

Николай А. Дудля\*

## ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫНОСА БУРОВОГО ШЛАМА

Одними из основных процессов при бурении скважин являются:

- разрушение горной породы на забое скважины;
- вынос промывочной жидкостью выбуренных частиц шлама на поверхность.

Причем, второй процесс облегчает реализацию первого: при достаточной очистке забоя происходит повторное дробление выбуренных ранее частиц, что ведет к износу породоразрушающего инструмента и, как результат – к падению механической скорости бурения и проходки на долото.

Струя промывочной жидкости должна гарантировать вынос выбуренных частиц во времени: частичка движется кверху, так как скорость движения промывочной жидкости выше скорости падения частиц шлама.

Скорость выноса частиц бурового шлама может быть определена из выражения

$$V_c = V_a - e \cdot V_s \quad [\text{м/с}] \quad (1)$$

где:

$V_c$  – скорость выброса шлама [м/с];

$V_a$  – скорость движения промывочной жидкости в кольцевом пространстве скважины [м/с];

$V_s$  – скорость падения частиц шлама в промывочной жидкости [м/с];

$e$  – коэффициент, учитывающий состояние стенок скважины, наличие обсадной колонны труб и т.д.,  $e = 1.05 \div 1.4$ .

Разделив обе части уравнения (1) на  $V_a$ , получим коэффициент выноса шлама:

$$w_w = \frac{V_c}{V_a} = \frac{V_a - e \cdot V_s}{V_a} = 1 - \frac{e \cdot V_s}{V_a} \quad (2)$$

---

\* Национальный горный университет, Украина

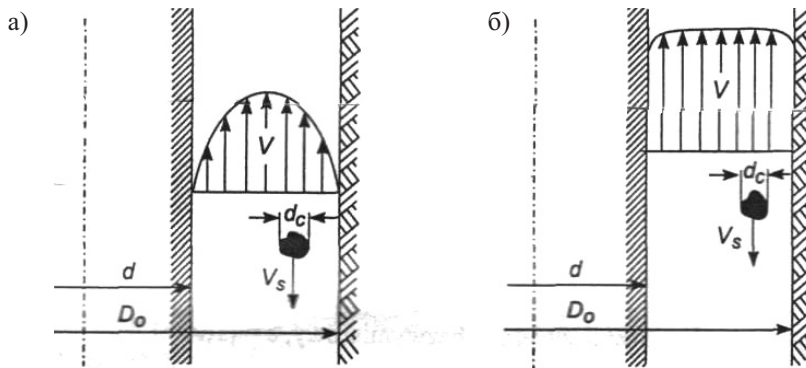
Минимальная скорость движения промывочной жидкости в кольцевом пространстве с учетом допустимой концентрации бурового шлама может быть определена из выражения:

$$v_{\min} = \frac{1}{k} \cdot \frac{F_f \cdot V_f}{F_a} \cdot 100 \quad [\text{м/с}] \quad (3)$$

где:

- $F_f$  – площадь забоя скважины [м<sup>2</sup>];
- $F_a$  – площадь кольцевого пространства между бурильными трубами и стенками скважины [м<sup>2</sup>];
- $V_f$  – скорость бурения [м/с];
- $k$  – допустимая концентрация бурового шлама в промывочной жидкости (0.03 <  $k$  < 0.05) для осложненных условий – 0.02 <  $k$  < 0.03.

