

На правах рукописи

Букин Павел Николаевич



**ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ
ВЛИЯНИЯ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
КОШАЙСКИХ ГЛИН ПРИ БУРЕНИИ
БОКОВЫХ СТВолов**

*Специальность 2.8.2. Технология бурения
и освоения скважин*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный технический университет».

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

Капитонов Владимир Алексеевич

Официальные оппоненты:

Четвертнева Ирина Амировна

доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», кафедра бурения нефтяных и газовых скважин, профессор;

Мелехин Александр Александрович

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», кафедра «Нефтегазовые технологии», доцент.

Ведущая организация - государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный технологический университет «Высшая школа нефти», г. Альметьевск.

Защита диссертации состоится **25 марта 2026 г. в 14:30** на заседании диссертационного совета ГУ.10 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д. 2, **аудитория № 3321**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан **23 января 2026 г.**

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



БЛИНОВ
Павел Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В процессе строительства скважин на месторождениях Западной Сибири в интервалах залегания кошайских глин наблюдается нарушение устойчивости при проводке стволов с горизонтальным окончанием. Увеличение плотности бурового раствора приводит к возникновению поглощений и дифференциальных прихватов бурильного инструмента. Повышение эффективности бурения достижимо с применением геомеханики и выбором состава, обеспечивающим сохранение прочностных свойств неустойчивых пород.

При бурении наклонно-направленных скважин в Западной Сибири наиболее широкое распространение получил инкапсулирующий буровой раствор на основе полиакриламида. Вместе с тем при бурении скважин с горизонтальным окончанием его эффективность снижается – возрастает время проработок и спуско-подъёмных операций, что сказывается на рентабельности бурения. В связи с этим возникла потребность проведения лабораторных исследований влияния буровых растворов на физико-механические свойства кошайских глин.

Степень разработанности темы

Исследованием устойчивости глинистых пород занимались такие ученые, как Ангелопуло О.К., Байдюк Б.В., Близнюков В.Ю., Булатов А.И., Гайдаров М.М.-Р., Грей Д.Р., Городнов В.Д., Жигач К.Ф., Конесев Г.В., Кистер Э.Г., Липкес М.И., Литяева З.А., Майер Дж., Маковой Н., Мамаджанов У.Д., Мухин Л.К., Николаев Н.И., Новиков В.С., Осипов В.И., Ребиндер П.А., Симонянц Л.Е., Токунов В.И., Хейфец И.Б., Шарафутдинов З.З. и другие.

Объект исследования – кошайские глины месторождений Западной Сибири.

Предмет исследования – устойчивость хрупких глинистых пород.

Цель работы – повышение эффективности бурения боковых стволов с применением буровых растворов, выбираемых на основе оценки их влияния на остаточную прочность кошайских глин.

Идея работы - определение физико-механических свойств кошайских глин при воздействии буровых растворов на образцах, сформированных близким к их условиям залегания.

Задачи исследования

1. Обоснование методов оценки геомеханических свойств кошайских глин при воздействии силикатных буровых растворов в процессе зарезки боковых стволов.

2. Разработка метода оценки влияния буровых растворов на механические свойства образцов кошайских глин с сохранением слоистости.

3. Экспериментальные исследования времени нахождения в устойчивом состоянии измельчённых образцов ненабухающих глин; исследования остаточной прочности образцов с сохранением слоистости и напластования для обоснования состава силикатного бурового раствора для бурения кошайских глин.

4. Разработка математической модели, описывающей напряженно-деформированное состояние кошайских глин с учетом когезии при изменении зенитного угла.

Научная новизна

1. Обоснован принцип подготовки образцов из керна аргиллитов, основанный на сохранении естественной слоистости, восстановлении влажности и формировании в условиях всестороннего напряженно-деформированного состояния, соответствующего горно-геологическим условиям, для исследования влияния буровых растворов на устойчивость ствола скважины.

2. Установлена математическая зависимость с учётом критерия Друккера-Прагера и результатов прочностных исследований, определяющая изменение устойчивости ствола в зависимости от напряженно-деформированного состояния горных пород.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.8.2. Технология бурения и освоения скважин по пункту 1: «Механика горных пород. Глубинное строение недр. Физико-механические, фильтрационно-ёмкостные свойства горных пород. Пластовые флюиды. Напряжённое состояние нарушенного

массива горных пород при бурении, взаимодействие его с крепью скважины».

Теоретическая и практическая значимость

1. Научно обоснован принцип формирования слоистой структуры, близкой к условиям залегания аргиллитов, утративших исходную влажность, для оценки изменения прочностных свойств кошайских глин под действием буровых растворов.

