ВЛИЯНИЕ СИЛИКАТНЫХ ДОБАВОК НА ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНОЙ КОРКИ

Бабаев А.А.
Узбекистан, Бухара, Бухарский государственный технический университет
Хамроев О.О.
Узбекистан, Бухара, Бухарский государственный технический университет

Аннотация. Работа посвящена разработке научно обоснованных методов получения и применения буровых композиций на основе силикатов. Актуальность обусловлена необходимостью создания термостабильных ингибирующих систем для бурения в сложных геолого-технических условиях. Цель работы — синтез модифицированных реагентов, включая борсиликатные системы, и создание эффективной технологии их использования. Научная новизна заключается в установлении механизма стабилизации стенок скважин за счет формирования защитной кремнегелевой пленки (10–50 мкм) и доказательстве высокой термостойкости составов до 150–180 °С. Практическая значимость подтверждена определением оптимальной концентрации силикатов (1,5–2,5 %), обеспечивающей снижение фильтрации на 30–50 % и сокращение времени строительства скважин на 1,5–4 суток. Разработанная технология успешно внедрена на осложненных объектах. Экономический эффект составил 2,5–4,2 % от общей стоимости строительства скважины. Методология исследования базируется на комплексе физико-химических испытаний (ротационная вискозиметрия, НТНР-фильтрация) и математическом моделировании технологических параметров

Ключевые слова: бурения, буровой раствор, силикат, термостойкость, фильтрация, корка.

Annotation. The work is devoted to the development of scientifically sound methods for the production and application of silicate-based drilling compositions. The relevance is due to the need to create thermostable inhibitory systems for drilling in difficult geological and technical conditions. The aim of the work is the synthesis of modified reagents, including borosilicate systems, and the creation of an effective technology for their use. The scientific novelty consists in establishing a mechanism for stabilizing the walls of wells due to the formation of a protective silica gel film (10-50 microns) and proving the high temperature resistance of compositions up to 150-180 ° C. The practical significance is confirmed by determining the optimal silicate concentration (1.5–2.5%), which reduces filtration by 30-50% and reduces well construction time by 1.5–4 days. The developed technology has been successfully implemented in complicated facilities. The economic effect amounted to 2.5–4.2% of the total

ISSN 3030-3907

cost of well construction. The research methodology is based on a complex of physico-chemical tests (rotational viscometry, HTHP filtration) and mathematical modeling of technological parameters.
Keywords: drilling, drilling mud, silicate, heat resistance, filtration, crust.
Annotatsiya. Ish silikatlar asosida burg'ulash kompozitsiyalarini olish va qo'llashning ilmiy asoslangan usullarini ishlab chiqishga bag'ishlangan. Dolzarbligi murakkab geologik va texnik sharoitlarda burg'ulash uchun termostabil inhibitiv tizimlarni yaratish zarurati bilan bog'liq. Ishning maqsadi modifikatsiyalangan reagentlarni, shu jumladan borsilikat tizimlarini sintez qilish va ulardan foydalanishning samarali texnologiyasini yaratishdir. Ilmiy yangilik himoya kremniyli plyonka (10-50 mikron) hosil bo'lishi va kompozitsiyalarning 150-180 °s gacha yuqori haroratga chidamliligini isbotlash orqali quduq devorlarini barqarorlashtirish mexanizmini o'rnatishdan iborat.amaliy ahamiyati silikatlarning optimal konsentratsiyasini (1,5–2,5%) aniqlash bilan tasdiqlanadi, bu filtrlashning 30-50% ga pasayishini va quduqlarni qurish vaqtining 1,5–4 kunga qisqarishini ta'minlaydi. Ishlab chiqilgan texnologiya murakkab ob'ektlarda muvaffaqiyatli joriy etildi. Iqtisodiy samarasi quduq qurilishining umumiy qiymatining 2,5–4,2 foizini tashkil etdi. Tadqiqot metodologiyasi fizik-kimyoviy sinovlar majmuasi (aylanma viskozimetriya, HTHP-filtratsiya) va texnologik parametrlarni matematik modellashtirishga asoslangan
Kalit so‘zlar: burg‘ilash, burg‘ilash eritmasi, silikat, issiqlikka chidamlilik, filtratsiya, qobiq.