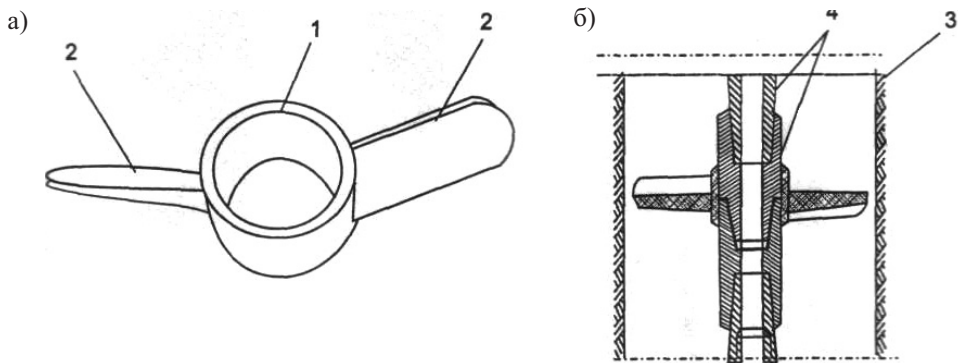
Увеличение скорости бурения в свою очередь требует более интенсивной промывки скважины (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема движения промывочной жидкости: а) ламинарное течение; б) турбулентное течение;  $V$  – скорость течения струи жидкости,  $V_s$  – скорость падения частиц шлама,  $d_c$  – диаметр частиц шлама,  $d$  – диаметр бурильных труб,  $D_0$  – диаметр скважины

Как видно (рис. 1а), скорость движения промывочной жидкости неодинакова по всему сечению кольцевого пространства, причем максимума она достигает в центре сечения при ламинарном течении.

Вращение бурильной колонны способствует увеличению эффективности выноса шлама струей промывочной жидкости. Для интенсификации этого процесса разработана конструкция специальных устройств – турбулизаторов, которые могут быть расположены в определенных местах на бурильных трубах (рис. 2). Наличие турбулизаторов способствует увеличению скорости движения жидкости в кольцевом пространстве и возникновению турбулентного движения ее за счет суммирования эффектов действия промывочного насоса и бурильных труб. В свою очередь, это способствует интенсификации процесса выноса бурового шлама, а следовательно, и увеличению механической скорости бурения.

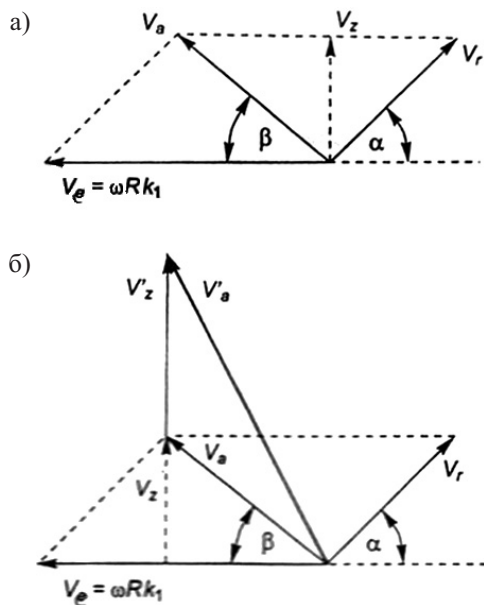


**Рис. 2.** Схема турбулизатора движущейся промывочной жидкости в кольцевом пространстве: а) общий вид; б) турбулизатор на замке бурильных труб; 1 – кольцо, 2 – лопасти, 3 – стенка скважины, 4 – элементы бурильных труб

Производственные исследования показали, что турбулизаторы рационально устанавливать на замках на расстоянии примерно 25÷30 метров друг от друга с учетом конкретных горно-геологических условий бурения.

Турбулизатор изготавливается из резины, причем кольцо 1 выполнено из более мягкого (растягивающегося) материала, а лопасти 2 имеют более жесткую основу (рис. 2).

Распределение скоростей движения промывочной жидкости в кольцевом пространстве скважины, возникающих под действием турбулизатора, дано на рисунке 3а.



