

## ВЛИЯНИЕ ОБРАТНОГО ПОТОКА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ НА САМОЗАКЛИНИВАНИЕ КЕРНА ПРИ БУРЕНИИ НАКЛОННЫХ СКВАЖИН

Рассмотрено равновесие керна, отделенного от пенька трещиной, при обратном потоке промывочной жидкости в керноприемной трубе при бурении снарядами со съемными керноприемниками (ССК). Получена формула, связывающая необходимый расход обратного потока, интенсивность и направление трещиноватости буримых пород, геометрические размеры керна и зенитный угол скважины. Показано, что обратный поток при использовании ССК целесообразно применять при бурении трещиноватых и раздробленных пород.

В Казахстане ежегодно сооружаются 50–60 тыс. м колонковых скважин с применением снарядов ССК, причем четко прослеживается тенденция к резкому увеличению указанного объема.

Бурение ССК значительно превосходит по технико-экономическим показателям традиционное колонковое бурение. В то же время в сложных геологических условиях, характеризующихся повышенной трещиноватостью и перемежаемостью пород по твердости, отмечается резкое снижение проходки за цикл и недостаточный выход керна, что ограничивает область применения ССК.

Применение модифицированных снарядов ССК, позволяющих получить обратный поток промывочной жидкости в колонковой трубе, повышает выход керна в трещиноватых породах, сокращает количество его самозаклиниваний и расширяет область эффективного применения способа [1].

Цель работы — теоретическое обоснование положительного влияния обратного потока промывочной жидкости на информативность и технико-экономические показатели бурения снарядами со съемными керноприемниками. Для этого необходимо установить условия исключения самозаклинивания керна в зависимости от интенсивности и направления трещиноватости буримых пород, расхода обратного потока жидкости и поперечных размеров колонковой трубы и керна.

Рассмотрим уравнение равновесия отделенного от пенька куска керна I (рис. 1). Предполагается, что в смещенном положении боковая поверхность куска I еще не контактирует с внутренней поверхностью колонковой трубы. Для промывки применяется обратный поток.

На кусок I будет действовать возрастающая при его смещении сила  $T$  скоростного потока жидкости:

$$T = \frac{C_x S_x \gamma_{ж} V_{cp}^2}{2g} = \frac{8C_x S_x \gamma_{ж} Q^2}{g\pi^2 (d_{ан}^2 - d_k^2)^2}, \quad (1)$$

где  $C_x$  — коэффициент лобового сопротивления куска I керна;  $S_x$  — миделево сечение куска керна, м<sup>2</sup>;  $\gamma_{ж}$  — удельный вес промывочной жидкости, Н/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $Q$  — расход промывочной жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $d_{ан}$  — внутренний диаметр колонковой трубы, м;  $d_k$  — диаметр керна, м;

$V_{cp}$  — средняя скорость потока жидкости в колонковой трубе, равная  $V_{cp} = \frac{4Q}{\pi(d_{ан}^2 - d_k^2)}$ , м/с;  $t$  — зазор между керном и колонковой трубой, м.

Изменение силы  $T$  объясняется ростом площади  $S_x$ , величина которой в момент контакта боковой поверхности куска I с колонковой трубой вследствие имеющегося зазора  $t$ :

$$S_x \approx d_k \cdot t. \quad (2)$$

Малая величина  $t$  по сравнению с диаметром керна (в современных колонковых наборах  $t = 2-3$  мм) позволяет достаточно точно предположить, что сила  $T$  приложена в точке  $F$  куска I.

На верхний кусок I действуют сила его тяжести  $P_g$ , выталкивающая сила  $P_a$  и определяемая по формуле:

$$P = P_g - P_a = \frac{\pi d_k^2}{4} \left( h + \frac{d_k}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) (\gamma_k - \gamma_{бр}), \quad (3)$$



Рис. 1. Силы, действующие на керн в наклонной скважине, при обратном потоке раствора

где  $\gamma_k$  — удельный вес керна;  $\gamma_{бр}$  — удельный вес бурового раствора;  $h$  — минимальная высота, отделенного трещиной куска керна I;  $\alpha$  — угол наклона трещины к оси керна.

Обозначим через  $A = \frac{\pi d_k^2}{4}(\gamma_k - \gamma_{бр})$ . Тогда (3) преобразуется:

$$P = A \left( h + \frac{d_k}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right). \quad (4)$$

Запишем уравнения равновесия для куска керна I (рис. 1), заменив действие со стороны пенька II нормальной реакцией  $N$  и силой трения  $F_{мп}$ :

$$\begin{aligned} \Sigma F_x = 0; & P \sin \gamma - F_{мп} \sin \alpha - N \cos \alpha = 0, \\ \Sigma F_y = 0; & P \cos \gamma - F_{мп} \cos \alpha - N \sin \alpha = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{IF} = 0; & P \cos \gamma (d_k - x_c) - P \sin \gamma \left( h + \frac{d_k}{\operatorname{tg} \alpha} - y_c \right) - \\ & - N \left[ \frac{d_k}{\sin \alpha} - \left( x_c - \frac{(h - y_c)}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \sin \alpha \right] = 0, \end{aligned}$$

где  $x_c, y_c$  — координаты центра тяжести куска керна I.

