

УДК 622.24

И. Я. Ширали, Ф. А. Рамазанов¹, Р. А. Гасанов²

¹Трест Комплексные буровые работы ГНКАР;

²Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ПРОМЫВКИ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Исследованы движение промывочной жидкости, ее взаимодействие с забоем скважины на основе механической модели с различными векторами направления движения и конструктивными формами исполнительской части породоразрушающего инструмента.

В проекциях использованы уравнения движения массы в виде шара, моделирующие частицу промывочной жидкости с соответствующими краевыми условиями. Разработаны математические алгоритмы для выбора конструктивных параметров системы промывки устройства при подаче бурового раствора, обеспечивающих очистку призабойной зоны скважины от выбуренных пород для различных форм исполнительской части породоразрушающего инструмента. Определены совместимые условия конструктивных параметров системы промывки и форм исполнительского органа породоразрушающего инструмента и параметров их эксплуатации и даны соответствующие рекомендации для реализации процесса производства буровых работ.

Ключевые слова: долото, система промывки, забой, взаимодействие, эффективность очистки, совместимость параметров, выполнение буровых работ

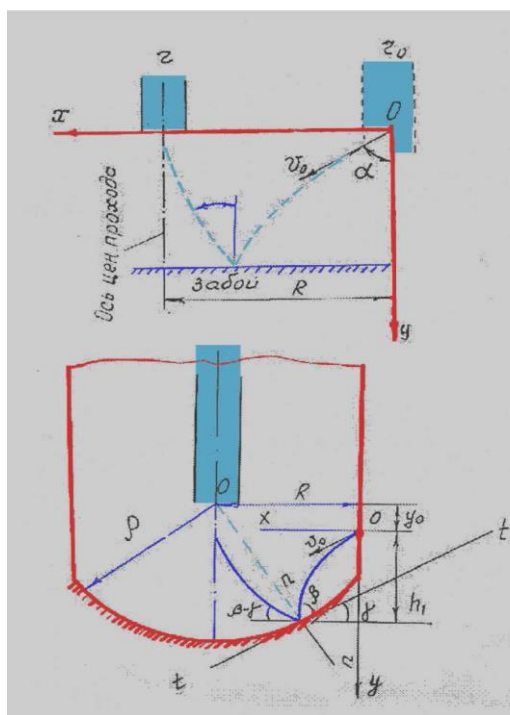


Рис. 1. Механическая модель взаимодействия промывочной жидкости с забоем скважины во время буровых работ случае формы забоя: а – плоской; б – сферической

Конструктивные параметры системы промывки устройства для разрушения и очистки забоя скважины определяют путем моделирования взаимодействия исполнительской части породоразрушающего инструмента с забоем скважины в соответствии с теоретическим исследованием.

Известно, что эффективность функционирования любой компоновки (независимо от конструктивного исполнения) для буровых работ наряду с множеством других факторов определяется совершенством ее системы промывки. Степень совершенства системы промывки оценивают ее способностью очищать призабойную зону от выбуренных пород в процессе бурения. Эта способность может обеспечиваться соблюдением предъявляемых к проектированию системы промывки соответствующих требований. Последние заключаются в том, что подаваемая на забой скважины, промывочная жидкость, отражаясь от него, должна поступать в центральный проход устройства. Только такая траектория

движения промывочной жидкости из промывочных каналов, т. е. от периферийной части забоя к центральной зоне, облегчает отсос шлама, скапливаемого на забое скважины во время буровых работ ускорителем устройства [1–4; 10].

Для исследования движения промывочной жидкости ее взаимодействие с забоем скважины моделируется механической моделью, показанной на рис. 1 [7].

На указанной модели обозначены: h – высота установки насадки; α – угол между направлением струи и осью y ; β – угол отражения струи промывочной жидкости; R – расстояние от оси насадки до оси центрального прохода; r – радиус центрального прохода устройства.

Для математического моделирования взаимодействия промывочной жидкости с забоем скважины задаемся координатной системой XOY с началом координат на выходе насадки по ее оси.

Предполагаем, что моделируемая в виде шарообразных частиц промывочная жидкость радиуса r_0 (радиус отверстия насадки) выходит из отверстия насадки со скоростью V_0 под углом α к вертикальной оси Y .

