

processing metal by pressure. In contrast to metals, rocks have an internal friction, which requires improvement of this method. Therefore, this work contains the analysis of different methods of calculation of contact tensions, based on definition of a balance between the derivatives of normal horizontal and vertical tensions, by the special solution of two differential and one algebraic equations.

Findings. The formulas for calculation regularities of normal and tangent tensions distribution on the contact surface of the rock samples are obtained.

Originality. The methods for calculation regularities of the contact tensions distribution received their further development, and at is given the estimation of their reliability by comparing the calculated ultimate strengths of the rock samples with the reference data.

Practical value. The recommended methods, using technique of the theory of slip lines, allow to determine the ultimate strength and to develop a method of charting “tension-longitudinal strain” without using expensive pressing equipment. The practical value lies in using of three metrics of rocks (resistance to shear, rates of contact and the internal friction of rocks) that are simply can be estimated by experiment directly in enterprises and promptly used by them in calculations of the ultimate strength.

Keywords: *contact tensions, compression of samples, ultimate strength, rock*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук С.С. Блохіним. Дата надходження рукопису 22.01.13.

УДК 622.276.054:622.244

Н.Т. Филимоненко¹, канд. техн. наук, доц.
А.А. Кожевников², д-р техн. наук, проф.

1 – Державний вищий навчальний заклад „Донецький національний технічний університет“, м. Донецьк, Україна, e-mail: fnt@mail15.com

2 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна

ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРЕРЫВИСТОМ ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ

N.T. Filimonenko¹, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

A.A. Kozhevnikov², Dr. Sci. (Tech.), Professor

1 – State Higher Educational Institution “Donetsk National Technical University”, Donetsk, Ukraine, e-mail: fnt@mail15.com

2 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine

SOLID PHASE MOTION IN INTERMITTENT VERTICAL FLOW

Цель. Обоснование реализации важнейшей гидродинамической функции промывочной жидкости – очистки забоя скважины от шлама и вынос его восходящим потоком при прерывистой внутрискважинной промывке с помощью погружного пневматического насоса (ППН) вытеснения. Такая возможность научно обоснована только применительно к стационарному потоку жидкости. Влияние прерывистого потока на процессы перемещения твердой фазы и ее локализацию в гидравлическом контуре скважины пока изучено мало.

Методика. Базируется на фундаментальных положениях теории переноса твердой фазы вертикальным потоком жидкости. При этом предусмотрено выявление связи процессов перемещения шлама восходящим прерывистым потоком жидкости с параметрами рабочего цикла ППН.

Результаты. Установлены критерии, позволяющие разделить твердую фазу, находящуюся в прерывистом взвесенесущем потоке, на седиментирующую и выносимую части как по фракциям, так и по длине потока. Доказано, что весь шлам, образовавшийся в конце активной части первого рабочего цикла ППН, будет вынесен за пределы забоя скважины на следующих активных частях рабочего цикла ППН. Таким образом, не будет зашламования забоя скважины при ее промывке с помощью ППН.

Научная новизна. Впервые теоретически установлена функциональная связь размера фракций твердой фазы, находящейся в прерывистом взвесенесущем потоке, с параметрами взвесенесущего потока и рабочего цикла ППН.

Практическая значимость. Заключается в том, что открывается возможность разработки и применения прогрессивной технологии импульсной промывки скважин с помощью ППН, снижающей стоимость буровых работ в условиях поглощения промывочной жидкости.

Ключевые слова: *скважина, промывка, жидкость, шлам, пневматический насос*

Постановка проблемы и ее связь с важнейшими научными задачами. Вследствие глобального экономического и энергетического кризиса наблюдается дефицит энергоносителей для обеспечения нор-

мального функционирования энергоемких отраслей промышленности. Сократить его позволит введение в эксплуатацию имеющихся и расширение уже разведанных запасов угля и газа.

Бурение скважин – основной и самый достоверный на сегодняшний день способ получения инфор-

мации о строении и составе недр. Однако при бурении скважин встречаются поглощения промывочной жидкости, которые входят в группу самых распространенных осложнений при буровых работах. Их ликвидация продолжительна и не всегда успешна. По этой причине бурение часто ведут с поглощением дорогостоящей промывочной жидкости, что приводит к резкому удорожанию работ.

