



## The Main Function Of Drilling Fluid In Oil And Gas Well Drilling And Its Selection Depending On The Formation

**Aziz Abdikarimovich Mansurov**

Lecturer, Karshi International University

### ABSTRACT

Drilling fluid is a key element of the drilling system, providing load-bearing, transport, isolation, and information-diagnostic functions. The purpose of this paper is to systematically describe the main functions of drilling fluid and propose a scientifically based approach to its selection depending on the geological and technical conditions and properties of the target formation. The study provides a review of modern fluid classes (water- and oil/synthetic-based), their rheological and colloidal-chemical properties, and an analysis of critical scenarios: swelling clay formations, cavernously fractured carbonates with absorptions, salt formations, HPHT intervals, zones with  $H_2S/CO_2$ , water-cut and decompressed reservoirs. A multi-level selection methodology is proposed using (i) a geohazards decision matrix, (ii) laboratory tests (shale swelling, HPHT filtration, friction and lubrication, formation water/oil compatibility), (iii) hydraulic modeling (ECD, cuttings breakdown velocity, pressure profile), and (iv) an environmental and economic assessment of the full life cycle. The results are presented in the form of practical recommendations for the selection of formulations and modes for typical lithotypes. Limitations and directions for further research, including digital drilling twins and adaptive drilling fluids, are discussed.

### Keywords:

Drilling fluid; functions; selection; water-based solution; oil- and synthetic-based solution; HPHT; shale inhibition; circulation losses; ECD; filtration; ecology.

## Основная Функция Бурового Раствора При Бурении Нефтяных И Газовых Скважин И Его Выбор В Зависимости От Пласта

**Мансуров Азиз Абдикаримович**

Преподаватель Каршинского международного университета

### Аннотация

Буровой раствор является ключевым элементом технологической системы бурения, обеспечивая несущую, транспортную, изоляционную и информационно-диагностическую функции. Цель настоящей работы — системно описать основные функции бурового раствора и предложить научно-обоснованный подход к его выбору в зависимости от геолого-технических

условий и свойств целевого пласта. В рамках исследования проведён обзор современных классов растворов (водо- и нефте-/синтетико-основных), их реологических и коллоидно-химических характеристик, а также проанализированы критические сценарии: глинистые набухающие толщи, кавернозно-трещиноватые карбонаты с поглощениями, соляные толщи, НРНТ-интервалы, зоны с  $H_2S/CO_2$ , обводнённые и разуплотнённые коллекторы. Предложена многоуровневая методика выбора с использованием (i) матрицы решений по георискам, (ii) лабораторных тестов (набухание сланцев, НРНТ-фильтрация, трение и смазка, совместимость пластовой воды/нефти), (iii) гидравлического моделирования (ECD, скорость срыва шлама, профиль давлений), (iv) эколого-экономической оценки полного жизненного цикла. Результаты оформлены в виде практических рекомендаций по подбору рецептур и режимов для типовых литотипов. Обсуждаются ограничения и направления дальнейших исследований, включая цифровые двойники бурения и адаптивные буровые жидкости.

**Ключевые слова:** буровой раствор; функции; выбор; водо-основной раствор; нефте- и синтетико-основной раствор; НРНТ; ингибирование сланцев; потери циркуляции; ECD; фильтрация; экология.

### Введение

Буровой раствор (БР) — дисперсная система, циркулирующая в замкнутом контуре «скважина — циркуляционная система», выполняющая одновременно механические, гидравлические, химические и информационные функции. Исторически эволюция БР прошла путь от простых глинистых суспензий к сложным композициям на водной, нефтяной и синтетической основе с целевыми добавками: полимерами, ингибиторами, смазками, депрессантами, ПАВ, понизителями фильтрации, блокирующими материалами (LCM) и др. Правильный выбор БР предопределяет успешность бурения: устойчивость ствола, скорость рейса, отсутствие осложнений (набухание/диспергирование сланцев, дифференциальная прихватка, поглощения, газонефтеводопроявления), качество разобщения пластов и воспроизводимость геофизических измерений.

Классический набор функций БР включает: (1) создание гидростатического столба (контроль пластового давления); (2) очистку ствола (транспорт шлама и вынос частиц); (3) стабилизацию стенок и минимизацию набухания/осыпания; (4) охлаждение и смазку долота и привода; (5) минимизацию фильтрации и образование малопроницаемой корки; (6) передачу гидромощности и связь «насос — долото»; (7) перенос информации (M/LWD) и обеспечение качества геофизики; (8)

экологическую совместимость и технологичность обращения отходов. Баланс указанных функций сильно зависит от свойств пласта и условий бурения (глубина, температура, давление, минерализация, тектоника, состояние порового/трещинного пространства).