Найдем указанные координаты. В силу симметрии верхнего куска керна его центр тяжести совпадает с центром тяжести фигуры AODF, лежащей в апсидальной плоскости (рис. 2). Трапецию AODF разобьем на прямоугольник AODE и треугольник AEF, у которых положение центров тяжести  $C_1$  и  $C_2$  известно. Из треугольника AEF получим  $EF = d_k / \operatorname{tg} \alpha$ .

Отсюда вычислим координаты:

$$x_c = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A_1 + A_2} = \frac{d_k (3 \operatorname{htg} \alpha + 2 d_k)}{3(2 \operatorname{htg} \alpha + d_k)},$$

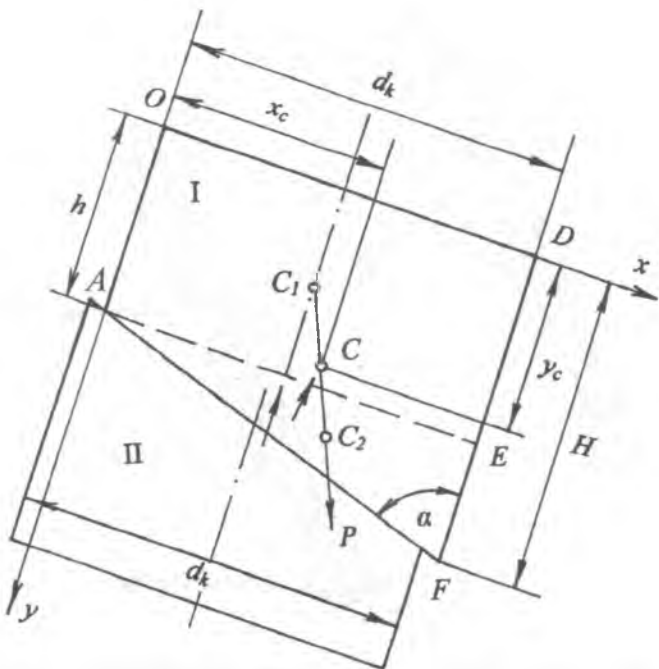


Рис. 2. К определению центра тяжести куска керна I

$$y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2}{A_1 + A_2} = \frac{3 \operatorname{tg}^2 \alpha + d_k (3 \operatorname{htg} \alpha + d_k)}{3 \operatorname{tg} \alpha (2 \operatorname{htg} \alpha + d_k)}.$$

Из первого уравнения системы (5) найдем  $N$ :

$$N = \frac{P \sin \gamma}{(f \sin \alpha - \cos \alpha)}. \quad (6)$$

Величину  $N$  подставим во второе уравнение системы (5):

$$P \cos \gamma - T - \frac{P \sin \gamma (f \cos \alpha - \sin \alpha)}{(f \sin \alpha - \cos \alpha)} = 0. \quad (7)$$

После преобразования (7) получим:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-T + P(f \sin \gamma + \cos \gamma)}{-Tf + P(f \cos \gamma - \sin \gamma)}. \quad (8)$$

Подставляя в (8) выражение для  $P$  (4), получим:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}^2 \alpha [2Ah(f \cos \gamma - \sin \gamma) - 2T_2 f] + \\ + [Ad_k(f \cos \gamma - \sin \gamma) + 2T_2 + \\ + 2hA(f \sin \gamma + \cos \gamma)] \operatorname{tg} \alpha - Ad_k(f \sin \gamma + \cos \gamma) = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Обозначим:

$$a_1 = [2hA(f \cos \gamma - \sin \gamma) - 2T_2 f],$$

$$b_1 = [Ad_k(f \cos \gamma - \sin \gamma) + 2T_2 + 2hA(f \sin \gamma + \cos \gamma)],$$

$$c_1 = -Ad_k(f \sin \gamma + \cos \gamma),$$

$$z = \operatorname{tg} \alpha.$$

Уравнение (9) примет вид:

$$a_1 z^2 + b_1 z + c = 0. \quad (10)$$

Решение (10) следующее:

$$z = \frac{-b_1 + \sqrt{b_1^2 - 4a_1 c_1}}{2a_1}.$$

Отсюда

$$\alpha = \operatorname{arctg}(z). \quad (11)$$

Для нахождения угла  $\alpha$ , при котором происходит самозаклинивание керна, составлена программа САМОЗАКЛИНИВАНИЕ в системе Delphi 7. Программа рассчитывает угол  $\alpha$  в зависимости от зенитного угла наклона скважины и других параметров.