Не редко после вскрытия поглощающего горизонта в скважине остается жидкость, которую можно использовать для создания внутрискважинной промывки с помощью погружных пневматических насосов (ППН) вытеснения одинарного действия. Они имеют простую конструкцию. Процесс передачи энергии в них осуществляется без промежуточных звеньев давлением сжатого воздуха непосредственно на вытесняемую жидкость. По этой причине они более адаптированы для работы в загрязненной среде бурового раствора. ППН не нуждаются в смазке, что весьма выгодно в плане экологичности их эксплуатации. Однако в буровой отрасли применение таких насосов сдерживается, поскольку ППН подает жидкость только на активной части его рабочего цикла, т. е. наблюдается прерывистость подачи. Следовательно, теоретически существует возможность зашламования забоя скважины на пассивной части рабочего цикла ППН, когда промывка скважины отсутствует.

Таким образом, изучение влияния рабочего цикла ППН на возможность реализации важнейших гидродинамических функций промывочной жидкости является актуальной научно-технической проблемой. Ее решение открывает перспективу разработки прогрессивной технологии импульсной промывки скважин с помощью ППН, снижающей затратность буровых работ в сложных условиях.

Результаты работы будут способствовать реализации целевой комплексной программы „Повышение технического уровня геологоразведочных, шахтно-геологических работ и технического бурения на базе использования современных геолого-геофизических методов, техники и технологии бурения“ (шифр 21810), а также государственной программы „Метан углей“, призванных расширить топливно-энергетические запасы Украины.

Анализ последних достижений и публикаций применительно к решению поставленной проблемы. Промывочная жидкость, как правило, представляет собой суспензию – механическую смесь несжимаемой жидкости и твердой фазы, частицы которой имеют фракции от тысячных долей миллиметра до нескольких миллиметров и плотность, отличающуюся от плотности жидкости. Установлено, что процессы взвешивания и переноса частиц отрицательной плавучести возможны только при наличии пульсаций скоростей и давления в несущей жидкости. В противном случае будет зашламование гидравлического контура, по которому осуществляется откачка жидкости. Однако изучение переноса твердой фазы имело место, главным образом, применительно к стационарным горизонтальным пото-

кам [1]. Перенос твердой фазы вертикальным прерывистым потоком и ее локализация в гидравлическом контуре скважины практически не рассматривался, поскольку рекомендации к обеспечению реализации гидродинамических функций промывочной жидкости разработаны применительно к стационарному потоку жидкости.

Нерешенной частью проблемы влияния рабочего цикла ППН на возможность реализации важнейших гидродинамических функций промывочной жидкости является отсутствие анализа движения твердой фазы в прерывистом взвесенесущем потоке.

Целью статьи является научное обоснование гарантированной реализации важнейшей гидродинамической функции промывочной жидкости – эффективной очистки забоя скважины от шлама и вынос его восходящим потоком на основе анализа движения твердой фазы в прерывистом взвесенесущем потоке.

Оценим, в какой мере вероятна возможность зашламования забоя скважины при прерывистой промывке скважины с помощью ППН.

Рассмотрим движение частицы шлама с нулевой разностью вертикального перемещения на активной x_1 и пассивной x_2 части рабочего цикла ППН (рис. 1, б). Теоретически такая частица может существовать. Ее эквивалентный диаметр разделяет всю твердую фазу прерывистого взвесенесущего потока по фракциям на оседаящую (оседающую (рис. 1, а)) и выносимую части (рис. 1, в)). Поэтому назовем эквивалентный диаметр этой частицы граничным и обозначим $\delta_{г}$.