На такую шарообразную частицу будут действовать сила сопротивления покоящейся жидкости и центробежная сила. Тогда сила сопротивления жидкости на шар будет равна $6\pi\rho_0 r_0 \mu \bar{u}$, где \bar{u} – скорость шара; μ – вязкость жидкости.

Центробежная сила направлена против оси X и равна $m\omega^2(R-x)$, где m – масса шара; ω – угловая скорость вращения долота; x – расстояние от центра до шара. Тогда в проекциях уравнения движения массы в виде шара можно представить в виде:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + 6\pi\mu r_0 \dot{x} + m\omega^2(R-x) &= 0 \\ m\ddot{y} + 6\pi\mu \dot{y} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где x, y – координаты центра шара в момент времени t ; точка над величинами x и y означает производную по времени.

Учитывая, что $m = \frac{4}{3}\pi r_0^3 \rho_\epsilon$, из (1) получаем:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \frac{9\mu}{2\rho_\epsilon r_0^2} \dot{x} - \omega^2 x &= -\omega^2 R; \\ \ddot{y} + \frac{9\mu}{2\rho_\epsilon r_0^2} \dot{y} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Общее решение первого уравнения (2) имеет вид:

$$x = C_1 e^{K_1 t} + C_2 e^{K_2 t} + R \quad (3)$$

где C_1, C_2 – постоянные интегрирования; K_1, K_2 – коэффициенты,

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= -K - \sqrt{K^2 + \omega^2} = -K - m \\ K_2 &= -K + \sqrt{K^2 + \omega^2} = -K + m \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $K = \frac{9\mu}{4\rho_\epsilon r_0^2}$; $m = \sqrt{K^2 + \omega^2}$.

С учетом начальных условий $x(0) = 0$; $\dot{x}(0) = \sigma_o \sin \alpha$ при $t = 0$ постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяются в нижеприведенном виде:

$$C_1 = \frac{v_o \sin \alpha + RK_2}{K_1 - K_2}; \quad C_2 = \frac{v_o \sin \alpha + RK_1}{K_2 - K_1}.$$

С учетом выражений (4) получаем следующее:

$$x = e^{-kt} (C_1 e^{-mt} + C_2 e^{mt}) + R. \quad (5)$$

Общее решение второго уравнения (2) имеет вид:

$$y = C_3 e^{-2kt} + C_4. \quad (6)$$

Начальные условия для определения C_3 и C_4 следующие:

$$y(0) = 0; \quad \dot{y}(0) = v_0 \sin \alpha \quad \text{при } t = 0$$

Подставляя в (5) выражения для интегральных постоянных C_3 и C_4

$$C_3 = \frac{-v_0 \cos \alpha}{2K}; \quad C_4 = \frac{v_0 \cos \alpha}{2K},$$

для изменений y получаем:

$$y = \frac{v_0 \cos \alpha}{2K} (1 - e^{-2kt}). \quad (7)$$

По зависимости (7) можно определить время t_0 достижения массы в виде шара забоя скважины, для чего задаемся условием $t = t_0$ при $y = h$:

$$t_0 = \frac{1}{2K} \ln \frac{v_0 \cos \alpha}{v_0 \cos \alpha - 2hK}. \quad (8)$$

Движение массы в виде шара вверх представляется уравнениями, аналогичными (2), решение которых имеет вид:

$$\begin{aligned} x_1 &= C_5 e^{k_2 t} + C_6 e^{-k_2 t} + R; \\ y_1 &= C_7 e^{-2kt} + C_8. \end{aligned} \quad (9)$$

Постоянные интегрирования $C_5, -C_8$ определяются из условий, что при $t = 0$:

$$\left. \begin{aligned} X_1(0) &= X(t_0); \quad \dot{X}_1(0) = v(t_0) \cos \beta = \dot{X}(t_0); \\ y_1(0) &= h; \quad \dot{y}_1(0) = v(t_0) \sin \beta = -\dot{y}(t_0). \end{aligned} \right\}$$

С учетом последних получаем:

$$\begin{aligned} C_5 &= \frac{\dot{X}(t_0) - K_2 [X(t_0) - R]}{K_1 - K_2}; & C_6 &= \frac{\dot{X}(t_0) - K_1 [X(t_0) - R]}{K_2 - K_1}; \\ C_7 &= \frac{\dot{y}(t_0)}{2K}; & C_8 &= h - \frac{\dot{y}(t_0)}{2K}. \end{aligned} \quad (10)$$