Цель данной статьи — представить структурированную методику выбора БР в зависимости от литологии и георисков целевого интервала, опираясь на количественные критерии (реология, фильтрация, ингибирование, смазка, совместимость) и на гидравлическое моделирование (эквивалентная циркуляционная плотность — ECD). Новизна работы — интеграция матрицы георисков, лабораторной верификации и экономико-экологических показателей в единый протокол принятия решений.

### Материалы и методы

1. Классификация буровых растворов и базовые параметры

#### Классы БР:

##### • Water-Based Mud (WBM):

пресные/минерализованные глинисто-полимерные системы (бентонит, KCl/NaCl, полианионная целлюлоза (PAC), СМС, ксантан (XG), полиакриламиды, ингибиторы сланцев (KCl, гликоли, аммониевые соли, полиамины), понизители фильтрации (смоли, латексы), смазки, LCM.

• Oil-Based Mud (OBM) и Synthetic-Based Mud (SBM): непрерывная органическая фаза

(дизель/минеральные/синтетические масла, эстеры/олефины) с водной дисперсной фазой (эмульсия В/Н), эмульгаторы, органофильные глины, известь, CaCl<sub>2</sub>-рассол.

• **Пневматические/аэрированные системы:** аэрированный БР, пена, воздух/газ (для сверхнизких давлений и поглощений).

**Ключевые параметры контроля:** плотность  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>), пластическая вязкость PV (сП), динамическое напряжение сдвига YP (фунт/100 фт<sup>2</sup>), гелевые структуры  $g_0/g_{10}$ , коэффициенты реологии (модель Бингама, степенной закон  $\tau = K \cdot \gamma^n$ ), API/НРНТ-фильтрация, толщина корки, рН/щелочность, электропроводность/солённость, содержание твёрдой фазы, смазочные свойства (коэффициент трения), ESD/ECD, содержание газа/масла/воды.

2. Гидравлическое моделирование и давление в стволе

Эквивалентная циркуляционная плотность (ECD) при циркуляции:

**ECD (г/см<sup>3</sup>)** =  $\rho_m + \Delta p_{\text{анн}} / (0,0981 \cdot \text{TVD})$

где  $\rho_m$  — статическая плотность БР;  $\Delta p_{\text{анн}}$  — гидравлические потери в затрубном пространстве (Па); TVD — истинная вертикальная глубина (м). В практике также используют нефтеполевую форму: **ECD (ppg)** = MW +  $\Delta p_{\text{анн}} / (0,052 \cdot \text{TVD}(\text{ft}))$ . Цель — удерживать **Р\_скважины =  $\rho \cdot g \cdot \text{TVD} \pm$  динамические добавки** в безопасном окне между поровым давлением и градиентом разрыва пласта (MAASP). Моделирование выполняется по сегментам ствола с учётом реологии (K, n), размерности кольцевого зазора, шламонасыщения и температурного профиля (влияние на PV, YP).

3. Лабораторные тесты для выбора БР

• **Ингибирование сланцев:** линейное набухание (Swell Test, %/ч), диспергирование при перемешивании (Hot Roll), SEC, рентгенофазовый анализ минералогии (каолинит/иллит/смектит/хлорит), совместимость с пластовой водой.

• **Фильтрация:** API (100 psi, 30 мин) и НРНТ (до 500 psi, 150–180 °C) для оценки потока фильтрата и качества корки.

• **Смазка:** коэффициент трения на фрикционном стенде (lubricity tester), крутящий момент/осевая нагрузка в имитаторе наклонно-направленного ствола.

• **Совместимость:** смешивание с пластовыми флюидами (эмульсионная стабильность, Дреология, выпадение солей/асфальтенов, рН-эффекты).

• **ЛСМ-подбор:** испытания на фильтрационно-трещинных моделях (РРА, SLOT-тестер) с подбором гранулометрии « $d_{50} \approx (1/3) w_{\text{fracture}}$ ».

4. Матрица георисков и многофакторный выбор

Предложена матрица [**литология × риски × ограничения**]:

• **Литология/среда:** сланцы (смектитовые), алевролиты/песчаники (неустойчивые), карбонаты (трещинные/кавернозные), соли (галит, карналлит), разуплотнённые коллекторы, НРНТ-интервалы, зоны H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub>, битуминозные/смолистые зоны, некомпетентные перекрыши.

