

На правах рукописи

СТАДУХИН АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ
СМАЗОЧНЫХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ НАКЛОННО
НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ОКОНЧАНИЕМ**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Тюмень - 2006

Работа выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью «Тюменский научно-исследовательский и проектный институт природного газа и газовых технологий» (ООО «ТюменНИИгипрогаз»)

Научный консультант - кандидат технических наук
Штоль Владимир Филиппович

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Бастриков Сергей Николаевич
- кандидат технических наук, доцент
Паршукова Людмила Александровна

Ведущая организация - Тюменское отделение Сургутского
научно-исследовательского и проектного
института нефти
(ТО «СургутНИПИнефть»)

Защита состоится 14 апреля 2006 г. в 16-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.273.01 при Тюменском государственном нефтегазовом университете (ТюмГНГУ) по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. 50 лет октября, 38.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотечно-информационном центре ТюмГНГУ по адресу: 625039, г. Тюмень, ул. Мельникайте, 72, каб. 32.

Автореферат разослан 14 марта 2006 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета,

доктор технических наук, профессор

В.П. Овчинников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

В топливно-энергетическом комплексе РФ добыча газа и газоконденсата во многом определяет рост внутреннего валового продукта страны. Прирост разведанных запасов, наращивание объёмов добычи углеводородного сырья напрямую связаны с повышением эффективности строительства газовых и газоконденсатных скважин на месторождениях Крайнего Севера в т.ч. в Надым-Пур-Тазовском регионе, где сосредоточены основные объёмы эксплуатационного и разведочного бурения ОАО «Газпром». Объём разведочного бурения в последние годы заметно увеличился, а его доля в структуре буровых работ достигла 25 %. С усложнением геолого-технических условий строительства скважин наметилась тенденция роста аварийности, в которой основную долю занимают прихваты бурильного инструмента и обсадных труб. Так за четыре года на предприятиях ОАО «Газпром» зарегистрировано более семидесяти аварий. Из них 42 % связаны с прихватами, на ликвидацию которых затрачено 67,8 млн. рублей и 15,7 тыс. часов календарного времени. Это свидетельствует о том, что традиционно применяемые способы профилактики прихватов в сложившихся условиях оказались малоэффективными и требуют совершенствования. Актуальность этой проблемы особенно возрастает с ростом объёмов горизонтального бурения и увеличением глубины бурения скважин в аномальных термобарических условиях при наличии высокопроницаемых осыпающихся и набухающих пород.

Цель работы

Повышение эффективности бурения наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием путем разработки и применения составов смазочных реагентов при бурении и спуске обсадных колонн.

Основные задачи исследований

1. Анализ современного уровня и состояния изученности влияния смазочных реагентов на технологические параметры пресных полимер-глинистых растворов с учётом геолого-технических условий их применения.

2. Разработка методик испытаний и метрологическое обоснование точности (погрешности) определения смазочных свойств буровых растворов. Совершенствование испытательного оборудования для измерений смазочных свойств бурового раствора. Стендовые испытания технологической эффективности применяемых смазочных реагентов.

3. Экспериментальные исследования и разработка состава многофункциональных смазочных компонентов буровых растворов для строительства наклонно направленных скважин с горизонтальным окончанием.

4. Проведение опытно-промысловых испытаний смазочных реагентов и отработка их составов с целью промышленного производства.

5. Разработка нормативно-технической документации по технологии применения смазочных реагентов и проведению входного контроля их качества на месте производства буровых работ.

Научная новизна выполненной работы

1. Выявлен нелинейный эффект взаимодействия жирных кислот с гликолями и экспериментально обосновано их оптимальное соотношение в составе смазочного реагента на основе соевого масла.

2. Научно обоснован и экспериментально подтвержден ингибирующий эффект смазочных реагентов на основе растительных масел, обеспечивающий снижение скорости гидратации монтмориллонитовых глинистых пород.

3. Эмпирически установлено и научно обосновано, что с увеличением контактных давлений (нагрузки) и коэффициента трения при взаимодействии двух стальных поверхностей в среде бурового раствора, погрешность измерения коэффициента трения уменьшается в квадратичной зависимости. С уменьшением коэффициента трения между фильтрационной коркой и цилиндрическим образцом погрешность его измерений линейно увеличивается.

Практическая ценность и реализация работы

1. Разработан состав морозоустойчивой смазки на основе концентрата соевого масла, гликоля, оксидата натрия для обработки буровых растворов. На

практике доказано, что эффективность его применения не уступает импортным (E.P. Lube) и лучшим отечественным (ФК-2000 плюс) аналогам.

2. Разработан состав порошкообразной кольматирующей смазки типа Микан-40С (ТУ 5725-005-56864391-2005) на основе слюды (флогопит, мусковит) с модификацией концентратом соевого масла. На практике при спуске обсадных колонн в скважину с горизонтальным окончанием доказана высокая эффективность смазки.

3. Разработаны и внедрены в практику буровых работ ОАО «Газпром» и проектирования строительства скважин нормативные документы, регламентирующие технологию применения новых смазочных материалов на основе концентрата соевого масла:

- НД 00158758-265-2003 «Регламент по технологии бурения и крепления газовых скважин на Песцовом месторождении»;
- НД 00158758-267-2003 «Рекомендации по использованию новых высокомолекулярных реагентов и материалов для приготовления и обработки буровых растворов».

4. Разработаны и внедрены усовершенствованный прибор типа ФСК (патент № 42319), комплект методик выполнения измерений фрикционных свойств бурового раствора и фильтрационной корки.

5. Обоснованы численные значения метрологических нормативов (показателей повторяемости, воспроизводимости, точности) выполнения измерений смазочных свойств буровых растворов и фильтрационных корок.

6. Разработаны и введены в действие распоряжением ОАО «Газпром» документы для осуществления входного контроля, регламентирующие технические требования к смазочным реагентам и методы контроля их качества:

- СТО Газпром РД 2.1-146-2005 «Смазочные компоненты буровых растворов. Технические требования»;
- СТО Газпром 2.3-2-011-2005 «Методика выполнения измерений скорости износа и коэффициента трения на машине трения МТ-2»;

- СТО Газпром 2.3-2.012-2005 «Методика выполнения измерений коэффициента сдвига (липкости) глинистой корки на приборе ФСК-4»;

- НД 00158758-252-2003 «Буровые растворы. Методика выполнения измерений коэффициента трения и предельного давления прочности смазочной пленки на тестере предельного давления и смазывающей способности фирмы «OFITE» (США)».