ВВЕДЕНИЕ.

В современных условиях интенсификации процессов бурения нефтяных и газовых скважин к качеству буровых растворов предъявляются повышенные требования, направленные на обеспечение устойчивости стенок скважин и снижение фильтрационных потерь. Силикатные системы представляют значительный интерес благодаря их способности формировать прочные гелеобразные структуры и химически взаимодействовать с глинистыми минералами пласта. Однако традиционные композиции часто характеризуются сложностью регулирования фильтрационных свойств в экстремальных термобарических условиях. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью установления закономерностей влияния силикатных реагентов на формирование малопроницаемых защитных экранов, предотвращающих проникновение фильтрата в продуктивные пласты.

ISSN 3030-3907

Методы исследования и приготовления буровых растворов.

Экспериментальные исследования проводились с использованием комплексного подхода, включающего подготовку модифицированных составов и оценку их технологических параметров в условиях, максимально приближенных к реальным условиям бурения.

Подготовка и характеристика материалов

В качестве базовой основы использовались водные суспензии бентонита (4–6 %). Глинопорошок предварительно высушивался и измельчался для обеспечения высокой степени гидратации. Модифицирующим агентом выступал силикат натрия (жидкое стекло) с силикатным модулем в диапазоне 2,4–3,0. Модуль кремнезема является ключевым фактором, определяющим вязкость и способность системы к структурообразованию.

Методика приготовления растворов.

Приготовление осуществлялось методом механического диспергирования с применением лабораторной мешалки со скоростью вращения 1000–1500 об/мин. Процесс включал следующие стадии:

1. Гидратация: Постепенное введение бентонита в воду и перемешивание в течение 20–30 минут для формирования устойчивой основы.
2. Ввод силиката: Раствор силиката натрия вводился в готовую суспензию строго постепенно при постоянном перемешивании. Это необходимо для предотвращения коагуляции и обеспечения равномерного распределения частиц.
3. Стабилизация: Контроль уровня pH в диапазоне 9–11 (оптимально 10,5–11,5) для поддержания силикатов в растворенном состоянии и предотвращения преждевременной поликонденсации.

Исследование фильтрационных характеристик

Фильтрационные свойства определялись как способность жидкой фазы проникать через пористую среду под действием давления.

- **Стандартные условия:** Испытания проводились на **фильтр-прессе API** при давлении **0,7 МПа (100 PSI)** в течение 30 минут при комнатной температуре.
- **HTHP-условия:** Для моделирования глубокого бурения применялся **HTHP фильтр-пресс**. Параметры испытаний составляли: температура **100–150 °C**, перепад давления **3,5–7,0 МПа**. Образцы могли предварительно выдерживаться в автоклавах в течение 16 часов для оценки термической стабильности.

Контролируемые параметры

ISSN 3030-3907

Основными показателями эффективности являлись объем фильтрата (мл), собираемый в градуированный цилиндр, и толщина фильтрационной корки (мм). Минимизация этих значений свидетельствует о формировании плотного защитного экрана, снижающего риск повреждения коллектора и возникновения дифференциальных прихватов. Дополнительно контролировались реологические параметры на вискозиметре (тип Fann 35) для подтверждения стабильности структуры

Результаты экспериментальных исследований.

В ходе проведенных лабораторных испытаний был выполнен комплексный анализ влияния концентрации силикатных реагентов и температурного фактора на основные технологические параметры буровых растворов. Основное внимание уделялось фильтрационным характеристикам, состоянию защитной корки и сохранению стабильности системы в условиях, имитирующих глубокое бурение.

