

**БИОПОЛИМЕРНЫЙ БУРОВЫЙ РАСТВОР «ИКАРБ» ДЛЯ ВСКРЫТИЯ И ОСВОЕНИЯ  
ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ**

**Бу Хыу Куиет**

Научный руководитель доцент А.С. Бубнов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

**1. Система биополимерного раствора «ИКАРБ»**

**а) Описание системы**

Система биополимерного бурового раствора «ИКАРБ» специально разработана для максимального сохранения коллекторских свойств продуктивных пластов.

Одним из способов получения буровых растворов с максимально низким содержанием твердой фазы является создание промывочных жидкостей, обладающих повышенными тиксотропными свойствами. Для этого в промывочную жидкость вводятся добавки высокомолекулярных органических соединений, выполняющих роль структурообразователей. В качестве таких добавок наибольший интерес представляют микробные полисахариды, часто называемые биополимерами. В бурении скважин их применяют для регулирования вязкости, повышения удерживающей способности бурового раствора и интенсификации добычи нефти [1].

Биополимеры являются высокоочищенными разветвленными полимерами ксантановой смолы. Процесс их производства заключается в использовании микроорганизмов естественного происхождения, при ферментации которого получают ксантановую смолу. Ксантановая смола извлекается путем осаждения изопропиловым спиртом, затем измельчается и высушивается.

Главным свойством тиксотропных систем на основе биополимеров, в отличие от других полимеров на основе полисахаридов, является способность при небольших концентрациях создавать системы, обладающие псевдопластичностью, то-есть аномалией вязкости: обеспечение высокой вязкости в межтрубном пространстве (пространстве, ограниченном поверхностью ствола скважины и внешней поверхностью буровой трубы) и низкой вязкостью в области насадок долота. В результате этого гидравлическая мощность, доставляемая к долоту, увеличивается и возрастает скорость проходки, а высокая вязкость в затрубном пространстве препятствует осаждению выбуренных частиц.

В состав системы бурового раствора ИКАРБ, кроме биополимера, входят высокоочищенные полимеры - полианионная целлюлоза ЭКОПАК SL или R, модифицированный крахмал ИКР, бактерицид, пеногаситель, КС1, мраморная крошка определенного фракционного состава, смазывающая добавка и реагенты для регулирования показателя рН.

Компоненты системы подобраны особым образом, что позволяет получить растворы с минимальной фильтрацией и уникальными реологическими свойствами [1].

*Таблица 1*

*Характеристика химических реагентов биополимерного раствора ИКАРБ*

Наименование компонентов бурового раствора	Описание и назначение реагента
Хлористый калий	Сухая кристаллическая нетоксичная соль, плотность 1,98г/см <sup>3</sup> . Служит для ингибирования глинистых минералов.
ХВ-полимер	Структурообразователь системы, обеспечивающий стабильное регулирование реологических свойств биополимер (ксантановая смола высокой степени очистки), используется для удержания твердой фазы во взвешенном состоянии. Прогрессирующая прочность (структура) раствора обеспечивает отличное удержание карбонатного утяжелителя, а низкая пластическая вязкость – хорошие реологические свойства. Разрушается 15% соляной кислотой.
Экопак R, SL	Регулятор вязкости, является вторичным реагентом по контролю за фильтрацией в системе «ИКАРБ» на соленой основе и первичным – на пресной воде
ИКР	Диспергирующий полимерный понизитель фильтрации (производная крахмала), эффективный как в пресноводных растворах, так и в растворах на основе рассолов. Разлагается 15% соляной кислотой.
ИКБАК	Бактерицид, предназначенный для предотвращения бактериального разложения органических компонентов бурового раствора. Смесь органических веществ и катионных производных в водном растворе.
ИКЛУБ	Смазывающая добавка, анионная смесь жиров и специальных добавок.
ИККАРБ	Наполнитель (утяжелитель), представляет собой молотый мрамор, имеющий удельную плотность 2,7 г/см <sup>3</sup> , используется для утяжеления раствора и экранирования пласта. Разрушается 15% соляной кислотой.
ИКДЕФОМ	Пеногаситель, противовспениватель
Каустическая сода	Применяется для регулирования щелочности раствора (рН)

**в) Реологические свойства системы «ИКАРБ»**

Как отмечалось выше компоненты бурового раствора системы «ИКАРБ» подобраны таким образом, что позволяет получить растворы с минимальной фильтрацией и уникальными реологическими свойствами. При высоких градиентах сдвига (истечение из насадок долота, движение в гидроциклонных установках) эффективная и пластическая вязкость раствора резко снижается, а условная вязкость остаётся минимальной. При движении бурового биополимерного раствора в затрубном пространстве, вязкость бурового раствора возрастает. Режим течения - псевдопластичный, что позволяет раствору полностью выносить выбуренный шлам из наклонной и горизонтально направленной частей ствола скважины и легко удалять его из раствора в системе очистки.