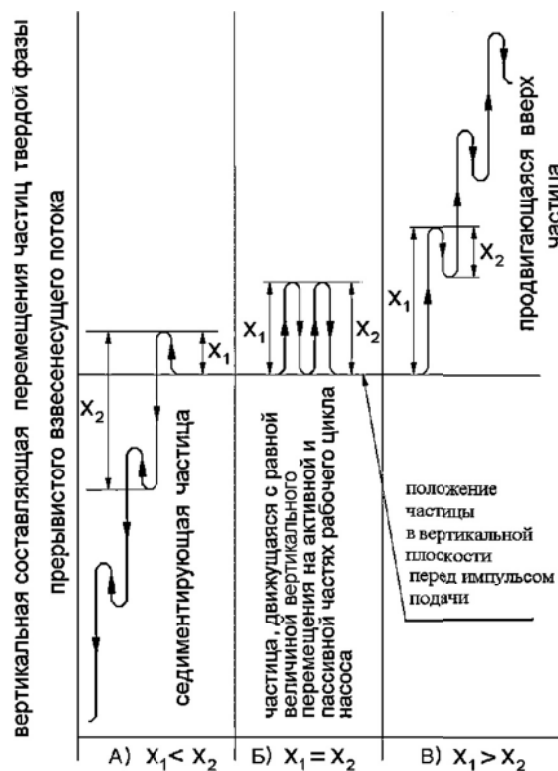


Рис. 1. Перемещение твердой частицы шлама вертикальным незакрученным прерывистым взвесенесущим потоком

Чтобы оказаться над верхним торцом наружной шламовой трубы 2 (рис. 2) (верхний участок гидравлического контура) частица граничного эквивалентного диаметра должна пройти нижний участок, равный суммарной длине колонковой 1 и шламовой 2 труб, т. е. $l_3 + l_{ш}$. Длину породоразрушающего инструмента не учитываем, поскольку она несоизмеримо мала по сравнению с суммарной длиной колонковой и шламовой трубы. Вследствие разных площадей сечений каналов участков гидравлического контура будет разная скорость движения твердой фазы по ним.

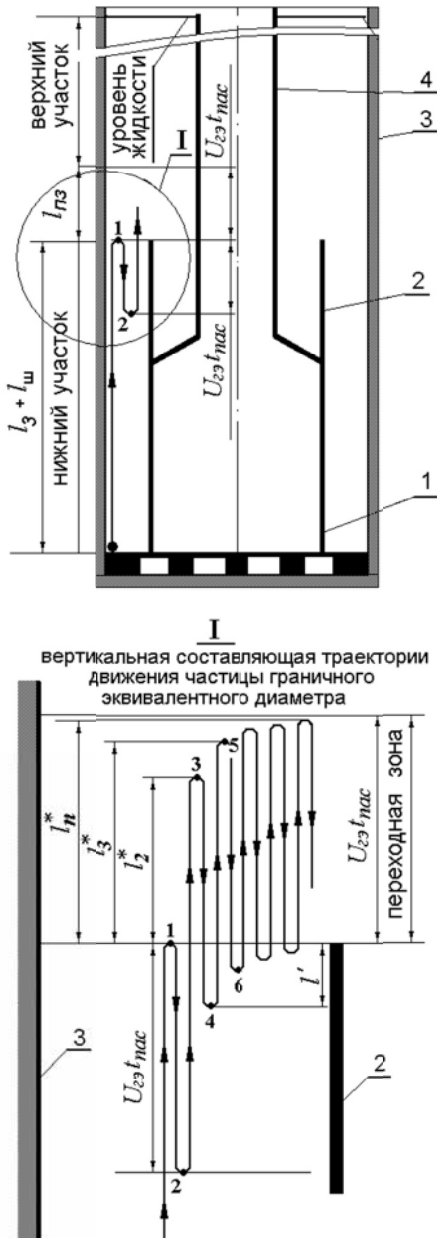


Рис. 2. Вертикальная составляющая перемещения частицы граничного эквивалентного диаметра в восходящем прерывистом потоке: 1 – колонковая труба; 2 – наружная шламовая труба; 3 – скважина; 4 – бурильные трубы

Рассмотрим подробно вертикальную составляющую перемещения образовавшейся на забое частицы граничного эквивалентного диаметра в восходящем прерывистом потоке (показана на рис. 2 сплошной линией со стрелками, указывающими направление ее перемещения в вертикальной плоскости) на момент начала рабочего цикла ППН.

Поскольку подача на активной части ППН не постоянна, то вертикальная составляющая средней скорости перемещения частицы на активной части рабочего цикла ППН C_1^{cp} на нижнем участке определяется формулой

$$C_1^{cp} = V_{a1}^{cp} - U_{эз},$$

где V_{a1}^{cp} – вертикальная составляющая средней скорости восходящего потока на активной части рабочего цикла ППН на нижнем участке; $U_{эз}$ – скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра в спокойной жидкости.