Согласно требованиям к конструкции системы промывки разработанного устройства после отражения от забоя скважины промывочная жидкость должна ориентироваться в центральный проход его всасывающего узла. Это условие должно обеспечиваться на высоте h после отражения жидкости от забоя скважины. Математически это выражается условием $x_1 = R$ при $y_1 = 0$, с учетом которого приводит к следующему равенству:

$$\frac{R(m - K) + v_0 \sin \alpha}{R(m + K) - v_0 \sin \alpha} = \left(\frac{v_0 \cos \alpha - 2hK}{4hK - v_0 \sin \alpha} \right)^{\frac{m}{k}}. \quad (11)$$

В уравнение (11) входит угол α , определяющий направление, высота установки и диаметр насадки; расход бурового раствора Q через v_0 . Задавая три из этих четырех величин с помощью (11) можно определить четвертую величину, тем самым обеспечить центробежность струи. Это означает, что (11) является математическим алгоритмом для выбора конструктивных параметров системы промывки устройства при подаче бурового раствора, обеспечивающего очистку призабойной зоны скважины от выбуренных пород.

Кроме условия (11) должно выполняться условие $v(t) \geq 0$, т. е.:

$$K_1^2 C_5^2 \xi^{\frac{k+m}{k}} + K_2^2 C_6^2 \xi^{\frac{k-m}{k}} + 2K_1 K_2 C_5 C_6 \xi + \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{\xi^2} \geq 0.$$

Рассмотрим случай, когда поверхность забоя имеет форму сферы (рис. 1, б). Предположим, что центр сферы находится на оси скважины, в связи с чем ее координаты будут представлены координатами точки $O_1(R; y_0)$, где y_0 – заданное число. Окружность сечения представляется уравнением

$$(X - R)^2 + (y - y_0)^2 = \rho^2 \quad (12)$$

где ρ – радиус сферы.

Уравнение движения истекающей из насадок промывочной жидкости согласно формуле (11)

$$X = \sqrt{\frac{v_0 \cos \alpha - 2Ky}{v_0 \cos \alpha}} \left[C_1 \left(\frac{v_0 \cos \alpha - 2Ky}{v_0 \cos \alpha} \right)^{\frac{m}{2k}} + C_2 \left(\frac{v_0 \cos \alpha - 2Ky}{v_0 \cos \alpha} \right)^{\frac{m}{2k}} \right] \quad (13)$$

Направление вектора скорости движения отраженной от забоя скважины промывочной жидкости должно совпадать с направлением касательной к окружности в точке $[y(t_0); x(t_0)]$, уравнение которой представляется зависимостью [5; 6]:

$$y = \frac{R - X(t_0)}{y(t_0) - y_0} \cdot X + \frac{RX(t_0) - y_0(t_0) - R^2 - y_0^2 + \rho^2}{y(t_0) - y_0}. \quad (14)$$

Как следует из рис. 1, б струя отражается под углом $\beta - \gamma$ к горизонту, где углы β и γ

$$\cos \beta = \frac{\dot{X}(t_0)}{\sqrt{\dot{X}^2(t_0) + \dot{y}^2(t_0)}}; \quad \operatorname{tg} \gamma = \frac{R - X(t_0)}{y(t_0) - y_0}. \quad (15)$$

В этой постановке постоянные интегрирования $C_5 - C_8$, входящие в (9), определяют по условиям

$$\left. \begin{aligned} X_1(0) &= X(t_0); & \dot{X}_1(0) &= v(t_0) \cos(\beta - \gamma); \\ Y_1(0) &= h_1 = Y(t_0); & y_1(0) &= -v(t_0) \sin(\beta - \gamma). \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

где $v(t_0) = \sqrt{\dot{X}^2(t_0) + \dot{y}^2(t_0)}$.

