

УДК 622.244.4

## Переходная зона в потоке шлама, движущегося в призабойной зоне скважины, при пульсирующей промывке

Филимоненко Н. Т.

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

### Аннотация

В статье описана переходная зона, как критерий, позволяющие разделить всю твердую фазу пульсирующего взвесенесущего потока на седиментирующую и выносимую части в призабойной зоне скважины. Показан характер перемещения частиц шлама в пределах переходной зоны. Статья может быть интересна для специалистов, занимающихся изучением движения гетерогенных взвесенесущих потоков.

В настоящее время появились исследования возможности применения пульсирующей промывки для улучшения внутрискважинной очистки естественного бурового раствора от шлама. Установлен критерий (граничный эквивалентный диаметр частицы), разделяющий по размеру шлам, находящийся в призабойной зоне скважины, на седиментирующую и выносимую части. Найдена его функциональная связь с параметрами рабочего цикла пульсационного насоса, предназначенного для создания внутрискважинной пульсирующей промывки, и взвесенесущего потока в сечениях гидравлического контура скважины [1, 2].

Для частицы граничного эквивалентного диаметра, помещенной на момент начала пульсации в любую точку верхнего участка гидравлического контура скважины (рис. 1) характерна равная величина вертикальной составляющей перемещения  $x_1$  на активной и  $x_2$  на пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса. Однако, чтобы оказаться на верхнем участке она должна пройти нижний, равный суммарной длине колонковой 1 и шламовой 2 труб, т. е.  $l_k + l_{ш}$  (длину породоразрушающего инструмента не учитываем, поскольку она несоизмеримо мала по сравнению с суммарной длиной колонковой и шламовой труб). При этом разные площади сечений каналов участков будут определять и разные скорости перемещения частицы по этим участкам.

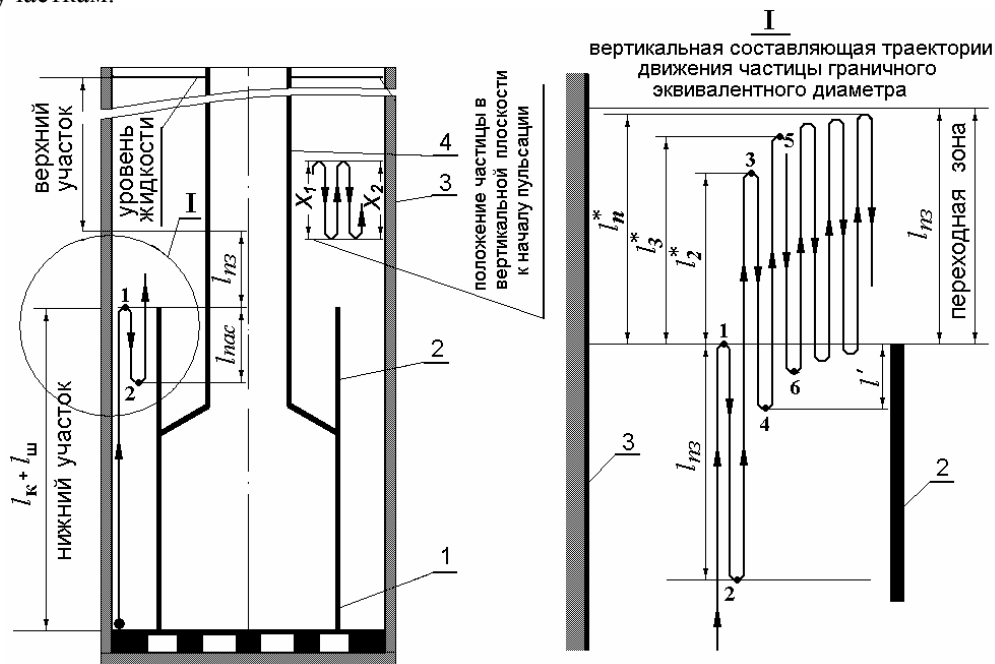


Рис. 1. Вертикальная составляющая перемещения частицы граничного эквивалентного диаметра в восходящем пульсирующем потоке

1 – колонковая труба; 2 – наружная шламовая труба; 3 – скважина; 4 – бурильные трубы.

Рассмотрим подробно вертикальную составляющую перемещения частицы граничного эквивалентного диаметра в восходящем пульсирующем потоке (показана на рис. 1 сплошной линией со стрелками, указывающими направление ее перемещения в вертикальной плоскости).

Вертикальная составляющая средней скорости перемещения частицы на активной части рабочего цикла пульсационного насоса  $C_1^{cp}$  на нижнем участке определяется формулой:

$$C_1^{cp} = V_{\partial l}^{cp} - U_{\partial \partial}, \quad (1)$$

где  $V_{\partial l}^{cp}$  – вертикальная составляющая средней скорости восходящего потока в на нижнем участке;  $U_{\partial \partial}$  – скорость оседания частицы граничного эквивалентного диаметра в спокойной жидкости, которая рассчитывается по формуле (2) [2].

$$U_{\partial \partial} = \frac{S_1(l_{\text{ш}} + l_{\text{к}})}{S_2 t_{\text{ц}} - S_1 t_{\text{а}}}, \quad (2)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площади сечения верхнего и нижнего участка;  $t_{\text{а}}$  и  $t_{\text{ц}}$  – продолжительность активной части рабочего цикла и цикла в целом пульсационного насоса.