Ограничим вертикальную составляющую перемещения частицы в течение рабочего цикла ППН нижним участком гидравлического контура. Длина этого участка равна $l_k + l_{ш}$ (рис. 2). Это ограничение описывает уравнение

$$l_k + l_{ш} = t_a (V_{a1}^{cp} - U_{эз}). \quad (1)$$

Положению частицы в вертикальной плоскости к концу активной части рабочего цикла ППН соответствует точка 1 на линии, показывающей вертикальную составляющую перемещения частицы (рис. 2).

Вертикальная составляющая ее перемещения на пассивной части рабочего цикла $l_{пас}$ будет равна

$$l_{пас} = t_{пас} U_{эз},$$

где $t_{пас}$ – продолжительность пассивной части рабочего цикла ППН.

На рис. 2 положению частицы в вертикальной плоскости по окончании оседания на пассивной части рабочего цикла соответствует точка 2.

На следующем рабочем цикле вертикальная составляющая перемещения частицы будет включать часть нижнего участка длиной $l_{пас}$ и часть верхнего участка, находящуюся на расстоянии l_2^* над верхним торцом наружной шламовой трубы 2. Поскольку площади сечений каналов нижнего и верхнего участков, по которым должна пройти частица граничного эквивалентного диаметра на следующем рабочем цикле ППН, не равны, то вертикальные составляющие скорости потока и скорости частицы на этих участках будут разными.

Рис. 3 показывает качественную картину изменения вертикальной составляющей текущей скорости частицы на следующем рабочем цикле, в течение которого она с нижнего участка гидравлического контура переходит на верхний.

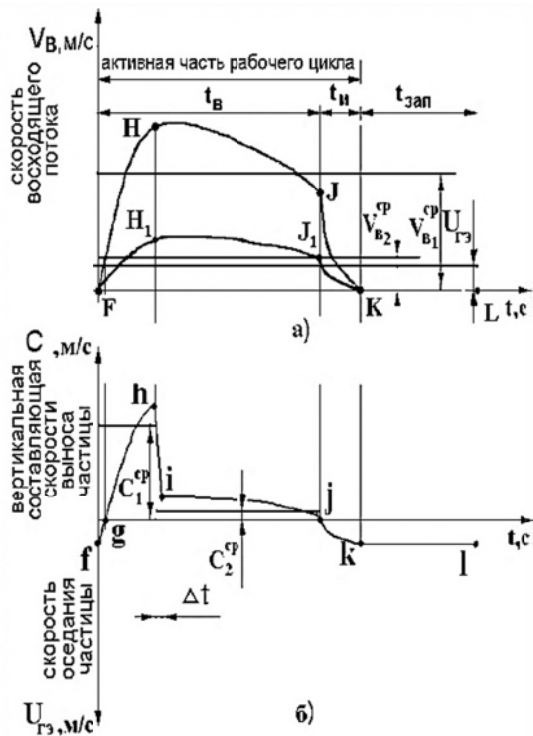


Рис. 3. Качественная картина изменения вертикальной составляющей текущей скорости частицы граничного эквивалентного диаметра при переходе с нижнего участка гидравлического контура на верхний: а) $V_B = f(t)$; б) $C = f(t)$, $U_{Г3} = f(t)$

Кривые FHJ ($V_{B1} = f(t_B)$), JK ($V_{B1} = f(t_H)$), а также и FH_1J_1 ($V_{B2} = f(t_B)$), J_1K ($V_{B2} = f(t_H)$) (рис. 3, а) характеризуют изменение вертикальных составляющих скорости восходящего потока, соответственно, на нижнем и верхнем участках гидравлического контура за период вытеснения t_B и движения жидкости по инерции t_H активной части рабочего цикла ППН. Они расположены с целью компактности рисунка в одних и тех же координатных осях.

Кривая $fg h$ показывает изменение вертикальной составляющей скорости частицы во времени на нижнем участке до момента перехода на верхний участок. Участок fg кривой $fg h$ отражает изменение вертикальной составляющей скорости частицы во времени при оседании до момента, пока не начнется ее вынос в течение активной части рабочего цикла ППН.

При выносе частица пройдет часть нижнего участка длиной l_{nac} от точки 2 до верхнего торца наружной шламовой трубы (рис. 2). Часть gh кривой $fg h$ (рис. 3, б) показывает изменение вертикальной составляющей скорости частицы во времени при ее выносе до момента, пока она не перейдет на верхний участок. Кривая hij характеризует изменение вертикальной составляющей скорости частицы во времени при дальнейшем ее выносе на верхнем участке.