С учетом граничных условий из (11) получаем интегральные постоянные $C_5 - C_8$

$$C_5 = \frac{v(t_0) \cos(\beta - \gamma) + K_2 [R - X(t_0)]}{K_1 - K_2};$$

$$C_6 = \frac{v(t_0) \cos(\beta - \gamma) + K_1 [R - X(t_0)]}{K_1 - K_2};$$

$$C_7 = \frac{v(t_0) \sin(\beta - \gamma)}{2K};$$

$$C_8 = y(t_0) - \frac{v(t_0) \sin(\beta - \gamma)}{2K}.$$

Время, за которое истекающая из насадок промывочная жидкость может достичь сферического забоя, определяется из условия $y_1 = 0$ при $x_1 = R$.

$$t_1 = -\frac{1}{2K} \ln \left(-\frac{C_8}{C_7} \right) = \frac{1}{K} \ln \sqrt{\frac{v(t_0) \sin(\beta - \gamma)}{v(t_0) \sin(\beta - \gamma) - 2Ky(t_0)}}.$$

С учетом последнего условия и уравнения касательной (14) из (9) получаем зависимость, объединяющую конструктивные параметры промывки устройства и режимные параметры выполнения буровых работ:

$$C_5 + C_6 \left[\frac{v_o \sin(\beta - \gamma)}{v_o \sin(\beta - \gamma) - 2Ky(t_o)} \right]^{\frac{m}{k}} = 0. \quad (17)$$

Кроме параметров, входящих в трансцендентное уравнение (11) в уравнение (17) входит угол γ , являющийся функцией радиуса кривизны сферы ρ . Следовательно, зависимость (17) более обобщенная по сравнению с (11). Это обусловлено тем, что (10) является частным случаем, получаемым из (16) при $\rho \rightarrow \infty$. Это означает, что выражение (17) – математическая основа для проектирования как конструкции системы промывки предложенного устройства и соответствующих режимных параметров его эксплуатации, так и конструкции нижнего исполнительного органа, т. е. разрушающей горные породы части исполнительного органа устройства. О такой возможности свидетельствуют также механические модели взаимодействия (рис. 1, а, б), на основе математического исследования которых получены зависимости (11) и (17). Так, согласно результатам сравнения схем на рис. 1, если забой имеет форму сферы, центр которой находится над забоем скважины, скапливающийся в этой зоне буровой шлам будет отсасываться в более легком режиме [8; 9]. Это соответствует конструкции исполнительного органа устройства с вогнутой в центральной зоне режущей частью. Наоборот, когда центр сферы находится ниже забоя скважины, т. е. конструкция исполнительного органа имеет выпуклую режущую часть, отсос бурового шлама при разрушении горных пород затрудняется. Следовательно, оптимальную конструкцию режущей части исполнительного органа устройства следует искать в области вогнутых ее исполнений. Наихудшим из вариантов в этой области конструктивных исполнений является плоскодонная конструкция режущей части исполнительного органа устройства.

На рис. 2, а–г представлены кривые, характеризующие взаимовлияние режимных факторов и различных комбинаций параметров конструктивного исполнения системы промывки разработанного устройства. Как следует из данных рис. 1, по мере удаления насадок от забоя скважины в конструкции исполнительного органа устройства начальная скорость истечения струи промывочной жидкости резко повышается. Причем происходит это при расположении насадок с углом наклона к вертикали, равным 30° . Этот скачок значений начальной скорости струи промывочной жидкости соответствует интервалу угла наклона, равного $15^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ$. До и после указанного интервала углов наклона насадок изменения начальной скорости истечения промывочной жидкости характеризуются колебательностью с небольшой амплитудой.

Выводы

1. Установлено, что если забой имеет форму сферы, центр которой находится над забоем скважины, скапливающийся в этой зоне буровой шлам будет отсасываться в более легком режиме.
2. Это соответствует конструкции исполнительного органа устройства с вогнутой в центральной зоне режущей частью.
3. Когда центр сферы находится ниже забоя скважины, т. е. когда конструкция исполнительного органа имеет выпуклую режущую часть, отсос бурового шлама при разрушении горных пород затрудняется.
4. Оптимальную конструкцию режущей части исполнительного органа устройства следует искать в области вогнутых ее исполнений.
5. Наихудшим из вариантов конструктивных форм режущей части исполнительного органа устройства является плоскодонное ее исполнение.