2. Разработана методика расчёта влияния буровых растворов на устойчивость призабойной зоны с применением модели напряженно-деформированного состояния, учитывающая критерий Друккера-Прагера.

3. Разработанная методика подготовки образцов аргиллита используется при проведении научно-исследовательских работ в ООО «Самарский научно-исследовательский и проектный институт нефтедобычи» (акт внедрения результатов диссертационного исследования от 01.09.2025 г.).

Методы научных исследований

В работе выполнен анализ промысловых данных бурения, результатов лабораторных исследований, применены статистические методы планирования и обработки результатов, установлены математические зависимости и построены математические модели.

Положения, выносимые на защиту

1. Метод оценки прочностных свойств глинистых пород с учётом сохранения слоистости модельных образцов позволяет подобрать буровой раствор с требуемой концентрацией силиката натрия, который кратно увеличивает время устойчивого состояния и остаточную прочность кошайских глин при зарезке боковых стволов.

2. Оценка устойчивости ствола скважины по критерию Друккера-Прагера при использовании силикатных буровых растворов в интервале залегания кошайских глин для бурения боковых стволов, достигается за счет учета угла внутреннего трения и определения когезионного фактора, полученного по результатам испытаний.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается полученными результатами лабораторных исследова-

ний на поверенном и аттестованном оборудовании, высокой схожимостью математических зависимостей с анализируемыми данными.

Апробация результатов диссертации проведена на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 1 международной. За последние 3 года принято участие в 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 1 международной:

- IV Международная научно-практическая конференция «Прорывные технологии в разведке, разработке и добыче углеводородного сырья» (Санкт-Петербург, 20-22 мая 2025 г.);

- Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы и инновационные решения в нефтегазовой отрасли» (Самара, 17-18 сентября 2024 г.);

- Всероссийская научно-практическая конференция «Ашировские чтения» (Самара, 2023, 2024).

Личный вклад автора заключается в анализе вскрытия кошайских отложений при бурении на продуктивные пласты АВ₁ и БВ₈; рассмотрении типовых рецептур буровых растворов, применяемых на месторождениях Западной Сибири; обзоре литературы и обосновании применения силикатного минерализованного бурового раствора для вскрытия интервала кошайских глин; анализе методики исследований влияния буровых растворов на образцы горных пород; разработке метода оценки влияния буровых растворов на физико-механические свойства кошайских глин при бурении боковых стволов; проведении исследований времени устойчивого состояния прессованных образцов измельчённого аргиллита под нагружением, влияния буровых растворов на прочность образцов кошайских глин по разработанному методу; построении математической модели, описывающей напряженно-деформированное состояние кошайских глин; выполнении расчёта давлений для безаварийного бурения.

Публикации

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах, в том числе в 7 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание

ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК). Получен 1 патент на изобретение.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 126 наименований, и 4 приложений. Диссертация изложена на 101 странице машинописного текста, содержит 49 рисунков и 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, сформулирована цель, определены задачи исследований, приводятся основные защищаемые положения, научная новизна и практическая значимость, перечислено, где обсуждались и где внедрены полученные результаты.

В первой главе выполнено теоретическое обоснование необходимости и целесообразности оценки геомеханических свойств кошайских глин при воздействии силикатных буровых растворов в процессе зарезки боковых стволов. Рассмотрены особенности проводки скважин в интервале кошайских глин месторождений Западной Сибири. Приведено описание геологических условий залегания кошайских глин. Даются результаты рентгенофазового анализа керна, отобранного из интервала залегания кошайских глин месторождений Западной Сибири. Выполнен анализ буровых растворов, применяемых на объектах месторождений Западной Сибири, и определены рецептуры для проведения дальнейших исследований.

Во второй главе проанализированы методики исследований влияния буровых растворов на образцы горных пород. Отмечена сложность моделирования процессов, протекающих в аргиллитах. Описан разработанный способ получения образцов аргиллита, насыщенных пластовым флюидом или его моделью с сохранением трещиноватости.

В третьей главе приведены результаты лабораторных исследований, по которым установлена концентрация силиката натрия, обеспечивающая нахождение в устойчивом состоянии пресованных образцов под нагружением. Приведены результаты иссле-

дований влияния буровых растворов на подготовленные по разработанной методике образцы аргиллита из керна, отобранного из интервала залегания кошайских глин.

В четвёртой главе приведена построенная математическая модель, описывающая напряженно-деформированное состояние кошайских глин. Выполненные результаты расчётов подтвердили обоснованность предлагаемой к применению рецептуры силикатного бурового раствора.