Псевдопластичные свойства буровому биополимерному раствору придаёт наличие в системе разветвленного ХВ полимера. Уникальной особенностью биополимеров является снижение вязкости при увеличении скорости сдвига (например, на насадках долота), что объясняется разворачиванием цепей биополимера и ориентирование их таким образом, что течению оказывается минимальное сопротивление. При снижении скоростей (движение бурового биополимерного раствора в затрубном пространстве) первоначальная структура раствора устанавливается, как только исчезают усилия сдвига.

Вязкость при низкой скорости сдвига и гелеобразная структура раствора помогают создать сопротивление при фильтрации раствора в пласт. Вследствие этого скорость фильтрации значительно уменьшается при удалении в пласт, так как скорость сдвига быстро стремится к нулю.

Ввиду многообразия, сложности и ответственности функций, выполняемых биополимерным буровым раствором в процессе бурения, выбор его оптимальных реологических характеристик имеет огромное значение. Реологические характеристики биополимерного бурового раствора должны быть подобраны таким образом, чтобы с достаточной полнотой охарактеризовать его как реологическую систему. Совместное рассмотрение реологических критериев позволяет комплексно оценивать технологические свойства биополимерного бурового раствора и его уровень в качестве гидродинамического агента бурящейся скважины [4].

Основные реологические понятия и определения, применяемые для оценки технологических характеристик приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Основные реологические характеристики**

№ №	Наименование реологического показателя	Характеристика
1	Пластическая вязкость, мПа.с	Условная величина, характеризующая вязкостное сопротивление бурового раствора течению; не зависит от давлений прокачивания, определяется расчётным путём после измерения на вискозиметре OFITE
2	Эффективная вязкость, мПа.с	Характеризует сумму вязкостного и прочностного сопротивлений течению, снижается с увеличением давлений прокачивания. Определяется расчётным путём после измерения на вискозиметре OFITE
3	Динамическое напряжение сдвига, дПа	Условная величина, характеризующая прочность структурной сетки, которую необходимо разрушить для обеспечения течения бурового раствора; не зависит от давлений прокачивания и увеличивается с ростом вязкостного сопротивления бурового раствора. Определяется расчётным путём после измерения на вискозиметре OFITE
44	Показатель неньютоновского поведения $n$ для оценки псевдопластичных свойств	Степень отклонения реологических свойств от поведения ньютоновских жидкостей, т.е. жидкостей с постоянной вязкостью (вода, глицерин и др.) Показатель $n$ воды равен 1. Снижение значений показателя $n$ вызывает выполаживание эпюры скоростей потока в кольцевом пространстве скважины. в результате чего повышается его транспортирующая способность, т.к. основная масса шлама оказывается в зоне максимальных скоростей. Определяется расчётным путём после измерения на вискозиметре OFITE по формуле : $3.32 \lg(\phi 600/\phi 300)$

**2. Преимущества системы «ИКАРБ»**

Буровой биополимерный раствор «ИКАРБ», созданный специально для вскрытия и освоения продуктивных пластов, в силу уникальных технологических характеристик, наиболее полно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к качеству вскрытия пластов.

1. Обладает способностью быстро формировать на стенках скважины малопроницаемую наружную фильтрационную корку, препятствующую проникновению фильтрата раствора в пласт.

2. Твёрдая фаза бурового раствора, представляющая собой измельчённую мраморную крошку определенного гранулометрического состава, полностью растворяется в кислотах, что позволяет убирать её со стенок, из поровых каналов и трещин при освоении скважины [5].

3. Гранулометрический состав твёрдой фазы подобран таким образом, чтобы обеспечивать минимальное проникновение раствора в поры пласта за счёт образования закупоривающих тампонов на входе в поровый канал.

4. Состав жидкой фазы биополимерного бурового раствора системы «ИКАРБ», содержащий в своём составе биополимер и полианионную целлюлозу, биоразлагаем и не оказывает необратимого загрязняющего действия на коллекторские свойства продуктивного пласта.

5. Уникальные реологические свойства биополимерного бурового раствора системы «ИКАРБ» позволяют раствору полностью выносить выбуренную породу из наклонных и горизонтальных частей ствола скважины и легко удалять его из раствора в системе очистки.

6. Возможность вторичного использования бурового биополимерного раствора системы «ИКАРБ» при кустовом бурении скважин.