Апробация результатов исследования

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной научно-технической конференции, посвящённой 40-летию Тюменского государственного нефтегазового университета «Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе» (Тюмень, 2003); XIII и XIV конференции молодых учёных и специалистов ТюменНИИгипрогаз «Проблемы развития газовой промышленности Западной Сибири» (Тюмень, 2004 и 2006); Международной научно-технической конференции, посвящённой памяти Мавлютова М.Р. «Повышение качества строительства скважин» (Уфа, 2005); Учёном Совете института ООО «ТюменНИИгипрогаз» (Тюмень, 2004-2005); научно-технических семинарах кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ТюмГНГУ (Тюмень, 2006).

Публикации

По теме диссертации автором опубликовано 6 печатных работ в открытой печати.

Объём и структура работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх разделов, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников (83 наименования) и четырёх приложений. Изложена на 114 страницах машинописного текста, содержит 14 таблиц и 4 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы, цель, основные задачи, научная новизна и практическая ценность проведенных исследований.

В первом разделе приводится анализ результатов научных исследований, выполненных ранее.

В последние годы смазочные добавки для буровых растворов из разряда вспомогательных веществ специального назначения, как они ранее классифицировались, переходят в состав основных реагентов. Это вызвано тем, что при бурении наклонных и горизонтальных скважин роль смазочных реагентов значительно возрастает для снижения силы трения труб о стенки скважины и обеспечение безаварийной проводки ствола и спуска обсадных колонн.

Исследованиями Булатова А.И. показано, что из основных функций бурового раствора при бурении скважин со сложным профилем, смазывающая способность является наиболее важной. В результате исследований, выполненных научными коллективами, возглавляемыми Ангелопуло О.К., Андерсоном Б.А., Булатовым А.И., Бастриковым С.Н., Кошелевым А.Т., Поляковым В.Н., Шариповым А.У. исследован ряд эффективных смазочных добавок, применение которых существенно повышает эффективность бурения скважин.

Исследованиями Кистера Э.Г., Brovning W.C., Rosenberg M., Tailler R. установлено, что противоизносным действием при больших контактных давлениях обладают различные карбоновые кислоты, спирты и их производные, активность которых возрастает с ростом длины цепи радикалов. Для буровых растворов лучшие результаты дают непредельные жирные кислоты с одной, двумя, тремя двойными связями и цепями, содержащими не менее 8-12 атомов углерода. Яровым А.Н., Жидовцевым Н.А., Гильманом К.М. установлено, что смазочные добавки растительного и животного происхождения более эффективны, чем смазки на основе углеводородного сырья. Высокие смазочные свойства буровому раствору придают жирные кислоты касторового масла, лярдового масла, таллового масла. Широкое применение находят кубовые остатки, содержащие продукты перегонки жирных кислот. Мотылёвой Т.А., Верховской Н.Н., Любимовым В.С. предложены смазочные добавки на жировой основе, которые состоят из легкого таллового масла и гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости (ГКЖ-10, ГКЖ-11). Для условий солевой агрессии разрабо-

тана смазочная добавка, содержащая отход производства адипиновой кислоты – смесь дикарбоновых кислот при соотношении 12 % ДКК, 37,5 % ГКЖ-10, 50 % ЛТМ. Группой исследователей: Коноваловым Е.А., Мойсой Ю.Н., Рябоконе́м А.А., Гноевых А.Н. разработаны смазочные композиции на основе масел и жиров растительного и животного происхождения – серия реагентов с торговым наименованием «Жирма». БашНИПИнефть разработан ряд эффективных смазочных добавок на основе модифицированных кислот талловых масел (ИКБ-4В, ИКБ-4ТМ, ДСБ-4ТТП, ДСБ-4ТМП). Жирные кислоты сырого и легкого талловых масел являются основными компонентами смазочных композиций, разработанных Четвертнёвой И.А., Утумбаевой В.Н., Гриневским И.Н., Андерсоном Б.А.

Матякубов М.Ю., Махоро В.А., Чичканова Т.В., Конесев Г.В., Мулюков Р.А., Байнозарова Э.Л., Шайхутдинов Р.Т. установили, что эффективными смазочными добавками для буровых растворов являются модифицированные кубовые остатки растительных масел с реагентом Т-80 или кубовые остатки производства синтетических жирных кислот с этилендиамином. В ОАО НПО «Бурение» на основе исследований Гарьяна С.А., Кузнецовой Л.П., Мойсы Ю.Н., Фроловой Н.В., Васильченко С.В., Бармотина К.С., Бортова А.В., Арсланбекова А.Р. разработан класс экологически безопасных и эффективных смазочных добавок серии «ФК». Мойса Ю.Н., Пеньков А.И., Вахрушев Л.П. разработали и запатентовали серию смазочных добавок на основе жирных кислот высшего ряда с длиной углеродной цепи C_8 и более. Широкое распространения в практике буровых работ в Западной Сибири получили смазочные композиции на основе рыбожировых продуктов разработанные и запатентованные Бастриковым С.Н.

Накопленные экспериментальные данные в области изучения процессов трения и смазочных добавок для бурения показывают, что эффективность смазочного материала определяется свойствами граничных пленок, которые образуются из смазочного материала на трущихся металлических поверхностях в результате адсорбции. Причем плотность покрытия поверхности смазочной

плёнкой зависит от пространственной структуры молекул смазки и положения полярной группы. Эффективность снижения трения слоями адсорбированных молекул с одинаковой длиной цепи радикалов уменьшается в ряду: жирные кислоты; эфиры жирных кислот; спирты; углеводороды. Пленки, образовавшиеся в результате хемосорбции молекул смазки с кислотными группами, представляют собой органометаллические мыла и характеризуются более высокой устойчивостью к сдвигу. Они менее чувствительны к термическому воздействию, чем пленки из соответствующих адсорбированных молекул, не содержащих подобных функциональных групп.