В заключении кратко изложены основные результаты, в том числе теоретически обоснована необходимость и целесообразность учёта слоистости при подборе рецептур буровых растворов. Разработан способ получения образцов ненабухающих глин с сохранением слоистости. Проведены сравнительные исследования применяемых буровых растворов с предлагаемым силикатным буровым раствором. Выполнен геомеханический расчёт устойчивости ствола скважин для исследованных буровых растворов. В завершении обозначены направления для дальнейшего развития исследований в рамках заявленной научной тематики.

Основные результаты выполненных исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Метод оценки прочностных свойств глинистых пород с учётом сохранения слоистости модельных образцов позволяет подобрать буровой раствор с требуемой концентрацией силиката натрия, который кратно увеличивает время устойчивого состояния и остаточную прочность кошайских глин при зарезке боковых стволов.

На первом этапе исследования проводились на доработанной установке Linear Swell Meter Model 2100 (LSM) производства Fann, позволяющей определить время нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов из измельчённого материала в условиях одноосного сжатия. Доработка заключалась в создании нагружения 13 кг, что составляло 3 % от исходной прочности образцов.

Для учёта влияния слоистости был разработан способ получения образцов аргиллита, насыщенных пластовым флюидом или его моделью с сохранением трещиноватости, который включает:

- распиловку керна с целью получения куба со сторонами 50 ± 1 мм;
- насыщение кубического образца пластовой водой под вакуумом до 60 кПа не менее 1 сут;
- компактирование на установке трёхосного сжатия до достижения упруго-пластичной стадии деформации в течение 15 с.

Принцип работы установки основан на скользящем движении нагружающих плит, заходящих друг на друга с трёх сторон (рисунок 1).

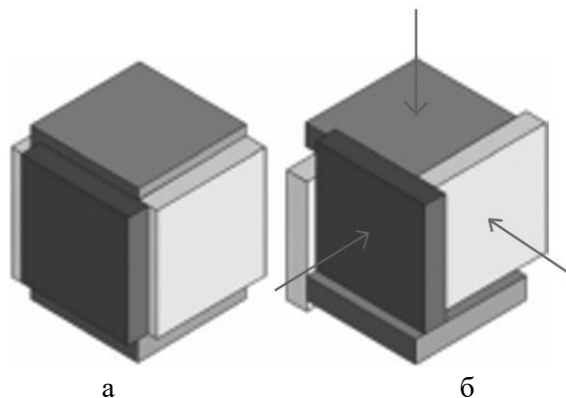


Рисунок 1 – Движение нагружающих плит

а – исходное состояние, б – деформированное состояние

Нагружение создаётся гидроприводами, работающими независимо для каждой стороны. Схема проведения исследований приведена на рисунке 2.

После того как кубические образцы получены на установке трёхосного сжатия уплотнением до достижения упруго-пластичной стадии деформации, их погружают в среду исследуемых буровых растворов и оставляют на 24 ч. По истечении указанного времени, если не произошло разрушение образцов, определяют их прочность на сжатие перпендикулярно напластованию на прессе Matest.

Выполненная оценка достоверности результатов по предварительным исследованиям методами математической статистики показала, что погрешность в 7 % достижима при выполнении не менее 2 измерений в одинаковых условиях и нахождении среднеарифметического.

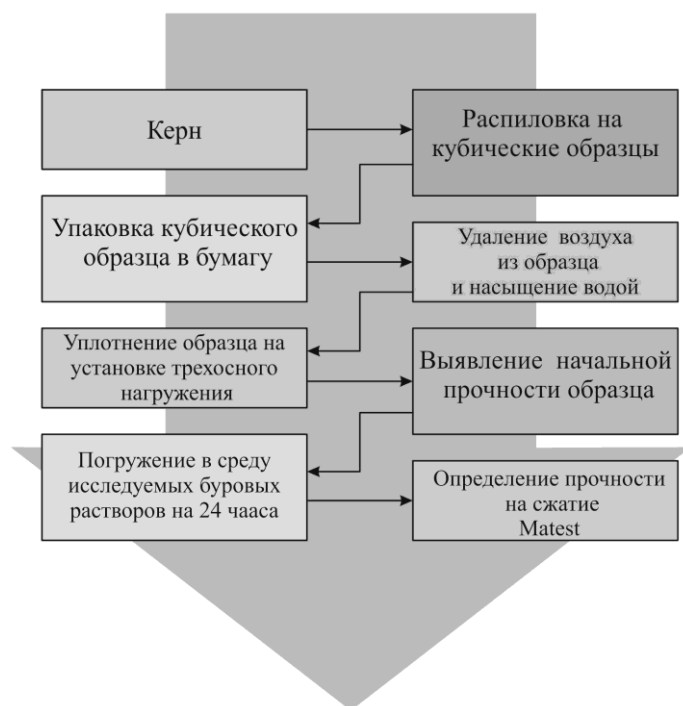


Рисунок 2 – Схема проведения исследований

Анализ 72 пробуренных на месторождениях Западной Сибири скважин, выполненный в первой главе, показал, что при бурении интервала кошайских глин в основном применяется инкапсулирующий буровой раствор и KCl-полимерный буровой раствор с концентрацией соли 80 кг/м³.