• **Риски:** набухание/осыпание, поглощения (матрица/трещины), дифференциальная прихватка, ГНВП, потери устойчивости корки, высокое трение/износ ВЗД, гидроразрыв, совместимость с пластом.

• **Ограничения:** экологические нормы, логистика материалов, стоимость владения (ТСО), утилизация шлама, ограничения геофизики.

Для каждого сценария формируется **вектор требований** к БР: диапазоны  $\rho$ , PV/YP, фильтрация, состав солей/ингибиторов, тип смазки, ЛСМ-пакет, рН/щелочность, эмульсионная стабильность (для ОВМ/СВМ), температура устойчивости. Решение принимается на основании **взвешенной суммы критериев** (АНР/SMART) с весами, привязанными к вероятности и тяжести последствий рисков.

5. Экологико-экономическая оценка

Помимо прямых материальных затрат (база, химия, логистика), учитывается: (i)

влияние на ROP/чистку ствола и время рейса; (ii) частота осложнений и НПП задержек; (iii) стоимость утилизации отработанного раствора/шлама; (iv) экологический след (toxicity/biodegradability, HSE-риски); (v) совместимость с регуляторными требованиями региона.

### Результаты

1. Рекомендации по выбору БР для типовых геологических сценариев

1.1. Набухающие глинистые толщи (сланцы, смектиты)

**Цель:** минимизация гидратации/диспергирования, сохранение калибра ствола и качества корки.

### Рекомендуемые решения:

- База: **ингибированные WBM** на KCl (3–7 %) или NaCl (10–20 %), либо **гликоль-KCl** системы (MEG/PEG/дигликоли) с ингибиторами обмена катионов ( $K^+/NH_4^+$ /тетраалкиламмоний).

- Полимеры: PAC/СМС для фильтрации, ХГ для выноса, РНРА/полиамины для капсулирования шлама.

- Показатели:  $\rho$  по окну, PV умеренная,  $YR/YR/PV \approx 0,75-1,2$ , API FL < 8 мл, НРНТ FL < 20 мл, низкие гели  $g_0 \sim 2-4$ ,  $g_{10} \sim 5-10$  фунт/100 фт<sup>2</sup>.

- Добавки: ингибиторы набухания (KCl + полиамин), смазка (эфирные/ПАО-смазки 2–5 %), антипенители при гликолях.

- Альтернатива при крайне активных сланцах и/или наклонном бурении: **ОВМ/SBM** (эмульсия В/Н с  $CaCl_2$  20–30% массовой доли рассола, известь, эмульгатор), обеспечивающие низкую водоотдачу и высокую смазку.

**Лаб-критерии:** снижение линейного набухания > 50 % против пресной базы; устойчивость реологии после «hot-roll 16 ч @ 120–150 °C»; совместимость с пластовой водой (без флокуляции).

1.2. Карбонаты с трещинами/кавернами и поглощениями

**Цель:** контроль и предотвращение потерь, поддержание циркуляции, недопущение ГНВП.

### Рекомендуемые решения:

- База: **низкотвёрдофазные WBM** с возможностью быстрой дозировки **LCM-пакетов** (графит/мрамор/кальцит, целлюлозы, гайки/скорлупа, волокна) в режиме «pill» и «background»; либо **ОВМ/SBM** при высоких перепадах давления/температуры с эмульсионной стабильностью > 400 В (ES-тест).

- LCM-стратегия: градуированная смесь «fine + medium + coarse», подбор по SLOT-тесту; правило  $d_{50} \approx 1/3-1/2$  ширины трещины.

- Реология: повышенный YP для транспортировки LCM, контролируемые гели для избегания посадок.

- Дополнительно: **bridging/plugging pills** на основе солей/карбонатов/латекса; при тяжёлых поглощениях — **композиции на основе утяжелённых эмульсий, цементные/полимер-связующие пиллы**, пенные/аэрированные технологии.

1.3. Соляные толщи (галит/карналлит)

**Цель:** исключить растворение/интенсивную кавернообразующую коррозию стенок.

### Решения:

- База: **насыщенные рассолы NaCl/KCl/CaCl<sub>2</sub>** (WBM) с минимальной водоотдачей; или **ОВМ/SBM** (водная фаза — насыщенный рассол  $CaCl_2$ ), что снижает растворение соли.