Анализ отечественных научных работ в разработке смазочных реагентов и технологий их применения позволяет с некоторой долей условности выделить два основных направления – «уфимское» и «краснодарское». Их объединяет то, что основным объектом исследований представителей этих «школ» является сам буровой раствор и процессы, происходящие в его структуре на границе контакта с твердыми поверхностями. Изучению механизма образования фильтрационных корок бурового раствора с учетом управления их смазочными свойствами не уделялось должного внимания. Следует выделить особую научную значимость исследований, выполненных под руководством Мавлютова М.Р. с использованием прибора ФСК конструкции Уфимского нефтяного института. На основе анализа результатов, предшествующих исследованиям, установлено, что одним из перспективных направлений в повышении смазочных свойств бурового раствора может быть дальнейшее изучение механизма формирования фильтрационных корок в условиях кольматации, гидратации, адсорбции и адгезии. Следует отметить, что процессы кольматации пористых сред, снижающие вероятность дифференциальных прихватов недостаточно изучены. Требуется дальнейших исследований взаимодействие смазок с глинистыми частицами выбуренной породы при формировании фильтрационного слоя, определяющего проницаемость глинистой корки.

Второй раздел посвящён экспериментальным исследованиям смазок на основе растительных масел и метрологическому обоснованию погрешности измерений их фрикционных свойств.

Анализ показывает, что научные работы велись в основном в направлении улучшения фрикционных свойств бурового раствора путём управления коэффициентом трения и скоростью износа на контакте «сталь-сталь». Сравнение результатов научных исследований предшественников в большинстве случаев становится невозможным из-за отсутствия метрологически обоснованных нормативов и единой методики выполнения измерений смазочных свойств буровых растворов и фильтрационных корок. Метрологические нормативы включают следующие показатели: показатель повторяемости (σ_τ), показатель воспроизводимости (σ_{Rx}) и показатель точности ($\pm\sigma_x$). Последний является основным и определяет границы допускаемой относительной погрешности измерений. При метрологических исследованиях были применены методы математической статистики с использованием критерия Кохрена. Экспериментально установлено, что с увеличением контактного давления на металлический стержень машины трения МТ-2 с (4 до 12) МПа погрешность измерения коэффициента трения «стержень–кольцо» резко уменьшается с (53 до 16) % (рисунок 1). Доказано, что с увеличением коэффициента трения между стальными образцами «призма-кольцо» погрешность его измерения на машине трения OFITE уменьшается. В пределах диапазона коэффициента трения, характерного для практики буровых работ (0,1–0,3) погрешность составляет от 6,8 - 8,7 % (рисунок 2). Установлено, что с увеличением коэффициента трения на контакте «фильтрационная корка–цилиндр» от 0,1-0,15 до 0,5-0,6, погрешность его измерения на ФСК линейно уменьшается с (23 до 16,5) %.

Имея сложное пространственно-молекулярное строение, смазочные реагенты могут выполнять другие функции, в том числе ингибитора. Исследования влияния смазочных реагентов на динамику гидратации глинистого материала проводились на приборе Ярова–Жигача. В качестве глинистого материала использовалась порошкообразная «богандинская» глина – аналог глинистого

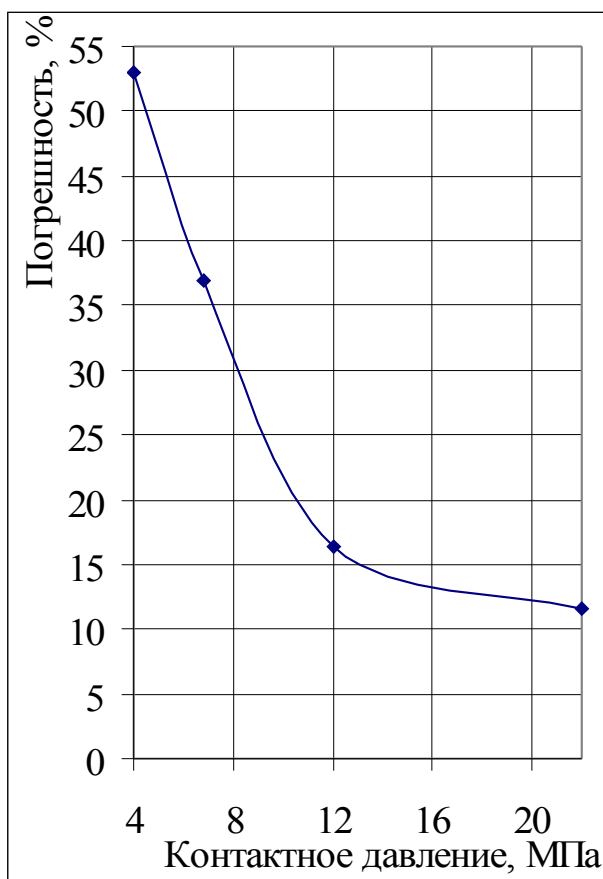


Рисунок 1 - Результаты метрологических исследований показателя точности выполнения измерений коэффициента трения на контакте – «стержень–кольцо» (MT-2)

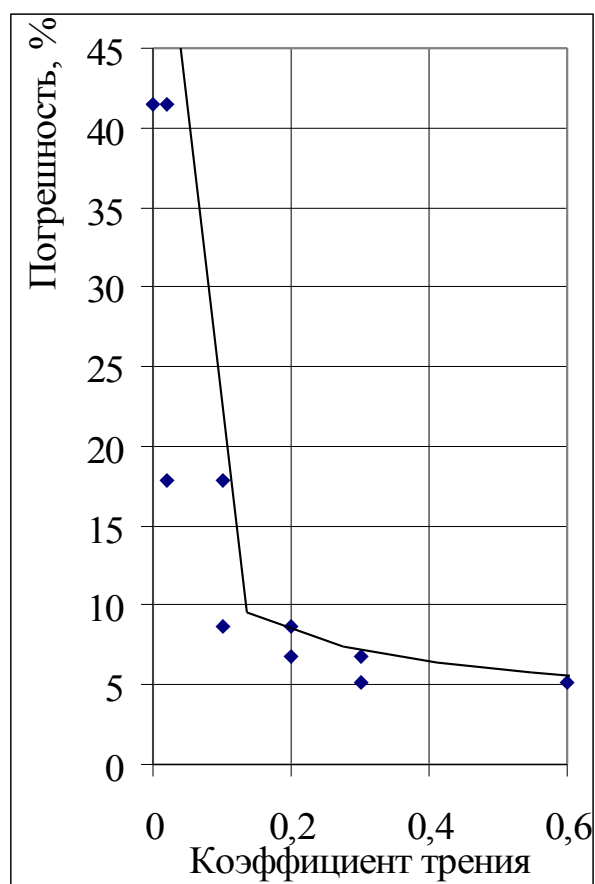


Рисунок 2 - Результаты метрологических исследований показателя точности выполнения измерений коэффициента трения на контакте – «призма–кольцо» (OFITE)