В связи с тем, что по минералогическому составу кошайские глины не содержат смектит и преобладающим типом контактов является переходный и фазовый (цементационный), выполненный обзор литературы показал, что наиболее перспективными для обеспечения устойчивости аргиллитов являются силикатные буровые растворы. Выбранная для проведения исследований рецептура приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептuru силикатного полимерного минерализованного бурового раствора

Торговое наименование компонентов рецептуры	Назначение	Концентрация, кг/м ³
Кальцинированная сода	контроль жёсткости	0,5
Хлорид калия	ингибитор/утяжелитель	80
Каустическая сода	контроль pH	1
Биополимер	структурообразователь	3
Понижитель фильтрации низковязкий	контроль фильтрации	10
Понижитель фильтрации высоковязкий	контроль фильтрации	0,5
Силикат натрия (силикатный модуль 2,9)	ингибитор	20 – 100
CaCO ₃	кольматант, утяжелитель	100
Смазывающая добавка	снижение трения	20

С целью определения требуемой концентрации силиката натрия выполнены исследования времени устойчивого состояния прессованных образцов измельчённых кошайских глин под нагрузением, результаты которых приведены на рисунке 3. Как видно из рисунка, до концентрации силиката натрия 80 кг/м³ наблюдается прирост времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов. Дальнейшее увеличение содержания силиката натрия не приводит к существенному изменению времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов. Таким образом, рекомендуется поддерживать содержание силиката натрия не менее 80 кг/м³.

Аппроксимация времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов, выполненная линейной функцией, даёт расхождение не более 2,6 %, что является допустимым при выполнении инженерных расчётов.

Для сравнения воздействия подобранной рецептуры силикатного полимерного минерализованного бурового раствора с 80 кг/м³ силиката натрия провели исследования времени устойчивого состояния прессованных образцов измельчённой кошайской гли-

ны под нагружением в среде инкапсулирующего и KCl-полимерного бурового раствора. Результаты исследований приведены на рисунке 4.

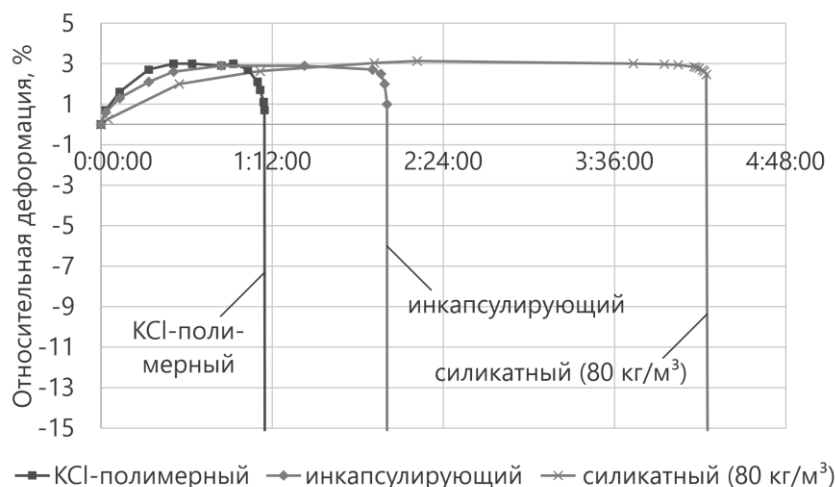


Рисунок 4 – Сравнение силикатного полимерного минерализованного бурового раствора с системами, применяемыми на месторождениях Западной Сибири

На следующем этапе для учёта влияния трещин, появляющихся в призабойной зоне кошайских глин в процессе бурения, выполнена подготовка по разработанной методике образцов аргиллита из керна, отобранного из интервала залегания кошайских глин.

После выпиливания из аргиллита кубических образцов размером 50×50×50 мм их размещали в бумажные контейнеры, в которых погружали в модель пластового флюида, получаемую растворением в дистиллированной воде солей: 0,3 г/л NaHCO_3 , 5,7 г/л NaCl , 4,4 г/л KCl , 1,3 г/л CaCl_2 , 0,5 г/л MgCl_2 .