7. Компоненты, составляющие систему бурового раствора системы «ИКАРБ», биоразлагаемы, относятся к 4 классу опасности, что обеспечивает системе экологическую безопасность [2].

**а) Система «ИКАРБ» и максимальное сохранение естественных свойств пласта**

Система ИКАРБ разработана для уменьшения загрязняющего эффекта в продуктивном пласте. Это достигается несколькими способами:

*Минимальная репрессия на пласт.* Состав системы ИКАРБ может быть специально подобран для каждого пласта. Эта система может работать фактически с любой водой, от пресной до соленасыщенной (любыми солями). Возможность варьировать плотность позволяет уменьшить репрессию на пласт.

*Ингибирующие свойства фильтра в пласте.* Концентрацию и тип соли можно подобрать таким образом, чтобы обеспечить не только нужную вязкости при низких скоростях сдвига и минимальное содержание полимеров-стабилизаторов и твердых частиц обеспечивают фильтрату вязкость, которая не позволяет ему значительно проникнуть в пласт.

*Вязкий фильтрат.* Поддержание вязкости при низких скоростях сдвига и минимальное содержание полимеров-стабилизаторов и твердых частиц обеспечивают фильтрату вязкость, которая не позволяет ему значительно проникнуть в пласт.

*Минимальное проникновение фильтра в пласт.* Контролируется эффективным закупориванием поровых отверстий специальным кольматирующим материалом ИККАРБ 50/75/150, в зависимости от степени открытия каналов, и поддержанием высокой вязкости при низкой скорости сдвига.

*Непродолжительный контакт с продуктивным пластом.* Время контакта минимальное, потому что система ИКАРБ поддерживает высокую механическую скорость проходки. Система ИКАРБ также исключает проблему очистки скважины, сокращая время на СПО.

*Небольшое содержание твердой фазы (включая коллоидную).* Общая концентрация твёрдых частиц поддерживается на минимально-достаточном уровне, что улучшает эффективность очистки, тем самым, способствуя поддержанию чистой системы с низкой концентрацией коллоидных глинистых частиц, которые могут загрязнить пласт.

*Разрушение системы во время заканчивания скважины.* Все используемые продукты в системе ИКАРБ кислотнo-водорастворимы и способны окисляться. Перед началом освоения скважины рекомендуется разрушить корку кислотой. Это сведёт к минимуму нарушение эксплуатационных качеств пласта. В зависимости от метода заканчивания скважины и типа коллектора, в некоторых скважинах пробуренных с помощью системы ИКАРБ начинают разработку без кислотной обработки [4].

**б) Очистка и обеспечение устойчивости ствола скважины**

**При бурении наклонных и горизонтальных участков скважины с применением обычных растворов возникают следующие проблемы:**

- зависание и прихват бурильной колонны,
- недостаточная передача нагрузки на долото,
- затяжки и посадки при СПО,
- увеличение крутящего момента,
- повышение эквивалентной плотности циркуляции и гидроразрыв пласта,
- глубокая кольматация пристволенной зоны,
- изменение направления профиля из-за образования уступов,
- плохое качество цементирования.

Гидротранспорт шлама в наклонных и горизонтальных участках скважины в значительной мере сложнее, чем в вертикальных по следующим причинам. При углах наклона более 20 градусов шлам оседает и накапливается на нижней стенке скважины вокруг бурильной трубы (минимальная скорость движения жидкости) и сползает или в определенной момент лавиной устремляется в направлении, противоположном движению раствора, скапливаясь в местах сужения кольцевого пространства (вокруг замковых соединений). При этом интенсивность лавинообразования в динамических условиях может быть даже выше, чем в статических [5].

Лавинообразное движение шлама приводит к образованию конвекционных потоков, выталкивающих более легкую часть раствора вверх, а тяжелую часть со шламом - вниз, ускоряя тем самым в несколько раз осаждение. Во многих случаях циркуляция усиливает этот эффект, что также вызывает ускоренное выпадение выбуренной породы и расслоение по плотности и вязкости. Последнее, в свою очередь, усиливает несимметричность профиля скорости потока и ограничивает вынос породы даже за счёт увеличения плотности и подачи насосов.

Все вышеназванные факторы учтены при разработке реологических параметров системы ИКАРБ наряду с применением специальных технологических приемов промывки.

Псевдопластичные реологические свойства системы ИКАРБ обеспечивают высокую степень очистки ствола и позволяют вести бурение с механической скоростью до 50 м в час в стволе 215 мм. Хорошая удерживающая способность твердых частиц во взвешенном состоянии сокращает время промывок перед подъемом долота и дохождения до забоя.

Ингибирующие свойства системы ИКАРБ создаются введением хлористого калия.