шлама выбуренной горной породы. Суть экспериментов заключалась в измерении динамики набухания в водных средах образца глинистого материала, содержащего монтмориллонит. Минералогический состав образцов глинистого материала оставался постоянным. Установлено, что гидратация глины интенсивно происходит в течении первых 10–15 минут. Через 2-3 часа набухание замедляется, а затем скорость гидратации стабилизируется и мало изменяется в течении длительного времени (7 суток). Для сравнительной оценки свойств смазочных реагентов в исследованиях были использованы дистиллированная вода и реагент KLA-CURE (смесь полиаминокислот и поверхностно-активных веществ). Этот реагент широко применяется в практике работ сервисной компании M-I SWACO в качестве ингибитора глин. Результатами исследований выявлено, что по характеру влияния на гидратацию глин смазки условно разделя-

ются на три группы. Установлено, что представители I группы (BW SSL-5, E.P. LUBE, BW BIOLUBE) провоцируют гидратацию. Даже в сравнении с дистиллированной водой эти смазки увеличивают набухание глины. Основная масса (II группа) исследованных смазок (в том числе ЛТМ, ТМ, Брин, Кемфор МСМ, Экос, СМАД и др.) обладает ингибирующим эффектом. По динамике гидратации эти смазки занимают промежуточное место между водой и KLA-CURE. Выявлена высокая ингибирующая способность смазок (III группа) отечественного производства (Спринт, Жирма-1, Кемфор ЕДТ), которые оказались более эффективными в сравнении с KLA-CURE (ингибитором глин). Полученные результаты, имея практическое значение для выбора смазочного компонента бурового раствора, использованы в дальнейших исследованиях по разработке составов смазочных реагентов.

На основе проведённых нами исследований определена перспективность использования концентрата «отработанного» соевого масла (ОСМ). Этот продукт имеет следующие характеристики: плотность от 1027 до 1092 кг/м³; кислотное число от 4,61 до 5,90 мг КОН/г. Установлено, что ОСМ эффективно снижает коэффициенты трения как на контакте «сталь–сталь» так и «фильтрационная корка–сталь» (рисунок 3).

Экспериментальными исследованиями восьми рецептур смазочного реагента с различной концентрацией компонентов, выявлен оптимальный состав включающий: концентрат ОСМ 47–48 % вес.; эмульгатор (диссолван) 9–10 % вес.; антифриз – диэтиленгликоль (ДЭГ) 15–19 % вес., а также триполифосфат натрия (ТПФН) или оксидат натрия до 2 %, остальное вода. Температура загустевания смазки минус 11 °С. При более низких температурах (до минус 30 °С) смазка превращается в пасту, которая быстро разогревается до текучего состояния. Экспериментально установлено, что при добавке 1,0–1,5 % смазки к малоглинистой суспензии коэффициент трения «сталь–сталь» уменьшается почти в 10 раз и имеет уникально низкие значения (0,07) в отличие от аналогов ФК–2000 плюс (0,104–0,130), E.P. LUBE (0,170–0,190) (рисунок 3а). При изготовлении смазки важно соблюдать последовательность ввода компонентов.

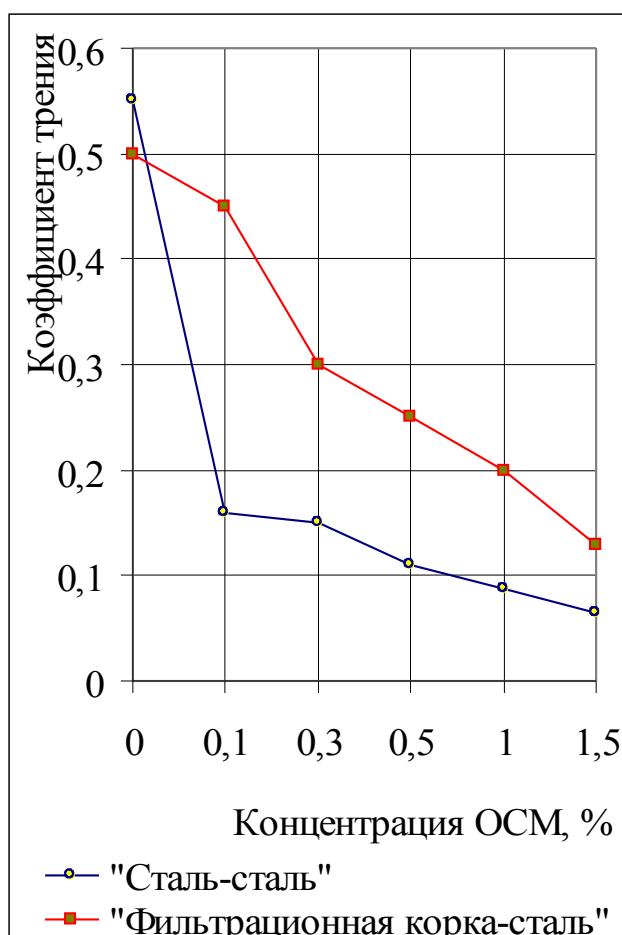


Рисунок 3 – Влияние концентрации ОСМ на коэффициент трения на контакте «сталь-сталь» и «фильтрационная корка-сталь»