Для ускорения извлечения воздуха создавался вакуум не менее 60 кПа, который поддерживался в течение 24 ч (при повышении давления автоматически запускался вакуумный насос).

По истечении указанного времени образец в бумажном контейнере переносился в установку трёхосного сжатия. Затем плиты придвигались в исходное положение и запускалось одновременное

уплотнение по трём осям до достижения упруго-пластичной стадии деформации образца. В процессе уплотнения в режиме реального времени велась запись перемещения плит с создаваемым установкой давлением в файл и на экране персонального компьютера отображались графики.

Для перевода показаний установки трёхосного сжатия, созданной на кафедре бурения нефтяных и газовых скважин СамГТУ, в силу на сжатие была выполнена её калибровка ФБУ «Самарский ЦСМ». Для каждого кубического образца размером 50×50×50 мм выполнялся пересчёт показаний прибора в давления уплотнения образцов по осям в МПа, примеры которого приведены на рисунке 5.

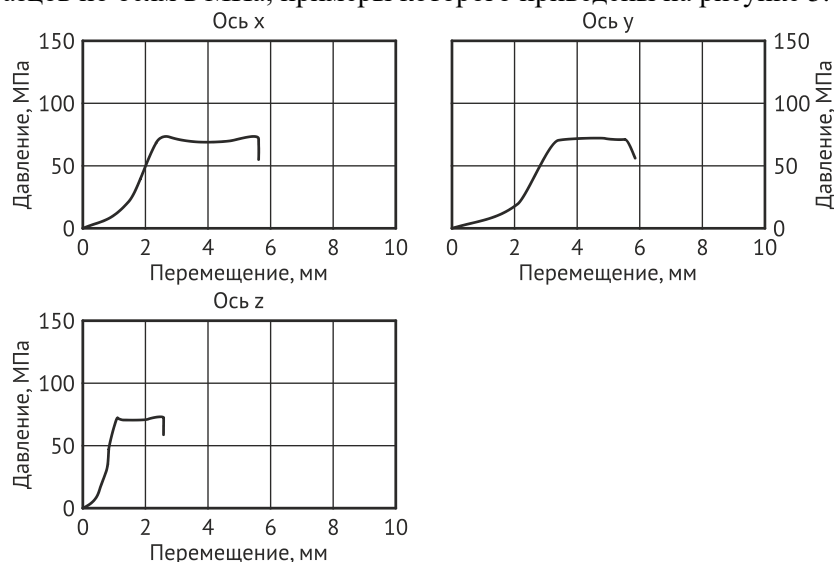


Рисунок 5 – Давление формирования образца на установке трёхосного сжатия

Для оценки влияния буровых технологических жидкостей на устойчивость кошайских глин в соответствии с разработанной методикой полученные кубические образцы аргиллитов погружали в водопроводную воду, применяемые на месторождениях Западной Сибири инкапсулирующий и KCl-полимерный буровой раствор, а также в подобранный в рамках диссертационной работы силикатный полимерный минерализованный буровой раствор (см. табли-

цу 1). Исходные свойства образцов приведены в таблице 2. Сводные результаты изменения прочности после воздействия перечисленных составов приведены в таблице 3.

У одного образца (первый в таблице 2) прочность на сжатие определялась без воздействия каких-либо растворов. Она составила 1,997 МПа при максимальной нагрузке 4,305 кН. Для сопоставления результатов исследований для каждого образца было найдено отношение остаточной прочности к исходной по формуле (1):

$$\Delta = \frac{3 \cdot P_{сж}}{P_x + P_y + P_z}, \quad (1)$$

где P_x , P_y , P_z – давление начала пластичной деформации по каждой оси при одновременной сжатии в трёх направлениях, МПа;

$P_{сж}$ – прочность на сжатие, определяемая перпендикулярно напластованию, МПа.

Для образца, не подвергавшегося воздействию растворов, отношение исходной прочности к остаточной составило 0,028. Прочность на сжатие по остальным образцам, подвергнутым погружению в различные составы на 1 сут, приведена в таблице 3. Применение медианы вместо расчёта среднеарифметического значения предпочтительно, так как она меньше зависит от сильно отклоняющихся величин.

На рисунке 6 представлено сопоставление результатов определения остаточной прочности образцов аргиллита с результатами измерений времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов из дезинтегрированных кошайских глин под нагружением. Анализ рисунка показал, что результаты определения отношений остаточной прочности к исходной прочности образцов из керна коррелируют с временем устойчивого состояния прессованных образцов измельчённого аргиллита под нагружением. В то же время силикатный буровой раствор показал прирост отношений прочности в исследованиях на кернах, что связано с замедлением попадания фильтрата буровых растворов в трещины образцов керна.