Формула (2) показывает функциональную связь  $U_{\partial \partial}$  с параметрами гидравлического контура скважины ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $l_{\text{ш}}$ ,  $l_{\text{к}}$ ) и параметрами рабочего цикла пульсационного насоса ( $t_{\text{ц}}$ ,  $t_{\text{а}}$ ). Методика прогнозирования параметров рабочего цикла применительно к конкретным условиям промывки приведена в [3].

Ограничим вертикальную составляющую перемещения частицы граничного эквивалентного диаметра на первой пульсации нижним участком. Это ограничение описывает уравнение (3).

$$l_{\text{к}} + l_{\text{ш}} = t_{\text{а}}(V_{\partial l}^{cp} - U_{\partial \partial}). \quad (3)$$

Положению частицы в вертикальной плоскости к концу пульсации соответствует точка 1 (рис. 1). Вертикальная составляющая ее перемещения на пассивной части рабочего цикла  $l_{\text{пак}}$  будет равна:

$$l_{\text{пак}} = t_{\text{пак}} U_{\partial \partial}, \quad (4)$$

где  $t_{\text{пак}}$  – продолжительность пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса.

Положению частицы в вертикальной плоскости по окончании оседания на пассивной части рабочего цикла после первой пульсации соответствует точка 2.

На второй пульсации вертикальная составляющая перемещения частицы будет включать часть нижнего участка длиной  $l_{\text{пак}}$  и часть верхнего участка, находящуюся на расстоянии  $l_2^*$  над верхним торцом наружной шламовой трубы (рис. 1). Поскольку площади сечений каналов нижнего и верхнего участков, по которым должна пройти частица граничного эквивалентного диаметра на второй пульсации не равны, то и вертикальные составляющие скорости потока и выносимой им частицы на этих участках будут разными.

Рис. 2 показывает качественную картину изменения вертикальной составляющей текущей скорости частицы на второй пульсации.

Кривые FНJ ( $V_{\partial l} = f(t_{\partial})$ ), JK ( $V_{\partial l} = f(t_{\text{ш}})$ ), а также и FНJ<sub>1</sub> ( $V_{\partial 2} = f(t_{\partial})$ ), J<sub>1</sub>K ( $V_{\partial 2} = f(t_{\text{ш}})$ ) (рис. 2 а), характеризующие изменение скорости восходящего потока соответственно на нижнем и верхнем участке за период вытеснения  $t_{\partial}$  и движения жидкости по инерции  $t_{\text{ш}}$  рабочего цикла (активная часть рабочего цикла), которые показаны с целью компактности рисунка в одних и тех же координатных осях.

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

При выносе частица пройдет часть нижнего участка длиной  $l_{\text{пак}}$  от точки 2 до верхнего торца наружной шламовой трубы (рис. 1). Часть **gh** кривой **fgh** (рис. 2 б) показывает изменение вертикальной составляющей скорости частицы во времени при ее выносе до момента, пока она не перейдет на верхний участок. Кривая **hij** (рис. 2 б) характеризует изменение вертикальной

составляющей скорости частицы во времени при дальнейшем ее выносе на верхнем участке. При этом в конце активной части рабочего цикла частица окажется в точке 3 (рис. 1).