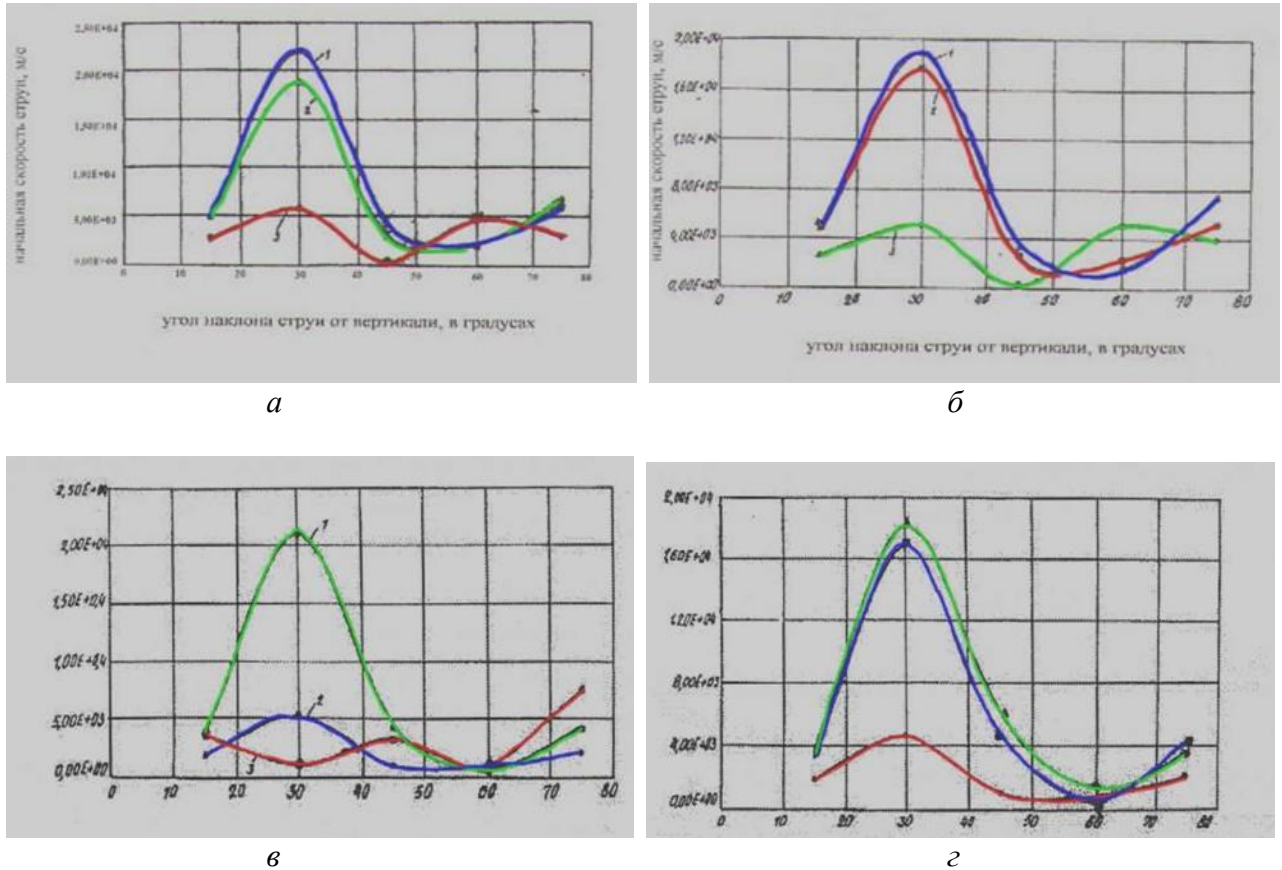


Рис. 2. Зависимости режимных факторов от конструктивного исполнения системы промывки разработанного устройства: а – при $r = 0,012$ м; $r_o = 0,009$ м; $1-h = 0,03$ м; $2-h = 0,09$ м; $3-h = 0,12$ м; б – при $r = 0,012$ м; $r_o = 0,006$ м; $1-h = 0,03$ м; $2-h = 0,09$ м; $3-h = 0,12$ м; в – при $r = 0,04$ м; $r_o = 0,009$ м; $1-h = 0,03$ м; $2-h = 0,09$ м; $3-h = 0,12$ м; г – при $r = 0,004$ м; $r_o = 0,006$ м; $1-h = 0,03$ м; $2-h = 0,09$ м; $3-h = 0,12$ м

Досліджено рух промивної рідини, її взаємодію з забоем свердловини на основі механічної моделі з різними векторами напрямку руху і конструктивними формами виконавчої частини породоруйнівного інструменту.