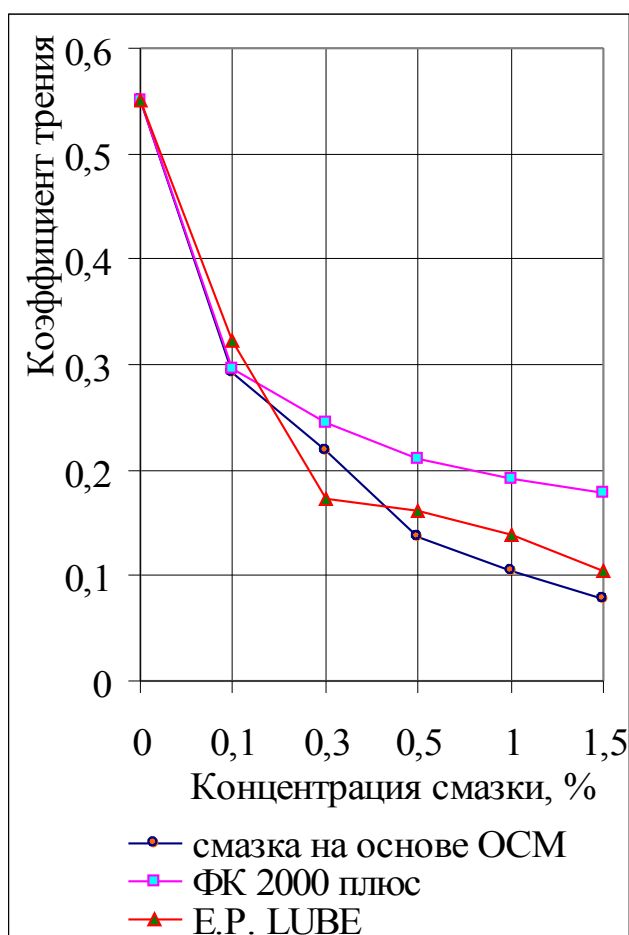


Рисунок 3а – Влияние концентрации ОСМ и его аналогов на коэффициент трения на контакте «сталь-сталь»

При перемешивании к соевому маслу добавляется водный раствор ТПФН (или оксидат натрия), затем дисолван, а после этого ДЭГ.

Экспериментально выявлен нелинейный эффект взаимодействия основных компонентов смазочного реагента (ОСМ и ДЭГ). Исследования проводились с использованием 10 % глинистой суспензии, приготовленной из глинопошка с выходом 6,2 м³/т. Глинистая суспензия была разделена на три части, которые имели одинаковые технологические параметры: плотность 1060 кг/м³, коэффициент трения фильтрационной корки 0,5; показатель фильтрации 18,7 см³/30мин; коэффициент трения на контакте «сталь-сталь» 0,55. Установлено, что добавка ДЭГ к глинистой суспензии снижает коэффициент трения «сталь-сталь» на 25 % (с 0,55 до 0,45). Обработка этой же суспензии ОСМ снижает коэффициент трения на 40 % (с 0,55 до 0,39). Одновременное (совместное) при-

менение ОСМ и ДЭГ в соотношении 2,5 : 1 снижает коэффициент трения «сталь-сталь» в 3,7 раза (с 0,55 до 0,15). Для коэффициента трения фильтрационной корки нелинейный эффект проявляется в меньшей степени. Снижение коэффициента трения «фильтрационная корка-сталь» составило 57 %, а показатель статической фильтрации уменьшился с 18,7 до 14 см³/30 мин. Экспериментально доказано, что смазка на основе ОСМ обладает ингибирующим эффектом. Исследования проведены на приборе Ярова-Жигача с использованием глины содержащей монтмориллонит. Экспериментально доказано, что 1 % раствор смазки на основе ОСМ в сравнении с дистиллированной водой