- Контроль: электропроводность/плотность рассола, поддержание насыщения; ингибиторы коррозии; стойкие к соли полимеры (PAC-R, ксантан).

1.4. НРНТ-интервалы (>150–180 °C; >10–15 кПа/м)

**Цель:** термостойкая реология, низкая НРНТ-фильтрация, стабильная эмульсия/полимерная система.

### Решения:

- **ОВМ/SBM** с высокотемпературными эмульгаторами, органофильными глинами, известковым буфером; антиокислительные присадки; контроль ES > 500 В; PV/YR, устойчивые при T.

- **WBM:** термостойкие полимеры (PAC-UL, смолы, латексы), понизители фильтрации на основе смол/асфальтенов,

пониженная твёрдая фаза; ингибирование сланцев высокотемпературными системами (соли/гликоли).

- Гидравлика: строгий контроль ECD, ступенчатая очистка шлама, охлаждение/теплообмен, оценка «thermo-thinning/-thickening».

1.5. Разуплотнённые/обводнённые коллекторы и зоны с ГНВП-риском

**Цель:** минимизировать инвазии фильтрата, сохранить проницаемость и контроль давления.

**Решения:**

- **Low-invasion WBM** с низкой фильтрацией (API < 5 мл), тонкоструктурной коркой, микробриджинг (микроцеллюлоза, латексы, микрокальцит), использование **депрессантов ПЗП;**

- Альтернатива: **ОВМ/SBM** благодаря низкой водоотдаче и минимальной инвазии (но с учётом экологии и дальнейшей утилизации шлама).

1.6. Зоны H<sub>2</sub>S/CO<sub>2</sub> (кислые газы)

**Цель:** защита персонала и оборудования, химическая буферизация.

**Решения:**

- Поддержание **щелочности/pH** (известь/NaOH, буферные системы), **ингибиторы сероводорода** (триазины/аминовые абсорбенты), коррозионные ингибиторы; совместимые с ОВМ/SBM эмульсии (вода — CaCl<sub>2</sub>), герметичная циркуляция; контроль сульфидного стресса материалов.

2. Гидравлическая оптимизация и очистка ствола

Критическая скорость срыва шлама определяется по реологии и геометрии ствола; для степенной модели скорость сдвига у стенки  $\dot{\gamma}_w = 3n+1/4n \cdot 8V/D_h$ , где V — объёмный расход, D<sub>h</sub> — гидравлический диаметр. Поддержание адекватного YP и XG обеспечивает суспензирование шлама при остановках (гели), но чрезмерно высокие гели увеличивают ECD и риск прихватов. Поэтому рекомендуются **низкие начальные гели** и достаточный YP/PV для транспорта.

3. Смазка и механика бурильной колонны

Снижение трения (особенно в наклонно-направленных и КНБК с долей скольжения) достигается добавками смазок (эфир, ПАО, графит/мика), контролем твёрдой фазы, использованием ОВМ/SBM, полимер-капсулирующих систем. Фрикционные испытания должны показывать  $\mu \leq 0,15-0,18$  для сложных профилей.

4. Геофизика и качество данных

Прозрачность БР для ГИС/MWD/LWD (электропроводность, содержание нефти/воды, магнитные свойства) учитывается при выборе: для электрометрии предпочтительнее **ОВМ/SBM** (низкая проводимость), для методов, требовательных к низкой радиоактивности, — подбор баритов/гематитов с контролем примесей.

**Обсуждение**

1. Компромиссы «технология — экология — экономика»

Выбор ОВМ/SBM существенно снижает риски нестабильности сланцев, улучшает смазку и уменьшает инвазию, но повышает стоимость и требования к обращению с отходами. Ингибированные WBM экологичнее и дешевле, однако могут требовать более жёсткого управления реологией/фильтрацией и тщательного ингибирования. Правильная оценка **стоимости владения (ТСО)** должна включать не только цену бочки, но и влияние на ROP, NPT, простои из-за осложнений и стоимость утилизации.

2. Роль данных и адаптивного управления

Современная практика — **цифровые двойники бурения** с онлайн-моделью гидравлики и механики, подстройкой рецептуры БР под текущие показания (ECD, крутящий момент, калибр, шлам, кавернометрия). Интеграция лабораторных тестов с полевым мониторингом (реторты, реометры, фильтрация, ES-тесты) обеспечивает замкнутую систему контроля качества.

