГРП или авто-ГРП все аномалии охлаждения значительно снижаются. Это происходит из-за того, что охлажденная вода с поверхности по трещине ГРП быстро уходит от ствола скважины на расстояние, значительно превышающее глубинность термометрии, таким образом существенный переток по трещине на термометрии можно увидеть, как очень слабый переток или его почти полное отсутствие. Глубинность метода менее 2.5м, поэтому при не полностью вертикальном расположении ствола скважины и

вертикальном росте трещины в высоту термометрия не может увидеть влияния продолжения роста трещины в высоту, начиная со значения, на котором отход трещины от ствола скважины превышает 2.5м. Из предложенного комплекса методов промысловых ГИС влияние того, что происходит за обсадной колонной, а не в стволе скважины, можно увидеть только на двух методах: термометрии и спектральной шумометрии. Сложности термометрии в условиях наличия трещин авто-ГРП описаны выше. Спектральная шумометрия является индикативным методом, и интенсивность шума не зависит от интенсивности потока. Таким образом, по таким исследованиям в большинстве случаев можно выявить переток по трещине авто-ГРП, но невозможно однозначно оценить его интенсивность. При этом наличие перетока вообще невозможно выявить при негативных случаях: развитии полудлины трещины очень большого размера и при большом отходе трещины от ствола скважины вследствие того, что трещина растет вверх вертикально, а ствол скважины - наклонный. Оценка величины непроизводительной закачки с помощью 4D сейсмического мониторинга не всегда возможна вследствие влияния на значение акустического импеданса широкого круга факторов. В работе отсутствует анализ информативности предложенных методов для количественной оценки перетока в условиях наличия трещины авто-ГРП в связи с наличием сомнений в однозначности ожидаемых количественных оценок.

4. Не рассмотрено применение периодических многорежимных гидродинамических исследований скважин (ГДИС), включающих несколько кривых падения давления (КПД), после закачки с разными значениями забойного давления и расхода. Изменение принимающей толщины в случае порыва трещины в другие пласты отразится на ГДИС существенным изменением гидропроводности при разной высоте трещины.

5. В работе затронут важный аспект исследований керна. Традиционно для лабораторных исследований выбираются породы-коллекторы. Представленные в работе результаты убедительно доказывают, что породы-флюидоупоры требуют не меньшего внимания при лабораторных петрофизических исследованиях. Результаты лабораторных исследований



кernового материала присутствуют в работе, но общий объем исследований может быть увеличен.

### **Общее заключение по диссертации**

В целом работа производит очень хорошее впечатление и глубиной обзора, и анализом материала, и возможностью дальнейшего ее развития в геофизическом направлении.

Диссертационная работа Моисеенкова А. В. является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, выполненной и оформленной в соответствии с требованиями ВАК, в которой получены решения новых задач, обладающие несомненной практической и теоретической значимостью. Суть работы хорошо изложена, диссертация написана грамотно и аккуратно оформлена. В автореферате диссертации в достаточной для понимания форме изложено содержание всех глав диссертации. Основные результаты диссертации отражены в публикациях различного уровня, в том числе в журналах из перечня ВАК и изданиях, индексируемых в международных системах цитирования, автором получены патенты. Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пунктом 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства России от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор Моисеенков Алексей Владимирович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9 Геофизика.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв рассмотрены и обсуждены на совместном заседании кафедр геофизических информационных систем и освоения морских нефтегазовых месторождений РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина.

Присутствовало 22 человека, с правом решающего голоса – 14 человек, из них 3 доктора наук и 11 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» – 14, чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел. Протокол № 1 от «04» сентября 2025 г.

Заведующий кафедрой геофизических информационных систем РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, доктор геолого-минералогических наук (1.6.9 Геофизика), доцент



Коваленко Казимир Викторович

согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Профессор кафедры освоения морских нефтегазовых месторождений РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, заместитель заведующего кафедрой по научной работе, доктор геолого-минералогических наук (1.6.11 Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений), профессор

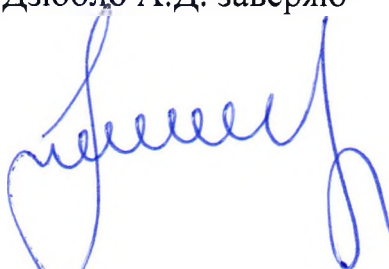


Дзюбло Александр Дмитриевич

согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подписи Коваленко К.В. и Дзюбло А.Д. заверяю

Начальник отдела кадров



Ширяев Ю.Е.

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

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1

Электронная почта: [com@gubkin.ru](mailto:com@gubkin.ru)

Телефон: +7 (499) 507-88-88