**Рис. 3.** График результирующей скорости выноса шлама в процессе бурения: а) при действии турбулизатора; б) суммарный эффект действия турбулизатора и промывочного насоса

Вращение бурильных труб вместе с турбулизатором способствует возникновению двух векторов скорости промывочной жидкости: вектор окружной скорости  $V_e$  и вектор относительной скорости  $V_r$ , которые после суммирования дают результирующую скорость  $V_a$ , а также вертикальную составляющую  $V_z$ , которая определяет направление движения жидкости от забоя скважины к поверхности земли. Значения этих скоростей можно определить с помощью следующих формул:

$$\left. \begin{aligned} V_e &= \omega R k_1 \\ V_r &= \frac{\omega R k_1 \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} \\ V_z &= \frac{\omega R k_1}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta} \\ V_a &= \frac{\omega R k_1 \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где:

- $R$  – радиус лопасти турбулизатора [м];
- $\alpha$  – угол наклона лопасти [град];
- $\beta$  – угол между вектором результирующей скорости  $V_a$  и окружной скорости  $V_e$ ;
- $k_1$  – коэффициент учитывающий уменьшение скорости за счет движения струи,  $k_1 < 1$ .

Угол  $\beta$  характеризует взаимодействие лопасти турбулизатора с промывкой и зависит от множества факторов (окружной скорости, коэффициента трения промывочной жидкости о лопасти, свойств промывочной жидкости и др.), определяется экспериментальным путем.

Промывочный насос обеспечивает течение в кольцевом пространстве промывки со шламом с вертикальной составляющей

$$V'_z = \frac{4aQ}{D^2 - d_r^2} \quad [\text{м/с}] \quad (5)$$

На рисунке 3б приведена схема действия векторов результирующих скоростей от действия промывочного насоса и турбулизатора – эффект действия увеличивается с  $V_a$  до  $V'_a$  и с  $V_z$  до  $V'_z$ .

Критическую скорость, при которой возникает турбулентное движение промывочной жидкости, можно определить из выражения:

$$V = 5.1 \sqrt{\frac{\tau_0}{\gamma}} \quad [\text{м/с}] \quad (6)$$

где:

- $\tau_0$  – предел текучести промывочной жидкости [Па],
- $\gamma$  – плотность промывочной жидкости [Н/м<sup>3</sup>].

Известно, что течение промывочной жидкости в кольцевом пространстве может быть ламинарным, ламинарно-возмущающим, турбулентным или турбулентно-вихревым.

Турбулентное движение и турбулентно-вихревое в сравнении с ламинарным обеспечивает течение жидкости полным сечением кольцевого пространства, больше способствует условиям выноса частиц шлама разной формы и высокую скорость течения струи. Скорости струй приблизительно равные (рис. 1б). Вращение бурильных труб ведет к тому, что движение промывочной жидкости происходит по винтовой линии, а результирующая скорость течения может быть рассчитана по формуле

$$V_a = \sqrt{\frac{16Q}{n^2(D^2 - d_r^2)} + \frac{\pi^2 n^2 R^2 k_1^2}{900}} \quad [\text{м/с}] \quad (7)$$

где:

- $Q$  – производительность насоса [ $\text{м}^3/\text{с}$ ],
- $D$  – диаметр скважины [ $\text{м}$ ],
- $d_r$  – наружный диаметр бурильных труб [ $\text{м}$ ],
- $n$  – частота вращения бурильных труб [ $\text{с}^{-1}$ ].

Одним из методов, улучшающих очистку забоя скважины от выбуренной породы, является изменение направления конструкции сопла бурового долота (изменение направления его действия). Нами исследовано процесс очистки забоя скважины с применением трехшарошечного долота, в котором два промывочных сопла направлены вниз к забою, а одно – к устью скважины (рис. 4). В проведенных испытаниях получены положительные результаты.

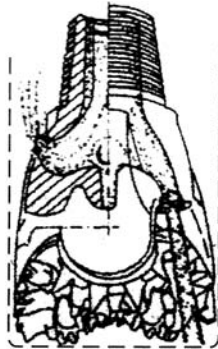


Рис. 4. Схема конструкции экспериментального долота

Следовательно, очистка забоя скважины от выбуренной породы зависит от многих факторов: гидравлической забойной мощности, количества, формы и расположения сопел долота и т.д.

Применение турбулизаторов в кольцевом пространстве с прямой промывкой значительно улучшает очистку забоя скважины при бурении на воду.