При этом в конце активной части рабочего цикла ППН частица окажется в точке 3 вертикальной составляющей траектории ее движения (рис. 2).

Поскольку частица не может мгновенно изменить скорость при переходе с нижнего участка на верхний, имеющих разные площади сечения, то на кривой hij будет присутствовать участок hi , на котором частица затормаживается при переходе из канала меньшей площади концентричного сечения в канал с большей площадью концентричного сечения. Так как масса частицы и ее инерционные свойства малы, то неопределенность продолжительности этого перехода Δt не может внести существенного искажения в картину ее движения.

Общее время движения частицы на активной части второго после образования частицы рабочего цикла ППН равно

$$t_a = \frac{l_{nac}}{V_{B1}^{cp} - U_{Г3}} + \frac{l_2^*}{V_{B2}^{cp} - U_{Г3}}, \quad (2)$$

где V_{B2}^{cp} – средняя скорость восходящего потока на активной части рабочего цикла ППН в кольцевом канале верхнего участка.

Для частицы граничного эквивалентного диаметра справедливо равенство вертикальной составляющей перемещения на активной и пассивной части рабочего цикла ППН в пространстве над наружной шламовой трубой, которое отражает уравнение

$$t_a(V_{B2}^{cp} - U_{Г3}) = l_{nac}. \quad (3)$$

Откуда

$$t_a = \frac{l_{nac}}{(V_{B2}^{cp} - U_{Г3})}. \quad (4)$$

После приравнивания правых частей (2) и (4), умножения их на $(V_{B2}^{cp} - U_{Г3})$, и решения полученного уравнения относительно l_2^* , получим вертикальную составляющую перемещения частицы над верхним торцом наружной шламовой трубы на втором, после образования частицы, рабочем цикле ППН

$$l_2^* = l_{nac} \left(1 - \frac{V_{B2}^{cp} - U_{Г3}}{V_{B1}^{cp} - U_{Г3}} \right).$$

Перемещение частицы в вертикальной плоскости на пассивной части второго рабочего цикла определяет расстояние между точками 3 и 4 (рис. 2).

Если после этого частица граничного эквивалентного диаметра окажется в пространстве над верхним торцом наружной шламовой трубы 2 (рис. 2), то, погружившись на пассивной части рабочего цикла ниже верхнего торца шламовой трубы, она попадает в ее полость.

В противном случае на следующем рабочем цикле ППН вертикальная составляющая перемещения частицы будет включать часть нижнего участка длиной

$$l' = l_{nac} - l_2^* = l_{nac} \left(\frac{V_{62}^{cp} - U_{z3}}{V_{61}^{cp} - U_{z3}} \right)$$

и часть верхнего участка, расположенного на расстоянии l_3^* над верхним торцом наружной шламовой трубы.

Общее время движения частицы на данном рабочем цикле будет равно

$$t_a = \frac{l'}{V_{61}^{cp} - U_{z3}} + \frac{l_3^*}{V_{62}^{cp} - U_{z3}} = l_{nac} \left(\frac{V_{62}^{cp} - U_{z3}}{(V_{61}^{cp} - U_{z3})^2} + \frac{l_3^*}{V_{62}^{cp} - U_{z3}} \right) \quad (5)$$

После приравнивания правых частей (4) и (5), умножения их на $(V_{62}^{cp} - U)$ и решения полученного уравнения относительно l_3^* , получим вертикальную составляющую перемещения частицы над верхним торцом наружной шламовой трубы на активной части третьего, после образования твердой частицы на забое, рабочего цикла ППН

$$l_3^* = l_{nac} \left[1 - \frac{(V_{62}^{cp} - U_{z3})^2}{(V_{61}^{cp} - U_{z3})^2} \right]$$

Положение частицы на траектории ее движения в вертикальной плоскости по окончании активной части третьего рабочего цикла ППН и по завершении его пассивной части определяют точки, соответственно, 5 и 6 (рис. 2).