Исследование фильтрационных свойств и коркообразования

Экспериментальные исследования показали прямую зависимость между концентрацией силикатных добавок и фильтрационными характеристиками бурового раствора. В качестве базовой системы использовался глинистый раствор на основе бентонита, в который последовательно вводился силикат натрия (жидкое стекло).

Согласно полученным данным (Таблица 3.2), увеличение содержания силикатов в диапазоне от 0 до 3 % приводит к интенсивному снижению водоотдачи:

Таблица 3.2

Влияние силикатных добавок на фильтрационные свойства

Концентрация силикатов (%)	Объем фильтрата (мл)	Толщина фильтрационной корки (мм)
0	14	2.5
1	11	2.0
2	8	1.6
3	7	1.4

- **Объем фильтрата:** для базового раствора показатель составил 14 мл; при введении 1 % силикатов — 11 мл; при 2 % — 8 мл; при достижении 3 % концентрации — **7 мл**. Таким образом, объем фильтрата снизился ровно в два раза по сравнению с исходной системой.
- **Толщина фильтрационной корки:** наблюдалось закономерное уменьшение толщины осадка на фильтре с **2,5 мм** (базовый раствор) до **1,4 мм** (при 3 % силикатов).

ISSN 3030-3907

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что введение силикатных реагентов способствует формированию более плотной и малопроницаемой структуры защитного экрана. Это объясняется способностью силикатов выступать в роли активного кольматанта, заполняющего поровое пространство фильтрационной корки и уплотняющего её за счет взаимодействия с частицами твердой фазы.

Оптимизация состава

На основании сопоставления фильтрационных и реологических показателей (Таблицы 3.1 и 3.2) установлено, что оптимальные показатели фильтрации (8 мл) и толщины корки (1,6 мм) достигаются при концентрации силикатов 2,0 %. При данном значении обеспечивается эффективное управление водоотдачей без избыточного загущения раствора, которое наблюдается при концентрациях выше 2,5–3,0 %, где пластическая вязкость возрастает до 16–18 мПа·с, что может ухудшить прокачиваемость системы.

Таблица 3.1

Влияние концентрации силикатов на реологические свойства бурового раствора

Концентрация силикатов (%)			Пластическая вязкость PV (мПа·с)	Предел текучести YP (Па)
0	32	20	12	8
1	36	23	13	10
2	41	27	14	13
3	48	32	16	16

Таблица 3.2

Влияние силикатных добавок на фильтрационные свойства

Концентрация силикатов (%)	Объем фильтрата (мл)	Толщина фильтрационной корки (мм)
0	14	2.5
1	11	2.0
2	8	1.6
3	7	1.4

Исследование влияния температурного фактора.

Исследование поведения системы при нагреве проводилось в специальных термостатируемых автоклавах с выдержкой в течение 16 часов. Эксперименты показали высокую стабильность защитных свойств силикатной композиции. При нагреве раствора с 2 % содержанием силикатов от 25 °C до **150 °C** наблюдались следующие изменения (Таблица 3.8):

ISSN 3030-3907

Таблица 3.8

Влияние температуры на фильтрационные свойства

Температура (°C)	Объем фильтрата (мл)	Толщина корки (мм)
25	8	1.6
80	9	1.7
100	10	1.8
120	11	1.9
150	12	2.0

- **Объем фильтрации** увеличился умеренно — с 8 мл до **12 мл**.
- **Толщина корки** возросла незначительно — с 1,6 мм до **2,0 мм**.

Такая динамика свидетельствует о высокой термостойкости системы. В отличие от традиционных полимерных растворов, склонных к деструкции при температурах выше 120 °C, силикатные структуры сохраняют свою целостность. Оценка стабильности дисперсной системы подтвердила, что даже после длительного теплового воздействия при температурах до 150 °C не наблюдается значительного осаждения твердых частиц, расслоения или разрушения коллоидной структуры раствора. Силикатные соединения стабилизируют систему, предотвращая агрегацию частиц при повышенных температурах

Обсуждение результатов исследования.