#### **Выводы**

Преимущества биополимерного раствора: максимальное сохранение устойчивости стенок скважины, соблюдение оптимальных реологических характеристик для транспортировки выбуренной породы на дневную поверхность, что особенно важно при бурении горизонтальных участков ствола скважины; максимальное снижение содержания естественно нарабатываемой твердой фазы в растворе; минимальное проникновение фильтрата биополимерного раствора в призабойную зону продуктивного пласта; высокая экологичность, обеспечиваемая биоразлагаемыми компонентами системы обработки; простота регулирования параметров биополимерного бурового раствора и стабильность параметров в большом диапазоне рН.

Научно обосновано и в промышленных условиях подтверждено обеспечение сохранности природных фильтрационно-емкостных свойств вскрываемых низко и средне проницаемых тиррегенных коллекторов нефти и газа, содержащих глинистые минералы применением биополимерсолевых промывочных жидкостей.

Установлено, что биополимер, поступая в поровое пространство пласта, адсорбируется на поверхности поровых каналов, сужает их, образует кольматационный экран. Адсорбируясь на глинистых включениях, являющихся составным элементом горной породы, предотвращает их гидратацию и набухание. Связывая значительное количество дисперсионной среды, способствует снижению процесса фильтратоотдачи бурового раствора. Наличие электролита (солей хлорида калия, ацетата калия либо формиата натрия) способствует ингибированию процессов гидратации и диспергации глинистых включений, снижению поверхностного натяжения и капиллярного давления, защиты биополимерного реагента от воздействия бактерицидов и регулирования плотности раствора.

#### **Литература**

1. Ананьев А.Н., Пеньков А.И.(ред). Учебное пособие для инженеров по буровым растворам: Изд-во, 2000. – 142с.
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Проселков Ю.М. Буровые промывочные и тампонажные растворы: Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1999. – 424 с.
3. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / Пер. с англ. – М: Недра, 1985. – 509 с.
4. Капитонов В.А. Исследование процессов отложения неорганических солей и подбор ингибиторов для борьбы с этим явлением // Записки горного института. Полезные ископаемые России и их освоение. – 2004. – Т. 159, ч. 2. – С.52-54.
5. Чубик П.С. Квалиметрия буровых промывочных жидкостей. – Томск: Изд-во НТЛ, 1999. – 300 с.

### **РАЗРАБОТКА ЛЕГКИХ ТАМПОНАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕРМИКУЛИТА**

**К.М. Минаев, В.М. Горбенко**

Научный руководитель: доцент К.М. Минаев

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

На ряде месторождений строительство скважин осложняется наличием в разрезе высокопроницаемых пластов и пластов с низким поровым давлением. Наиболее эффективным технологическим решением, позволяющим существенно сократить затраты на цементирование обсадной колонны в таких условиях, является использование облегченного тампонажного раствора с заданной плотностью. Использование сверхлегких систем цементирования в современных осложненных скважинах может значительно повысить качество тампонирувания и производительность скважины [1].

Наиболее часто снижение плотности тампонажных растворов осуществляется за счет увеличения водоцементного соотношения. Однако это влечет за собой необходимость введения водоудерживающих добавок, поскольку в противном случае происходит нарушение седиментационной устойчивости цементного теста, увеличение водоотдачи и фильтрации тампонажного раствора. Для обычной портландцементной суспензии при водоцементном соотношении 0,55 проявляется заметное водоотделение, которое при достижении этого показателя 0,6 достигает недопустимых значений. Скорость фильтрации жидкости через суспензию можно уменьшить, повысив вязкость жидкости, степень дисперсности твердой фазы, введением воздухововлекающих добавок. Чаще всего вязкость цементного раствора повышают путем введения бентонитовой глины, но формирующийся цементный камень будет обладать низкой прочностью. В качестве воздухововлекающих добавок широко применение находят алюмокалиевые полые микросферы, которые являются отходами сжигания топлива на ТЭЦ. Данные тампонажные системы хорошо изучены, обладают предсказуемыми и относительно легко регулируемыми свойствами. В то же время, главный недостаток алюмокалиевых полых микросфер – их дефицитность. Альтернативой данным микросферам в качестве воздухововлекающей добавки может выступать вспученный вермикулит.

Эффективность облегченных тампонажных материалов с добавкой вермикулита обусловлена физико-химическими процессами его взаимодействия с цементом с образованием новых гидратных фаз, упрочняющих структуру композиционного материала. По сравнению с широко применимыми гелецементными растворами, такой тампонажный раствор обладает лучшими закупоривающими свойствами; способствует увеличению высоты подъема цементного теста в трещиноватых породах. Кроме того, он характеризуется низкой