Таким образом, продвижение частицы граничного эквивалентного диаметра вверх относительно верхнего торца наружной шламовой трубы l_n^* , по окончании n -ого рабочего цикла с момента своего образования на забое, определяется аналитическим выражением

$$l_n^* = l_{nac} \left[1 - \frac{(V_{62}^{cp} - U_{z3})^{n-1}}{(V_{61}^{cp} - U_{z3})^{n-1}} \right] \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что продвижение частицы граничного эквивалентного диаметра в вертикальной плоскости относительно верхнего торца наружной шламовой трубы будет бесконечно приближаться к вертикальной составляющей пути, проходимою ею при оседании на пассивной части рабочего цикла, т. е. никогда не может превысить длину переходной зоны.

Поскольку эквивалентный диаметр такой частицы δ_{z3} разделяет всю твердую фазу прерывистого взвесенесущего потока по фракциям на оседающую (оседающую) и выносимую части, то все фракции, не превышающие δ_{z3} , будут гарантированно выноситься

из забоя за пределы верхнего торца наружной шламовой трубы.

Пространство над верхним торцом наружной шламовой трубы (рис. 2), в пределах которого перемещается частица граничного эквивалентного диаметра, назовем переходной зоной. Длину ее, обозначенную l_{nz} , будем рассчитывать по формуле

$$l_{nz} = U_{z3} t_{nac} \quad (7)$$

Из формулы (7) следует, что для расчета l_{nz} нужно знать продолжительность пассивной части рабочего цикла ППН t_{nac} и скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра в спокойной жидкости U_{z3} . Методика расчета t_{nac} разработана [2].

Выведем формулу для расчета U_{z3} . Для этого решим уравнение (1) относительно V_{61}^{cp} . Получим аналитическое выражение вертикальной составляющей средней скорости восходящего потока V_{61}^{cp} (8) на нижнем участке, обеспечивающей перемещение частицы граничного эквивалентного диаметра в вертикальной плоскости на активной части рабочего цикла ППН

$$V_{61}^{cp} = U_{z3} + \frac{l_w + l_k}{t_a} \quad (8)$$

С учетом (8) и условия неразрывности потока на нижнем и верхнем участках гидравлического контура, мы можем записать аналитическое выражение вертикальной составляющей средней скорости восходящего потока V_{62}^{cp} , перемещающего частицу граничного эквивалентного диаметра в пространстве над верхним торцом наружной шламовой трубы

$$V_{62}^{cp} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{1}{t_a} [(l_w + l_k) + t_a U_{z3}] \quad (9)$$

где S_1 – площадь кольцевого сечения в пространстве между стенками скважины, колонковой и шламовой трубой (переходная зона и нижний участок); S_2 – площадь кольцевого сечения в пространстве между стенками скважины и бурильными трубами (верхний участок).

Решив уравнение (3) относительно V_{62}^{cp} и принимая во внимание, что $t_y = t_a + t_n$, получим еще одно аналитическое выражение вертикальной составляющей средней скорости восходящего потока, перемещающего частицу граничного эквивалентного диаметра в пространстве над верхним торцом наружной шламовой трубы

$$V_{62}^{cp} = U_{z3} \frac{t_y}{t_a} \quad (10)$$

Приравняем правые части (9) и (10), решим полученное уравнение относительно U_{z3} . Получим скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра, перемещение которой на активной части

рабочего цикла ППН ограничено суммарной длиной колонковой и шламовой труб $l_u + l_k$

$$U_{\infty} = \frac{S_1(l_u + l_k)}{S_2 t_y - S_1 t_a} \quad (11)$$

Твердая частица оседает в ньютоновской жидкости со скоростью U , определяемой по формуле Риттингера (12). Заменяв в этой формуле d_u на δ_{∞} получим скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра U_{∞} в ньютоновской жидкости (13).

$$U_{\infty} = \sqrt{\frac{4g}{3c} \delta_{\infty} \frac{(\rho_u - \rho)}{\rho}}, \quad (12)$$

где ρ_u, ρ – плотности частицы и жидкости; d_u – эквивалентный диаметр частицы сферической формы; g – ускорение свободного падения; c – коэффициент сопротивления при обтекании частицы.

$$U_{\infty} = \sqrt{\frac{4g}{3c} \delta_{\infty} \frac{(\rho_u - \rho)}{\rho}} \quad (13)$$

При наличии в скважине бингамовской жидкости оседать могут только те фракции твердой фазы, которые имеют эквивалентный диаметр, превышающий d_0 , рассчитываемый по следующей формуле [3]

$$d_0 = \frac{6m\tau_0}{\rho_u - \rho} \quad (14)$$

где m – коэффициент формы, зависящий от d_0 ; τ_0 – динамическое напряжение сдвига бингамовской жидкости.