Рисунок 6 – Сопоставление результатов исследований на керне с уплотнёнными дезинтегрированными образцами

2. Оценка устойчивости ствола скважины по критерию Друкера-Прагера при использовании силикатных буровых растворов в интервале залегания кошайских глин для бурения боковых стволов, достигается за счет учета угла внутреннего трения и определения когезионного фактора, полученного по результатам испытаний.

В качестве исходных данных выступают: угол внутреннего трения, глубина исследуемых точек, действующие напряжения (минимальные, максимальные и вертикальные), зенитные углы, азимутальные углы, когезия, угол вокруг ствола скважины, коэффициент Пуассона горной породы, предел прочности на разрыв горной породы.

Расчёт был проведён с применением критерия Друкера-Прагера (2), влияние буровых растворов (таблица 3) учитывалось в изменении когезии горной породы:

$$\sqrt{J_2} = A + B \cdot I_1, \quad (2)$$

где $I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ – первый инвариант напряжения (гидростатическое давление);

$$J_1 = \frac{1}{6} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right] + \tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{13}^2$$

– второй инвариант девиатора напряжений;

A, B – константы материала, связанные с внутренним трением и когезией.

Результаты в графическом виде приведены на рисунке 7.

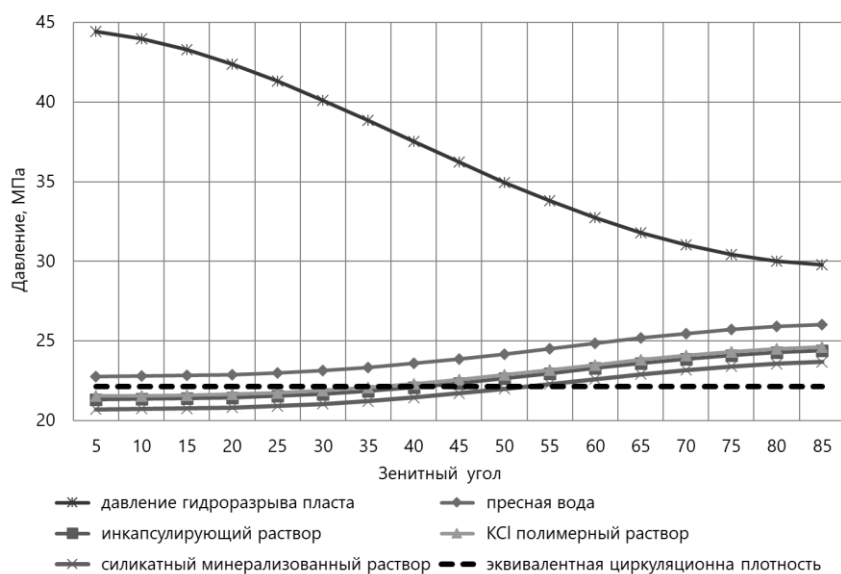


Рисунок 7 – Устойчивость ствола скважины на глубине 1772 м

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации содержится решение научно-технической задачи, направленной на повышение эффективности бурения боковых стволов с применением буровых растворов, выбираемых на основе оценки их влияния на остаточную прочность кошайских глин.

По результатам выполнения диссертационной работы сформулированы следующие наиболее значимые результаты:

1. Теоретически обоснована необходимость и целесообразность оценки геомеханических свойств кошайских глин при воздействии буровых растворов в процессе зарезки боковых стволов с учетом слоистости, характерной для условий залегания.

2. Разработан лабораторный метод оценки влияния буровых растворов на механические свойства образцов кошайских глин с сохранением слоистости. По результатам его применения выявлено, что наименьшим разупрочняющим воздействием обладает силикатный буровой раствор.

3. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что содержание силиката натрия более 80 кг/м^3 повышает время нахождения в устойчивом состоянии уплотнённых образцов измельчённых кошайских глин в условиях одноосного сжатия до 2 раз и остаточную прочность образцов кошайских глин с сохранением слоистости до 2,5 раз по сравнению с применяемыми на месторождениях Западной Сибири буровыми растворами при зарезке боковых стволов с горизонтальным окончанием.

4. Уточнена математическая модель напряженно-деформированного состояния кошайских глин. Применение критерия Друкерра-Прагера позволило учесть влияние буровых растворов на величину когезии при изменении зенитного угла.