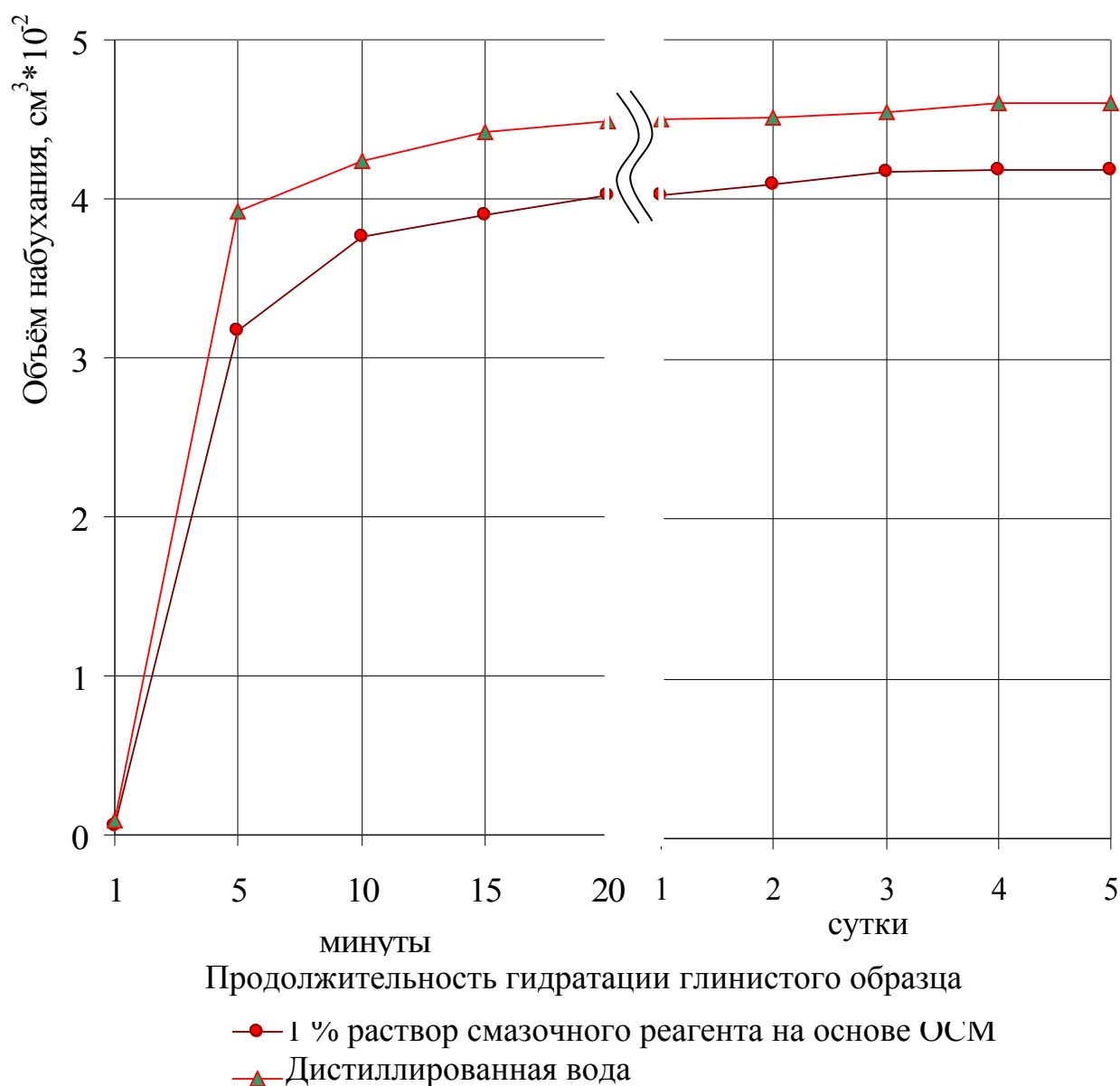


Рисунок 4 – Влияние смазки на основе ОСМ на гидратацию глинистого образца

снижает скорость гидратации глинистых частиц на 15-20 %. Этот эффект особенно проявляется в первые 20 минут гидратации (рисунок 4). Низкая скорость гидратации глины в растворе ОСМ сохраняется длительное время, более 5 суток (рисунок 4).

В третьем разделе изложены результаты экспериментальных исследований по разработке порошкообразных слюдосодержащих смазок для подготовки ствола к спуску обсадных колонн. Одной из причин прихватов обсадных колонн при их спуске в наклонно направленных скважинах с горизонтальным окончанием является механическое разрушение фильтрационной корки, сформировавшейся в процессе бурения. Предупреждение этого вида прихватов может быть обеспечено применением слюдосодержащих смазок, которые способны кольматировать проницаемые породы и восстанавливать фильтрационную корку и ее смазочные свойства. В связи с этим проведены исследования и разработана порошкообразная смазочная композиция «Микан-40С». Смазка содержит жирные кислоты отработанного соевого масла, которые нанесены на тонкоизмельчённый сорбент – мусковит. Мусковит имеет следующую характеристику: массовая доля слюды не менее 98 %; массовая доля минеральных примесей не менее 0,5%; массовая доля водорастворимых солей не более 0,3; концентрация водородных ионов в 10 %-ой водной суспензии в пределах 7,0-9,0; массовая доля остатка на сите № 0045K не более 5,0 %. В лабораторных условиях исследовано влияние смазочной композиции на технологические показатели буровых растворов. Результаты испытаний показали, что применение этой смазки снижает коэффициент трения («липкости») корки на 40-70 % и происходит уменьшение проницаемости глинистой корки до 23 %. При этом коэффициент трения «сталь-сталь» уменьшается на 28-62 %. Это позволяет сократить фильтрационные потери бурового раствора в условиях разбуривания высокопроницаемых пород.

В разработанной смазочной композиции происходит нелинейное усиление эффективности смазочного и противоприхватного действия отдельных компонентов смеси. Мусковит в качестве сорбента концентрирует жирные

кислоты соевого масла на стенках скважины, уменьшает «липкость» фильтрационной корки и снижает тем самым опасность прихватов буровых труб, способствует образованию более прочной пленки, служащей буфером между трущимися поверхностями. При этом ОСМ, являясь носителем жирных кислот, обеспечивает смазочный эффект и дополнительно ослабляет связь между пластинками мусковита, что позволяет им свободно перемещаться относительно друг друга при формировании фильтрационной корки.

Производство смазочной добавки «Микан-40С» организовано ЗАО «НПК Спецбурматериалы» по ТУ 5725-005-56864391-2005. Технологическая схема производства включает следующие операции: диспергирования слюды мусковит; дозирования слюды; разогрев и дозирования ОСМ; смешение компонентов; выгрузку и упаковку. Диспергирование слюды осуществляется на высокоскоростной роторно-струйной мельнице, оборудованной аспирационной системой. Затем слюда засыпается в бункер-дозатор, а ОСМ из тарированной однокубовой ёмкости с электроподогревом подается непосредственно в смеситель. Смешение осуществляется на лопастном смесителе «Вселуг» Торнадо-650К. Упаковка производится на фасовочной машине «Вселуг» НМК2-Ш в «биг-бэги» по 800 кг или на машине НМ-КВ в полипропиленовые мешки по 25 кг.

Проведены исследования и экспериментально обоснована замена слюды – мусковит на его аналог – флогопит. В качестве «модельных» растворов использовались пресный малоглинистый раствор (K_1) и утяжелённый баритом полимер-глинистый раствор (K_2). Для приготовления растворов применялся глинопорошок с выходом 15 м³/т. Состав смазок: 70 % твёрдого материала (флогопит или мусковит); 30 % соевого масла. Лабораторный шифр смазок: смазка «А» – на основе флогопита; смазка «Б» – на основе мусковита. Исследования проводились при концентрациях смазок 1 %, 2 % и 3 %. Установлено, что смазка «А» (флогопит) в отличие от смазки «Б» (мусковит) при одинаковой концентрации (1 % вес.) снижает показатель нелинейности реологической модели малоглинистой суспензии более чем в два раза (с 0,76 до 0,30). Экспе-

риментально установлено, что смазка «А» в составе необработанной глинистой суспензии (K_1) в сравнении со смазкой «Б» улучшает противоприхватные свойства глинистой корки. Так коэффициент трения снизился с 0,65 до 0,30, толщина глинистой корки уменьшилась на 25 % и составила 1,2 мм, а показатели статической и динамической фильтрации снизились на 16 % и 20 % соответственно. С использованием тестера проницаемости OFITE проведено исследование фильтрационных процессов в каналах диаметром 60 микрон при температуре 70 °С с репрессией 3,5 МПа. Установлено, что применение смазки «А» уменьшает проникновение жидкой фазы раствора в поровое пространство на 10-20 % в сравнении со смазкой «Б». Смазка «А» более эффективно снижает проницаемость фильтрационной корки на 15-25 % при концентрации смазки в растворе до 2 %. Результаты экспериментальных исследований по совершенствованию компонентного состава смазки «Микан-40С» использованы при корректировке технологии её производства в ЗАО «НПК Спецбурматериалы».

В четвёртом разделе приведены результаты промышленной апробации и разработки нормативных документов по технологии применения смазочных реагентов и контроля их качества.