Твердая частица оседает в бингамовской жидкости со скоростью U (15). Подставив в формулу (15) вместо d_u параметр δ_{∞} , получим скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра в бингамовской жидкости (16).

$$U = 0,66 d_u \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{d_u}{d_0}} - 1 \right)^2, \quad (15)$$

где η – структурная вязкость бингамовской жидкости.

$$U_{\infty} = 0,66 \delta_{\infty} \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{\delta_{\infty}}{d_0}} - 1 \right)^2 \quad (16)$$

Для того, чтобы вывести формулу для расчета граничного эквивалентного диаметра твердой частицы применительно к ньютоновской жидкости, приравняем правую часть выражения (11) к правой части формулы (15).

Решив полученное уравнение относительно δ_{∞} , получим аналитическое выражение граничного эквивалентного диаметра твердой частицы плотностью

ρ_u , которая за два рабочих цикла ППН проходит нижний участок гидравлического контура сечением S_1 и длиной $l_3 + l_k$, переходит на верхний участок сечением S_2 и далее реверсивно движется в пределах переходной зоны с равными вертикальными составляющими ее перемещения в прерывистом восходящем потоке вязкой ньютоновской жидкости плотностью ρ , создаваемом ППН с конкретными параметрами рабочего цикла t_y и t_a .

$$\delta_{\infty} = \frac{3c_0 \rho}{4g} \frac{\left[\frac{S_1(l_3 + l_k)}{S_2 t_y - S_1 t_a} \right]^2}{(\rho_u - \rho)} \quad (17)$$

Чтобы получить формулу граничного эквивалентного диаметра твердой частицы, находящейся в прерывистом восходящем потоке бингамовской жидкости, приравняем правую часть выражения (11) к правой части формулы (16). Получим

$$\frac{S_1(l_3 + l_k)}{S_2 t_y - S_1 t_a} = 0,66 \delta_{\infty} \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{\delta_{\infty}}{d_0}} - 1 \right)^2 \quad (18)$$

По формуле (18) расчет δ_{∞} выполняется численным методом. Для этого с помощью ЭВМ осуществляется полный перебор значений δ_{∞} с целью поиска такой величины δ_{∞} , при которой обеспечивается равенство (18), применительно к конкретным значениям входящих в него параметров.

Выводы.

1. Установлены критерии, позволяющие разделить твердую фазу, находящуюся в прерывистом взвешенном потоке, на седиментирующую и выносимую части как по фракциям, так и по длине потока.

2. Критерием, разделяющим фракции твердой фазы на седиментирующую и выносимую части, является величина эквивалентного диаметра частицы, движущейся с равной величиной вертикальной составляющей перемещения в активной и пассивной частях рабочего цикла (рис. 1, б). Такой эквивалентный диаметр назван граничным и обозначен δ_{∞} .

3. Получена формула (11) для расчета скорости оседания U_{∞} частицы граничного эквивалентного диаметра в спокойной жидкости.

4. Выведены формулы для расчета δ_{∞} при наличии в скважине ньютоновской (17), а также бингамовской (18) жидкости.

5. Установлено, что продвижение частицы граничного эквивалентного диаметра в вертикальной плоскости относительно верхнего торца наружной шламовой трубы будет бесконечно приближаться к вертикальной составляющей пути, проходимою ею при оседании на пассивной части рабочего цикла, т. е. никогда не может превысить длину переходной зоны.

6. Частицы граничного эквивалентного диаметра будут локализоваться на протяжении переходной зо-

ны, расположенной над верхним торцом наружной шламовой трубы.

7. Остальные фракции (превышающие $\delta_{сз}$) составляют незначительную часть гранулометрического состава шлама, образующегося при твердосплавном или алмазном бурении. В случае образования в конце активной части рабочего цикла ППН, они будут вынесены на последующих активных частях рабочего цикла ППН за пределы верхнего торца наружной шламовой трубы и, оказавшись над ее полостью в пассивной части рабочего цикла, попадут в шламовую трубу. Таким образом, зашламования забоя скважины при прерывистой промывке скважины с помощью ППН не будет.