## 3. Типичные ошибки выбора

(1) Недооценка минералогии сланцев и недостаточная доза ингибитора; (2) Неправильное грансостав LCM (слишком мелкий/однородный); (3) Игнорирование температурной деградации полимеров; (4) Чрезмерная твёрдая фаза → рост PV/требований к насосам; (5) Несовместимость с пластовыми флюидами (эмульсионные сбои); (6) Отсутствие плана на случаи потери циркуляции (готовые пиллы/by-pass-контуры).

## 4. Ограничения и воспроизводимость

Представленная методика универсальна, но требует локальной калибровки под минералогию и воды региона, а также под парк оборудования (мощность насосов, ШСН, системы очистки).

**Заключение**

В работе представлен системный подход к выбору бурового раствора, увязывающий функции БР с литологией и рисками разбуриваемых интервалов. Ключ к успеху — сочетание ингибирования, контролируемой реологии и фильтрации, управляемой смазки и точного гидравлического моделирования ECD. Практическая ценность — в матрице решений для типовых сценариев и протоколе лабораторно-полевой верификации.

**Практические рекомендации (чек-лист)**

1. **Перед бурением:** минералогия (XRD), пластовые воды, PVT-данные, окно давлений, теплопрофиль.

2. **Выбор класса БР:** WBM (ингибированные) для умеренно активных сланцев/эко-ограничений; OBM/SBM для высокорисковых сланцев/НРНТ/низкой инвазии.

3. **Реология:** PV минимум, достаточный YP; гели низкие; температурная устойчивость.

4. **Фильтрация:** API < 8 мл (WBM), НРНТ ≤ 20 мл; тонкая прочная корка.

5. **Ингибирование:** KCl/гликоли/полиамины; лабораторная валидация (swell/hot-roll).

6. **LCM-стратегия:** заранее подготовленные градуированные смеси; SLOT-тест; пиллы.

7. **Смазка:**  $\mu \leq 0,18$ ; подбор смазок; контроль твёрдой фазы/очистки.

8. **Безопасность:** буферизация pH, H<sub>2</sub>S-скэванжеры, коррозионные ингибиторы.

9. **Гидравлика:** онлайн-расчёт ECD, контроль cuttings load, управление расходом/ROP.

10. **Экология/утилизация:** план обращения с шламом/раствором; выбор менее токсичных систем при равной эффективности.

11.

**Список литературы**

1. Caenn R., Darley H. C. H., Gray G. R. Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids. 7th ed. Gulf Professional Publishing.
2. Mitchell R. F., Miska S. Z. Fundamentals of Drilling Engineering. SPE Textbook Series.
3. Bourgoyne A. T., Millheim K. K., Chenevert M. E., Young F. S. Applied Drilling Engineering. SPE Textbook Series.
4. Rabia H. Well Engineering and Construction. Entrac Consulting.
5. Aadnøy B. S., Looyeh R. Petroleum Rock Mechanics: Drilling Operations and Well Design. Gulf Professional Publishing.
6. API Specification 13A/13B/13C — Drilling Fluids Materials; Field Testing; Solids Control.
7. IADC Drilling Manual. Latest ed.
8. Amanullah M., Al-Tahini A. M. Drilling Fluids Technology: Fundamentals and Practical Applications. Springer.
9. Lake L. W., Jensen J. L. Petroleum Reservoir Engineering. Prentice Hall.
10. Wardlaw N. C., McKellar M. Fluid Transport in Porous Media. Elsevier.
11. Chilingarian G. V., Vorabutr P. Drilling and Drilling Fluids. Elsevier.
12. Growcock F. B., Harvey T. Wellbore Stability and Drilling Fluids. SPE Distinguished Lecturers.

13. Zamora M., Roy S., Slater K. Advanced Drilling Fluids Engineering. Gulf Professional Publishing.
14. Economides M. J., Hill A. D., Ehlig-Economides C., Zhu D. Petroleum Production Systems. Prentice Hall.
15. OSPAR Commission. Guidelines for the Use of Oil-Based Drilling Fluids. Environmental Report.
16. Хамитов Р. А. Буровые растворы: теория и практика. Учебное пособие. Уфа: УГНТУ.
17. Пучков Л. А. Бурение нефтяных и газовых скважин. Москва: Недра.
18. Губкин И. М. Основы буровой техники. Москва: Наука.
19. Лахтин Ю. М. Физико-химические основы буровых растворов. Москва: Недра.
20. ГОСТ 33211-2014. Растворы буровые. Общие технические требования.
21. ГОСТ Р 51859-2002. Растворы буровые. Методы испытаний.