Опытно–промысловые испытания смазывающей добавки на основе соевого масла проведены при бурении сеноманских наклонно направленных скважин 16381, 16382, 16150 Песцового ГКМ в составе полимер-глинистого раствора. Угол наклона ствола 45 градусов. Параметры бурового раствора составляли: плотность 1070-1100 кг/м³, условная вязкость 20-35 с, водоотдача 3,5-6,0 см³/30 мин. Основные компоненты бурового раствора: КМЦ, Унифлок, ОТП. Концентрация смазки в буровом растворе при бурении эксплуатационной колонны составила 0,5-1 %. После обработки бурового раствора липкость глинистой корки снизилась с 0,22-0,25 до 0,15-0,16, а коэффициент трения в 1,5-2,0 раза. Опытно-промысловые испытания смазки «Микан-40С» проведены при строительстве валанжинских наклонно-направленных скважин № 5470, 5468, 5471 Уренгойского ГКМ в процессе проработки ствола

перед спуском эксплуатационной колонны и фильтра-хвостовика. Угол наклона ствола 35 градусов. Анализ результатов промысловых работ показывает, что обработка раствора Микан-40С в количестве 0,8 % уменьшила липкость глинистой корки в 2,5 раза. Коэффициент трения на контакте стальных образцов уменьшился с 0,120 до 0,116. Эти испытания были продолжены на скважинах № 1531.1; 1532.2; 1540.1; 1540.2 Северо-Уренгойского месторождения с углом наклона ствола 80-85 градусов и протяженностью ствола 210–240 м. При спуске обсадной колонны посадок и «зависаний» не отмечалось, что было обусловлено снижением фрикционных свойств фильтрационной корки.

В 2004 году смазочные добавки на основе растительных масел в соответствии с планом внедрения новой техники ООО «Бургаз» использовались при строительстве более 90 скважин на месторождениях Надым-Пур-Тазовского региона (Северо-Уренгойском, Песцовом, Заполярном, Анерьяхинском ГКМ). Фактический экономический эффект составил 3625 тысяч рублей. Технология применения разработанных смазочных реагентов в составе буровых растворов регламентирована следующими нормативными документами: НД 00158758-265-2003 «Регламент по технологии бурения и крепления газовых скважин на Песцовом месторождении»; НД 000158758-267-2003 «Рекомендации по использованию новых высокомолекулярных реагентов и материалов для приготовления и обработки буровых растворов».

Практика применения смазочных реагентов для строительства наклонно-направленных скважин с горизонтальным окончанием свидетельствует о необходимости входного контроля их качества. В соответствии с «Концепцией технического регулирования в ОАО «Газпром»» защите буровых предприятий от поставок низкокачественной продукции придается особое внимание. В практике буровых работ реализуются мероприятия, связанные с добровольной сертификацией потребляемой продукции. В связи с этим возникла необходимость разработки корпоративных технических требований для сертифи-

кационных испытаний и входного контроля смазочных компонентов буровых растворов.

Технические требования к смазкам условно классифицированы по их назначению: смазки для обработки бурового раствора в процессе проводки ствола (бурения) и смазки, которые применяются в процессе подготовки ствола к спуску обсадных колонн. Технические требования к качеству смазок для подготовки ствола к спуску обсадных колонн регламентированы следующими показателями: условный коэффициент скольжения не более 0,6; условный коэффициент трения не более 0,5; влажность не более 6,0 %. Основные технические требования к смазывающим реагентам для обработки буровых растворов в процессе бурения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические требования к смазочным компонентам буровых растворов

Технические показатели качества	Нормируемые значения показателей качества буровых растворов		
	малоглинистый	утяжелённый	минерализованный
1 Условный коэффициент трения, не более	0,4	0,5	0,6
2 Условный коэффициент скольжения, не более	0,6	0,6	0,7
3 Пенообразующая активность, кг/м ³ , не более	20	5	20
4 Эмульгируемость в глинистом растворе, %, не менее	95	95	80
5 Температура затвердевания °С, ниже	минус 20	минус 10	минус 10

Разработаны методы испытаний для оценки технических показателей качества смазок. Для проведения испытаний регламентирован состав глинистой суспензии из «стандартного» бентонитового глинопорошка без поли-

мерной модификации с выходом 12 м³/т и содержанием монтмориллонита не менее 90 % (например, «Бентокон–Основа» по ТУ 5751–002–58156178–02). "Стандартная" глинистая суспензия готовится из расчёта обеспечения её условной вязкости в пределах 19–20 с. Смешение проводится при комнатной температуре (20±2 °С) в лабораторной мешалке со скоростью 11 тыс. об/мин. Эта суспензия используется для оценки качества смазок, предназначенных для обработки «малоглинистых» растворов. Для проведения испытаний смазок в составе «утяжелённого» раствора готовится 2 % глинистая суспензия "стандартного" глинопорошка и утяжеляется баритом до плотности 1800 кг/м³, стабилизируется КМЦ-700 (0,3 %). При исследовании смазок в «минерализованных» растворах используется глинистая суспензия "засолённая" 20 % хлористого натрия и 2 % хлористого кальция. Раствор стабилизируется КМЦ-700. Для определения пенообразующей активности смазывающего реагента "стандартная" глинистая суспензия с концентрацией смазки 0,5 % перемешивается в высокоскоростной мешалке (11 тыс. об/мин) в течение 5 минут при комнатной температуре. С помощью пикнометра определяется плотность этой суспензии. Разница плотностей «стандартной» глинистой суспензии и суспензии со смазкой является показателем пенообразующей активности смазочного реагента. Условный коэффициент трения глинистой суспензии и условный коэффициент скольжения (липкости) фильтрационной корки являются относительными величинами. С уменьшением величины «условного коэффициента» смазывающие свойства реагента увеличиваются, а прихватоопасность бурового раствора снижается.

На основе комплекса экспериментальных исследований разработан СТО Газпром РД 2.1-146-2005 «Смазочные компоненты буровых растворов. Технические требования». Нормативный документ после экспертизы в буровых предприятиях и научных организациях введен в действие распоряжением ОАО «Газпром». Корпоративные требования использованы в практике работ СЦ «Тюменгазпромсерт» при сертификации смазочных реагентов, в

ООО «Бургаз» при входном контроле смазок и ООО «ТюменНИИгипрогаз» при проектировании строительства скважин на месторождениях Крайнего Севера.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Определены перспективные направления совершенствования состава и технологии применения смазочных реагентов при строительстве наклонно-направленных скважин с горизонтальным окончанием. Обосновано применение жирных кислот растительных масел в том числе соевого масла.