Полученные в ходе экспериментальных исследований данные о значительном снижении водоотдачи (на 30–50 % при вводе 2–3 % силиката натрия) находят научное обоснование в способности силикатных частиц формировать на стенках скважины плотную и малопроницаемую фильтрационную корку. Силикатные соединения в данной системе выполняют роль высокоэффективного активного кольматанта, который не только физически перекрывает поровое пространство горных пород, но и вступает в сложные физико-химические взаимодействия с компонентами пласта.

Первоочередным механизмом формирования защитного экрана является **химическая кольматация**. При проникновении фильтрата в пласт силикатные анионы контактируют с поровыми водами, содержащими поливалентные катионы кальция ($Ca2+$) и магния ($Mg2+$). Это приводит к мгновенным реакциям обмена с образованием нерастворимых осадков гидросиликатов, которые «запечатывают» микротрещины и поры размером от нескольких нанометров до десятков микрон. Данный процесс протекает чрезвычайно быстро, обеспечивая надежную изоляцию стенок скважины еще до момента формирования основной массы фильтрационного осадка.

ISSN 3030-3907

Вторым ключевым аспектом является процесс **поликонденсации** кремниевой кислоты. В условиях скважины при контакте с породой уровень pH среды в порах часто снижается до значений менее 9, что вызывает полимеризацию силикатных олигомеров и образование трехмерной сетки. В результате на поверхности породы формируется тонкая (10–50 мкм) и прочная **кремнегелевая пленка**. Она выполняет функции селективной мембраны, которая существенно ограничивает диффузию воды вглубь глинистых сланцев, предотвращая их набухание и армируя стенки ствола.

Особое внимание следует уделить **термической стабильности** создаваемых защитных слоев. В отличие от органических полимеров, склонных к деструкции, силикатные системы сохраняют технологические свойства при температурах до 150–180 °C. Более того, при нагреве свыше 80 °C процессы поликонденсации и хемосорбции силикатов на поверхности глинистых минералов только усиливаются. Это способствует созданию устойчивой «сцементированной» структуры, которая дополнительно укрепляет стенки скважины и обеспечивает стабильность фильтрационных показателей в экстремальных термобарических условиях глубокого бурения.

Анализ экспериментальных данных позволяет утверждать, что концентрация силикатов в диапазоне **1,5–2,5 %** является наиболее эффективной. Превышение этого уровня (свыше 3 %) приводит к избыточному упрочнению коллоидной сетки и резкому росту вязкости, что может затруднить циркуляцию раствора. При оптимальной же концентрации формируется тонкая корка с низким коэффициентом трения. Это критически важно для предотвращения дифференциальных прихватов бурильного инструмента. Применение данной технологии позволяет не только повысить устойчивость ствола в интервалах нестабильных глинистых отложений, но и сохранить коллекторские свойства пласта, минимизируя глубину проникновения фильтрата и снижая скин-фактор

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябченко В. И. Управление свойствами буровых растворов. – М.: Недра, 1990. – 230 с.
2. Кистер Э. Г. Химическая обработка буровых растворов. – М.: Недра, 1972. – 392 с. (также упоминается издание 2013 г. «Химия буровых растворов»).
3. Паус К. Ф. Буровые растворы. – Изд. 2-е. – М.: Недра, 1973. – 304 с..
4. Токунов В. И., Хейфец И. Б. Гидрофобно-эмульсионные буровые растворы. – М.: Недра, 1983. – 167 с.
5. Рязанов Я. А. Энциклопедия по буровым растворам. – Оренбург: Летопись, 2005. – 664 с.

ISSN 3030-3907

6. Аветисов А. Г. Буровые растворы и их свойства. – М.: Недра, 2018. – 320 с.
7. Булатов А. И., Проселков Ю. М., Шаманов С. А. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2017. – 568 с.

ISSN 3030-3907