Важным прикладным значением предложенного комплексного метода исследований оценки влияния буровых растворов на физико-механические свойства кошайских глин при бурении боковых стволов является возможность проведения лабораторных исследований по подбору буровых растворов, оказывающих наименьшее разупрочняющее воздействие на образцы аргиллитов с сохранением слоистости и напластования. В качестве перспективного направления дальнейших исследований по теме диссертации будет доработка установки трёхосного сжатия для моделирования независимого изменения нагрузений по каждой из осей с целью воссоздания условий, возникающих в пристволенной зоне скважины в процессе строительства.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Букин, П. Н. Влияние силикатного бурового раствора на устойчивость кошайских глин под нагружением / **П. Н. Букин**, В. А. Капитонов // Нефтегазовое дело. - 2025. - Т. 23, № 1. - С. 27-35. DOI 10.17122/ngdelo-2025-1-27-35.

2. Букин, П. Н. Оценка прочностных свойств горных пород под механическим нагружением при воздействии буровых растворов / **П. Н. Букин**, Д. В. Будник, В. А. Капитонов, Г. Г. Гилаев // Экспозиция Нефть Газ. - 2024. - № 6. С. 72–74.

3. Букин, П. Н. Этапы развития установок по испытанию на трехосное сжатие горных пород / **П. Н. Букин**, М. Г. Казаян, К. В. Парфенов, Б. В. Каргин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2022. – № 11(359). – С. 28-32. – DOI 10.33285/0130-3872-2022-11(359)-28-32.

4. Букин, П. Н. Физическое моделирование горного напряжения / **П. Н. Букин**, А. А. Подъячев, К. В. Парфенов // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2021. – № 1(337). – С. 5-9. – DOI 10.33285/0130-3872-2021-1(337)-5-9.

5. Букин, П. Н. Установка на стенде и калибровка датчиков на независимое трехосное сжатие / **П. Н. Букин**, К. В. Парфенов // Нефть. Газ. Новации. – 2021. – № 1(242). – С. 54-56.

6. Подъячев, А. А. Моделирование напряженного состояния упорно-прижимных элементов установки независимого трехосного сжатия в условиях нагружения / А. А. Подъячев, **П. Н. Букин**, И. Е. Адеянов // Нефть. Газ. Новации. – 2019. – № 3. – С. 70-73.

7. Букин, П. Н. Обзор систем для проведения испытаний образца горной породы в условиях всестороннего нагружения / **П. Н. Букин**, А. А. Подъячев // Нефть. Газ. Новации. – 2018. – № 10. – С. 11-13.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности

8. Патент № 2838664 С1 Российская Федерация, МПК E21B 49/00 (2006.01), G01N 1/28 (2006.01). Способ получения образцов аргиллита, насыщенных пластовым флюидом или его моделью, с сохранением трещиноватости. Заявка № 2024128263: заявл. 24.09.2024 : опубл. 22.04.2025 / П. Н. Букин, В. А. Капитонов; патентообладатель П. Н. Букин. – 7 с.