2. Разработаны, аттестованы и внедрены в практику буровых работ ОАО «Газпром» методики выполнения измерений смазочных свойств бурового раствора и фильтрационной корки: НД 00158758-252-2003 «Буровые растворы. Методика выполнения измерений коэффициента трения и предельного давления прочности смазочной плёнки на тестере предельного давления и смазывающей способности 111-00 «OFITE» (США)»; СТО Газпром РД 2.3-2-011-2005 «Методика выполнения измерений скорости износа и коэффициента трения на машине трения МТ-2»; СТО Газпром РД 2.3-2-012-2005 «Методика выполнения измерений коэффициента сдвига (липкости) глинистой корки на приборе ФСК-4».

3. Экспериментально доказано, что при низких значениях показателя трения на контакте «сталь-сталь» (машина трения OFITE модели № 111) в диапазоне от 0,001 до 0,02 погрешность измерений составляет 41,7 %. С увеличением коэффициента трения от 0,02–0,10 до 0,10–0,30 погрешность снижается с (17,9 до 8,6) %. Доказано, что с уменьшением нагрузки с 12–22 МПа до 4–8 МПа на контакте двух стальных образцов (машина трения МТ-2) в среде бурового раствора погрешность определения коэффициента трения возрастает более чем в три раза. С уменьшением коэффициента трения на контакте «сталь–фильтрационная корка» (прибор ФСК-4) от 0,5–0,6 до 0,1–0,15 погрешность увеличивается с (16,5 до 23,0) %.

4. Усовершенствована конструкция прибора (типа ФСК) для определения смазочных свойств фильтрационной корки (патент № 42319). Разработана конструкторская документация, инструкция по эксплуатации и технические условия на изготовление (ТУ 4318-061-00158758-2004 «Прибор для исследования фрикционных свойств глинистых корок ФСК-4»).

5. Доказано, что смазочные реагенты на основе синтетического сложнэфирного масла, полиненасыщенного масла, полимера полиалкиленгликоля усиливает гидратацию глинистых минералов и увеличивают интенсивность набухания монтмориллонитсодержащей глины в 1,2–1,3 раза (в сравнении с водой). Смазки на основе жирных кислот природных масел, в т. ч. растительного происхождения снижают гидратацию более чем на 30 %.

6. Разработаны составы смазочных реагентов на основе соевого масла. Экспериментально обоснована эффективность морозоустойчивого смазочного реагента (отработанное соевое масло +дисолван +диэтиленгликоль +оксидат натрия или триполифосфат) для обработки бурового раствора в процессе бурения набухающих пород. Доказано, что созданная смазка дополнительно выполняет функцию ингибитора монтмориллонитовых глин.

7. Разработаны составы смазочного реагента на основе слюды (мусковит, флогопит) и соевого масла с торговым названием «Микан». Установлено, что обработка буровых растворов «Миканом» обеспечивает спуск обсадных труб в горизонтальном стволе скважины за счёт улучшения антифрикционных свойств создаваемого им кольматационного экрана. Производство порошкообразной смазки «Микан-40С» (ТУ 5725-005-56864391-2005) организовано в ЗАО «НПК Спецбурматериалы».

8. Проведены опытно-промысловые испытания и разработана технология обработки буровых растворов новыми смазочными реагентами. Технология регламентирована нормативными документами (НД 00158758-265-2003 и НД 00158758-267-2003) и применяется при проектировании и строительстве скважин на Крайнем Севере. В 2004 году фактический экономический эффект от применения смазок составил 3,6 млн. рублей.

9. Для входного контроля качества закупаемых смазок, в том числе импортного производства и проведения их сертификационных испытаний, разработан и введен в действие СТО Газпром 2.1-146-2005 «Смазочные компоненты буровых растворов. Технические требования».

Основные положения диссертационной работы нашли отражение в следующих печатных работах:

1. Стадухин А.В. Особенности химической обработки буровых растворов при строительстве эксплуатационных скважин на месторождениях полуострова Ямал (на примере Харасовейского ГКМ) / О.В. Шумилкина, А.В. Стадухин, // Проблемы развития ТЭК Западной Сибири на современном этапе: Междунар. науч.-техн. конф., посвящённой 40-летию Тюменского государственного нефтегазового университета.- Тюмень, ТюмГНГУ 2003. –Т.1.– С. 98-100.

2. Стадухин А.В. Экспериментальные исследования и промысловые испытания модифицированного глинопорошка и смазывающей добавки при бурении газовых скважин на Песцовом ГКМ // Проблемы развития газовой промышленности Западной Сибири: Сб. тез. докл. XIII науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов ТюменНИИгипрогаза.- Тюмень: ООО «ТюменНИИгипрогаз», 2004. – С. 174-176.

3. Стадухин А.В. Сравнительный анализ и оптимизация использования лубрикантов при строительстве скважин на месторождениях Крайнего Севера //Технологии ТЭК. Нефть и капитал. – 2005. - № 5(24). - С. 26-29.

4. Ноздря В.И. Разработка, производство и применение нового кольматирующего лубриканта для обработки буровых растворов / В.И. Ноздря, С.В. Плеханов, А.В. Стадухин, Р.В. Плаксин // Повышения качества строительства скважин - Уфа, 2005. – С. 88-91.

5. A.V. Stadukhin The optimisation of lubrication application during the construction of wells in the Extreme North fields. –М.: Oil & Capital, 2005 – P. 55-57.

6. Патент на полезную модель № 42319. Прибор для исследования фрикционных свойств глинистых корок / Г.В. Крылов, В.Ф. Штоль, Н.Г. Кашкаров, А.В. Стадухин, А.М. Кириенко, Ю.М. Печуркин, А.А. Шаховской – № 2004120340; Заявлено 09.07.2004; Оpubл. 27.11.2004, Бюл. № 33.

Соискатель

А.В. Стадухин

Подписано к печати 13.03.2006 г. Формат бумаги 60×84 1/16.

Печ. листов 1. Заказ № 125. Тираж 100 экз.

ООО «ТюменНИИгипрогаз», ООВ.

625019, г. Тюмень, Воровского, 2