Список литературы / References

1. Криль С.И. Критические режимы гидравлического трубопроводного транспорта твердых материалов / С.И. Криль // Гидромеханика. – 1992. – Вып. 45. – С. 88–94.

Kril, S.I. (1992), "Critical behavior of hydraulic pipeline transportation of hard materials", *Gidromekhanika*, Issue 45, pp. 88–94.

2. Филимоненко Н.Т. Методическое пособие по расчету параметров рабочего цикла пульсационного насоса и технологии бурения с его применением / Филимоненко Н.Т. – Донецк: Изд-во „Вебер“ (Донецкое отделение), 2009. – 70 с.

Filimonenko, N.T. (2009), *Metodicheskoye posobiye po raschetu parametrov rabocheho tsykla pulsatsionnogo nasosa i tekhnologii bureniya s ego primeneniym* [Operating Instructions on Calculation of Pulsating Pump Operational Cycle Parameters and Drilling Technology with Its Application], Veber, Donetsk, Ukraine

Мета. Обґрунтування реалізації найважливішої гідродинамічної функції промивальної рідини – очищення забоя свердловини від шламу та винесення його висхідним потоком під час переривчастого внутрішньосвердловинного промивання за допомогою заглибного пневматичного насоса (ЗПН) витискування. Така можливість науково обґрунтована стосовно стаціонарного потоку рідини. Вплив переривчастого потоку на процеси переміщення твердої фази та її локалізацію в гідравлічному контурі свердловини на даний момент часу вивчено недостатньо.

Методика. Базується на фундаментальних положеннях теорії перенесення твердої фази вертикальним потоком рідини. При цьому передбачено виявлення зв'язку процесів переміщення шламу висхідним переривчастим потоком рідини з параметрами робочого циклу ЗПН.

Результати. Встановлено критерії, які дозволяють розділити тверду фазу, що знаходиться в переривчастому потоці, на частини, що седиментують і виносяться як за фракціями, так і за довжиною потоку. Доведено, що весь шлам, що утворився в кінці активної частини робочого циклу ЗПН, буде винесений за

межі забоя свердловини на наступних активних частинах робочого циклу ЗПН. Таким чином, не буде зашламовування вибою свердловини під час її промивання за допомоги ЗПН.

Наукова новизна. Уперше теоретично встановлено функціональний зв'язок розміру фракцій твердої фази, що знаходиться в переривчастому зависенесучому потоці, з параметрами зависенесучого потоку та робочого циклу ППН.

Практична значимість. Полягає в тому, що відкриваються можливості розробки й застосування прогресивної технології імпульсного промивання свердловин за допомогою ЗПН, що знижує вартість бурових робіт в умовах поглинання промивальної рідини.

Ключові слова: свердловина, промивка, рідина, шлам, пневматичний насос

Purpose. To substantiate the implementation of the most important function of drilling fluid, bottomhole cleaning and sludge removal by rising current during intermittent irrigating of drill hole by means of submersible vacuum displacement pumpset. We already have scientific substantiation of this possibility only for stationary flow. The influence of the intermittent flow on the process of solids content carrying and its localization in the well hydraulic circuit is poorly studied.

Methodology. The research is based on the fundamental principles of the theory of solids content transportation by vertical flow of fluid. The study provides for determination of correlation between the process of sludge removal by rising intermittent current and operating parameters of the submersible vacuum pumpset.

Findings. We have formulated the criteria for rising intermittent current solids content division on two parts, sedimentating and carried up, by fractions and by stream length. We have proved that the sludge formed at the end of the active stage of the first operation cycle of the submersible vacuum pumpset will be carried up during subsequent active stages. Thus, the sludging-up of well does not appear during its irrigation with implementation of submersible vacuum pumpset.

Originality. For the first time we have determined the functional connection of the intermittent flow solid content fractions fineness and parameters of the carrying flow and submersible vacuum pumpset operation cycle.

Practical value. The possibility of application of the promising technology of pulse well irrigation by means of submersible vacuum pumpset appears. It can reduce costs of the drilling operations followed by the fluid loss.

Keywords: well, irrigation of a drill hole, fluid, sludge, vacuum pumpset

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.П.Франчуком. Дата надходження рукопису 16.01.13.