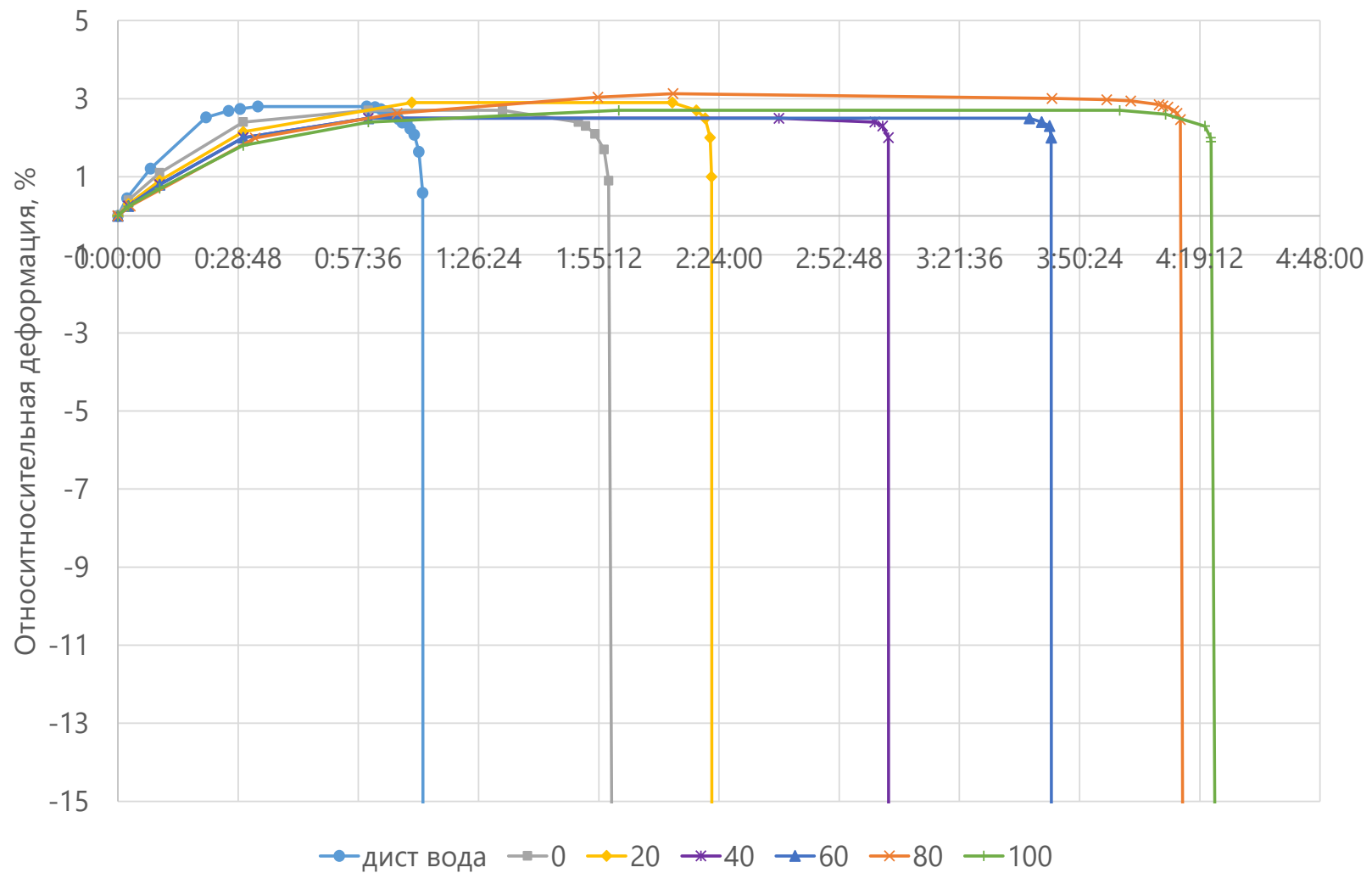


Рисунок 3 – Результаты измерений времени нахождения в устойчивом состоянии прессованных образцов из дезинтегрированных кошайских глин под нагрузением при различном содержании силиката натрия (кг/м^3)

Таблица 2 – Характеристики подготовленных к исследованиям образцов

№ образца	Размеры образцов после выпиливания, мм			Размеры образцов после уплотнения, мм			Показания прибора, соответствующие началу пластичной деформации, атм			Усреднённое давление начала пластичной деформации, МПа
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	
1	49,45	49,53	49,58	46,42	46,44	46,55	50,13	50,62	50,5	71,5
2	49,54	49,43	49,55	46,6	46,63	46,4	51,14	51,05	51,18	71,93
3	49,55	49,5	49,48	46,59	46,64	46,6	40,24	40,68	40,89	57,13
4	49,55	49,59	49,43	46,58	46,57	46,63	41,25	41,03	41,24	58,03
5	49,56	49,51	49,56	46,44	46,42	46,65	49,07	49,76	49,37	70,06
6	49,51	49,49	49,52	46,6	46,54	46,61	44,41	44,86	44,68	62,94
7	49,51	49,54	49,47	46,52	46,51	46,45	47,63	48,6	48,28	68,06
8	49,55	49,53	49,49	46,4	46,44	46,56	51,42	51,9	51,51	73,22
9	49,52	49,48	49,56	46,41	46,48	46,53	39,47	39,85	39,68	56,22
10	49,49	49,58	49,57	46,59	46,58	46,42	50,39	50,84	50,49	71,24

Таблица 3 – Прочность на сжатие перпендикулярно напластованию

№ образца	Среда, в которой выдерживались подготовленные образцы	Максимальная нагрузка, кН	Прочность на сжатие, МПа	Отношение остаточной прочности на сжатие к исходной	Медиана
1	Образец завёрнут в полиэтилен	4,305	1,997	0,028	–
2	Водопроводная вода	0,982	0,452	0,006	0,005
3		0,489	0,225	0,004	
4	Инкапсулирующий буровой раствор	1,174	0,541	0,009	0,010
5		1,72	0,798	0,011	
6	КСI-полимерный буровой раствор	1,019	0,47	0,007	0,009
7		1,404	0,649	0,01	
8	Силикатный буровой раствор	3,586	1,664	0,023	0,023
9		3,078	1,427	0,025	
10		2,632	1,213	0,017	