Подставив  $T$  из формулы (1) в (7) и решив полученное выражение относительно  $Q$ , получим формулу для расхода промывочной жидкости в зависимости от угла  $\alpha$  при фиксированных значениях зенитного угла наклона скважины:

$$Q > \frac{\pi(d_{мн}^2 - d_k^2)}{4} \times \sqrt{\frac{\pi d_k^2 \left( h + \frac{d_k}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right) (\gamma_k - \gamma_{ж}) g [(f \operatorname{tg} \alpha - 1) \cos \gamma - (f - \operatorname{tg} \alpha \sin \gamma)]}{2C_x S_x \gamma_{ж} (f \operatorname{tg} \alpha - 1)}} \quad (12)$$

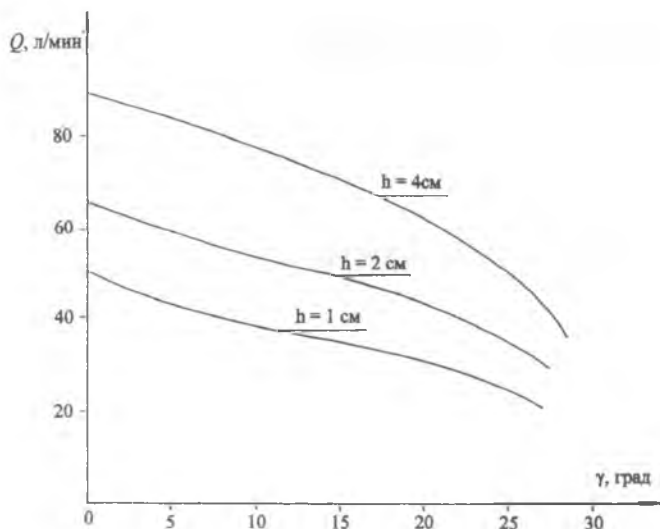


Рис. 3. Зависимость расхода обратного потока  $Q$ , исключаяющего самозаклинивание керна, от зенитного угла скважины при различной высоте  $h$  куска I ( $d_c$  0,047 м;  $d_m$  0,05 м;  $\alpha = 50^\circ$ )

Формула (12) отличается от полученной в [2] тем, что она учитывает величину зенитного угла скважин, т. е. применима как при вертикальном, так и наклонном бурении.

В качестве примера на рис. 3 представлена зависимость необходимого расхода  $Q$  обратного потока при угле наклона трещин  $\alpha = 50^\circ$  от зенитного угла  $\gamma$  скважин.

Зависимости построены для различных минимальных высот ( $h$ ) столбика керна (4, 2, 1 см). Как следует из кривых, максимальный расход потока

для исключения самозаклинивания керна требуется при бурении вертикальной скважины. Уменьшение расхода при наклонном бурении для исключения самозаклинивания объясняется уменьшением силы  $T$ , от которой зависит расход  $Q$  (1) для поддержания равновесия керна, которое, в свою очередь, определяется из (5). Сила  $T$  уменьшается за счет изменения положения центра тяжести куска I керна в наклонной скважине, что следует из анализа третьего уравнения системы (5).

### Выводы

1. Теоретически доказано, что обратный поток промывочной жидкости способствует ликвидации самозаклинивания керна. Получена формула для расхода обратного потока, необходимого для исключения самозаклинивания. Указанная зависимость связывает расход с интенсивностью и направлением трещиноватости буримых пород, геометрическими размерами керна и зенитным углом скважины

2. С увеличением зенитного угла скважины величина расхода обратного потока промывочной жидкости, необходимого для ликвидации самозаклинивания, уменьшается.

3. При увеличении интенсивности трещиноватости буримых пород величина обратного потока для ликвидации самозаклинивания также уменьшается. Учитывая рациональный режим промывки при бурении снарядами ССК, обратный поток промывочной жидкости целесообразно применять при бурении трещиноватых и раздробленных пород.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А.М., Богданов В.А. и др. Колонковый снаряд для бурения ССК в осложненных условиях // Исследование, разработка и внедрение высокопроизводительных технических средств алмазного бурения. Л.: ВИТР, 1982. С. 21–30.
2. Туякбаев Т.Н., Федоров Б.В. Теория формирования и технические средства отбора керна из скважин. Алма-Ата: Наука, 1988. 55 с.

ТОО «Бурмаш», Республика Казахстан  
Рецензент — Н.В. Соловьев