У проєкціях використані рівняння руху маси у вигляді кулі, що моделює частинку промивної рідини з відповідним крайовими умовами. Розроблено математичні алгоритми для вибору конструктивних параметрів системи промивки пристрою при подачі бурового розчину, що забезпечує очищення привибійної зони свердловини від вибуреної породи для різних форм виконавчої частини породоруйнівного інструменту. Визначено сумісні умови конструктивних параметрів системи промивки і форм виконавчого органу породоруйнівного інструменту і параметрів їх експлуатації та дані відповідні рекомендації для реалізації процесу виробництва бурових робіт.

Ключові слова: долото, система промивки, забой, взаємодія, ефективність очищення, узгодженість параметрів, виконання бурових робіт

DETERMINATION OF THE CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF THE SYSTEM OF WASHING THE POWDER-DISTRIBUTION INSTRUMENTS

The motion of the drilling fluid and the process of its interaction with the bottomhole are investigated on the basis of a mechanical model with a different direction vector and forms of constructive execution of the executive part of the rock cutting tool

Used in the projections of the equation of motion of the mass in the form of a ball simulating a particle of the washing liquid with the appropriate boundary conditions. Mathematical algorithms have been developed to select the design parameters of the system for flushing the device when feeding the drilling fluid, which

ensures that the bottomhole zone is cleaned from cuttings for various executions of the form of the executive part of the rock cutting tool. The compatible conditions for the design parameters of the flushing system and the execution of the form of the executive body of the rock cutting tool, the parameters of their operation, and the corresponding recommendations for the implementation of the drilling process are given.

Key words: *bit, washing system, bottomhole, interaction, cleaning efficiency, parameter compatibility, drilling operations*

Литература

1. Пат. 99/00192 Аз. Р. Компонировка для разрушения и очистки пород призабойной зоны / Р. А. Гасанов, О. К. Мамедов, Г. Н. Меджидов и др. // ГКНТ.– 2001.– № 1.– С. 12.
2. Байдюк Б. В. Физико-механические основы процессов бурения скважин. Обзорная информация. Сер. «Бурение газовых и газоконденсатных скважин».– М.: ИРЦ Газпром, 1993, – 77 с.
3. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 2001. – 680 с.
4. Бревдо Г. Д., Гериш К. Оптимизация параметров режима бурения.– М.: ВНИИОЭНГ, 1980.– 60 с.
5. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: Справочник / А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, Б. З. Султанов.– М.: Недра, 1997. – 357 с.
6. Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин.– М.: Недра, 2000.– 424 с.
7. О кинетике процесса очистки забоя скважины от выбуренных пород / Р. А. Гасанов, Г. Н. Меджидов, А. С. Гюльгази, Н. А. Меджидов // Нефтепромысловое дело.– № 9.– 2002.– С. 36–38.
8. Процессы разрушения горных пород и резервы повышения скоростей бурения / Н. А. Колесников, А. К. Рахимов, А. А. Брыков, А. И. Булатов.– Ташкент: Фан, 1989.– 188 с.
9. Масленников И. К. Усовершенствование бурового инструмента для нефтяных скважин.– М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1984.–70 с.
10. Сеид-Рза М. К., Фараджев Т. Г., Гасанов Р. А. Предупреждение осложнений в кинетике буровых процессов.– М.: Недра, 1991.– 480 с.

Поступила 12.06.17

УДК 622.233:551.49

А. А. Кожевников, д-р. техн. наук, **В. Л. Хоменко**, канд. техн. наук

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепр, Украина*

КЛАССИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГЛУБИНУ СПУСКА КРИОГЕННО-ГРАВИЙНЫХ ФИЛЬТРОВ

Приведена классификация параметров, влияющих на глубину спуска криогенно-гравийных фильтров. Рассмотрены три группы параметров: криогенно-гравийного фильтра, технологии спуска и скважинной среды.

Ключевые слова: *криогенно-гравийный фильтр, транспортировка фильтра, буровая скважина.*