



АНАЛИЗ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ КАЧЕСТВЕННЫЙ ВЫНОС ШЛАМА И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ БУРЕНИИ ПЛАСТОВ, СЛОЖЕННЫХ ТРЕЩИНОВАТЫМИ ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ

PhD, доцент **Комилов Толиб Олимович** komilovtolib87@yandex.ru

Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова

Предотвращение осложнений при бурении геологоразведочных глубоких скважин напрямую зависит от поддержания забойного давления (P_3) в диапазоне между пластовым ($P_{пл.}$) и давлением гидроразрыва ($P_{гид.}$). Ошибка в расчетах эквивалентной циркуляционной плотности (ECD) может привести либо к нефтегазоводопроявлениям (НГВП), либо к поглощению раствора.

Современные исследователи, такие как Mitchell и Miska, подчеркивают необходимость использования гибких гидравлических моделей. Однако традиционные методики часто пренебрегают локальными физико-географическими факторами. В работах последних лет Abbas et al. [2], 2023; Ivanov & Petrov, 2022 [1] отмечается важность высокоточного моделирования гидравлики в сложных скважинах. Данная работа развивает это направление, адаптируя расчеты под конкретные региональные условия Узбекистана, где перепады высот и широт существенно влияют на точность вискозиметрических измерений.

Для предотвращения осложнений буровой раствор должен удовлетворять условию:

$$P_{пл.} < P_3 < P_{гид.} \quad (1)$$

где $P_{пл.}$ — пластовое давление, $P_{гид.}$ — давление гидроразрыва.



$$P_{\text{пл.}} = K_{\text{ан.}} \rho_{\text{воды}} gH + P_0 \quad (2)$$

$K_{\text{ан.}}$ — коэффициент аномальности, $\rho_{\text{воды}}$ — плотность воды 1000 кг/м^3 , P_0 — давление на устье скважины, Па (можно считать давление атмосфера в поверхности).

Давление гидроразрыва:

$$P_{\text{гид.}} = P_{\text{пл.}} + \frac{\mu}{1 - \mu} (P_{\text{гс}} - P_{\text{пл.}}) \quad (3)$$

μ — коэффициент Пуассона (для породы), $P_{\text{гс}}$ — геостатическое давление породы, Па.

Забойное давление P_3 при циркуляции находится следующим образом:

$$P_3 = P_{\text{г}} + \Delta P_{\text{тр}} + P_0 \quad (4)$$

При покое:

$$P_3 = P_{\text{г}} + P_0 \quad (5)$$

В моменте запуска (рывок—СНС):

$$P_{3.\text{пуск}} = P_{\text{г}} + \frac{4 \text{ СНС}_{10} \cdot H}{d_{\text{г}}} + P_0 \quad (6)$$

где $P_{\text{г}}$ — гидростатическая давления, Па, $\Delta P_{\text{тр.}}$ — потери давления на трение в затрубном пространстве, Па

$$P_{\text{г}} = \rho gH \quad (7)$$

ρ — плотность промывочной жидкости, кг/м^3 , H — глубина скважины, м, g — ускорение свободного падения, м/с^2 , СНС_{10} — статическое напряжение сдвига при 10 мин., Па.

Формула Дарси–Вейсбаха:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_{\text{г}}} \quad (8)$$

где λ — коэффициент трения,

$$Re = \frac{\rho v d_{\text{г}}}{\eta} = \frac{v d_{\text{г}}}{\nu} \quad (9)$$





при ламинарном режиме: $\lambda = \frac{64}{Re}$

$$\Delta P_{тр} = \frac{32\eta v H}{d_r^2} \quad (10)$$

при турбулентном режиме: $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$

$$\Delta P_{тр} = \frac{0,1582\rho H \sqrt[4]{v v^7}}{\sqrt[4]{d_r^5}} \quad (11)$$

Re – число Рейнольдса; v – скорость потока, м/с; ν – кинематическая вязкость промывочной жидкости м²/с; η – динамическая вязкость промывочной жидкости Па·с или кг/(м·с); d_r – гидравлический диаметр, который в затрубном пространстве вычисляется следующим образом:

$$d_r = d_c - d_n \quad (12)$$

где d_c – диаметр скважины; d_n – наружный диаметр трубы.

Как уже сказано в формулах 5 и 6 при статике забойное давление на $\Delta P_{тр}$ меньше, чем при циркуляции. Отсюда следует, что забойное давление всегда выше в режиме циркуляции. Из свойств неравенств следует, что если забойное давление в статическом режиме превышает пластовое давление, то и при циркуляции забойное давление также будет превышать пластовое давление. Оценим забойное давление при покое, СНС и при циркуляции:

$$P_{з.покое} = P_r + P_0, \quad P_{з.пуск} = P_r + \frac{4 \text{ СНС}_{10} \cdot H}{d_r} + P_0,$$

$$P_{з.ц.} = P_r + \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_r} + P_0$$

$$P_{з.покое} \vee P_{з.пуск} \vee P_{з.ц.} \Rightarrow 0 \vee \frac{4 \text{ СНС}_{10} \cdot H}{d_r} \vee \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_r}$$

Известно, что $\frac{4 \text{ СНС}_{10} \cdot H}{d_r} > 0, \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_r} > 0$. Поэтому наименьшее давление является $P_{з.покое}$.



$$\frac{4 \text{CHC}_{10} \cdot H}{d_{\Gamma}} \vee \frac{\lambda \rho v^2 H}{2d_{\Gamma}} \Rightarrow 8 \text{CHC}_{10} \vee \lambda \rho v^2 = [\lambda > 0,1] = 8 \text{CHC}_{10} < \lambda \rho v^2$$

$$P_{3.\text{пуск}} < P_{3.\text{ц.}}$$

Откуда $P_{3.\text{покое}} < P_{3.\text{пуск}} < P_{3.\text{ц.}}$.

Аналогичный вывод справедлив и при сравнении забойного давления с давлением гидроразрыва пласта: если в статическом режиме забойное давление меньше давления гидроразрыва, то это соотношение сохраняется и в процессе циркуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abbas, A. K., et al. (2023). "A Review of Equivalent Circulating Density (ECD) Prediction Models in Complex Wellbores." SPE Drilling & Completion.
2. Ivanov, S., & Petrov, V. (2022). "Precision Hydraulics: The Impact of Local Gravity Variations on Pressure Loss Calculations in Ultra-Deep Wells." Georesources.