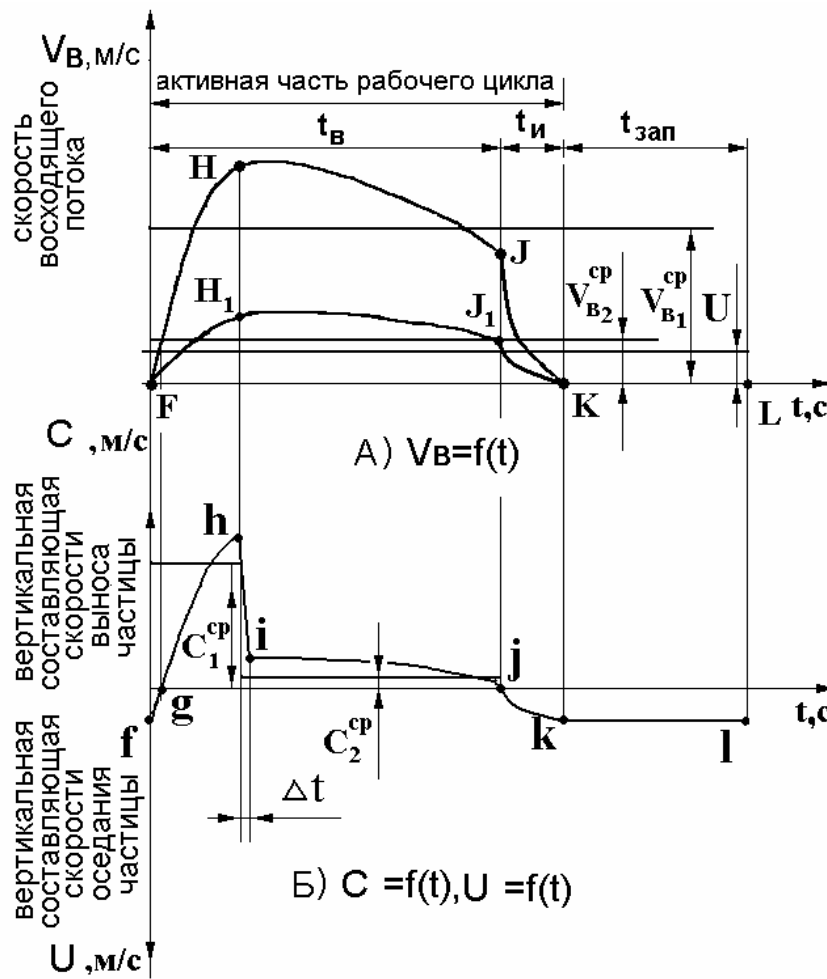


Рис. 2. Качественная картина изменения вертикальной составляющей текущей скорости частицы граничного эквивалентного диаметра на второй пульсации

Поскольку частица не может мгновенно изменить скорость при переходе с нижнего участка на верхний, то на кривой **hij** будет присутствовать участок **hi**, на котором частица затормаживается при переходе с канала меньшего концентричного сечения в большее. Так как масса частицы и ее инерционные свойства малы, то неопределенность в определении продолжительности перехода  $\Delta t$  с канала меньшего поперечного сечения в канал большего сечения не может внести существенного искажения в картину ее движения.

Общее время движения частицы на второй пульсации (соответствует активной части рабочего цикла  $t_a$ ) равно:

$$t_a = \frac{l_{nac}}{V_{61}^{cp} - U_{23}} + \frac{l_2^*}{V_{62}^{cp} - U_{23}}, \quad (5)$$

где  $V_{62}^{cp}$  – средняя скорость восходящего потока в концентричном канале верхнего участка.

Для частицы граничного эквивалентного диаметра справедливо равенство вертикальной составляющей перемещения на активной и пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса в пространстве над наружной шламовой трубой (рис. 2 б), которое отражает уравнение (6).

$$t_a(V_{62}^{cp} - U_{23}) = l_{nac}, \quad (6)$$

Откуда  $t_a$  будет иметь вид:

$$t_a = \frac{l_{nac}}{(V_{62}^{cp} - U_{23})}. \quad (7)$$

После приравнивания правых частей (5) и (7), умножения их на  $(V_{62}^{cp} - U_{23})$  и решения полученного уравнения относительно  $l_2^*$  получим вертикальную составляющую перемещения частицы над верхним торцом наружной шламовой трубы на второй пульсации:

$$l_2^* = l_{nac} \left( 1 - \frac{V_{62}^{cp} - U_{23}}{V_{61}^{cp} - U_{23}} \right). \quad (8)$$

Положение частицы в вертикальной плоскости по окончании второй пульсации и по завершении пассивной части рабочего цикла после второй пульсации определяют точки соответственно 3 и 4 (рис. 1).

Если после второй пульсации частица граничного эквивалентного диаметра окажется в пространстве над верхним торцом наружной шламовой трубы, то, погрузившись на пассивной части рабочего цикла ниже верхнего торца, она изолируется от контакта с восходящим потоком на следующей пульсации, удаляясь тем самым из него.

В противном случае на третьей пульсации вертикальная составляющая перемещения частицы будет включать часть нижнего участка длиной  $l' = l_{nac} - l_2^* = l_{nac} \left( \frac{V_{62}^{cp} - U_{23}}{V_{61}^{cp} - U_{23}} \right)$  и часть верхнего участка, расположенного на расстоянии  $l_3^*$  над верхним торцом наружной шламовой трубы.

Общее время движения частицы на третьей пульсации будет равно:

$$t_a = \frac{l'}{V_{61}^{cp} - U_{23}} + \frac{l_3^*}{V_{62}^{cp} - U_{23}} = l_{nac} \frac{V_{62}^{cp} - U_{23}}{(V_{61}^{cp} - U_{23})^2} + \frac{l_3^*}{V_{62}^{cp} - U_{23}}. \quad (9)$$

После приравнивания правых частей (9) и (7), 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 третьей пульсации:

$$l_3^* = l_{nac} \left[ 1 - \frac{(V_{62}^{cp} - U_{23})^2}{(V_{61}^{cp} - U_{23})^2} \right]. \quad (10)$$

Положение частицы на траектории ее движения в вертикальной плоскости по окончании третьей пульсации и по завершении пассивной части рабочего цикла после третьей пульсации определяют точки соответственно 5 и 6 (рис. 1).

Таким образом, продвижение частицы граничного эквивалентного диаметра вверх относительно верхнего торца наружной шламовой трубы в вертикальной плоскости по окончании  $n$ -ой пульсации  $l_n^*$  в случае, если к моменту начала рабочего цикла она находилась на забое, определяется аналитическим выражением:

$$l_n^* = l_{nac} \left[ 1 - \frac{(V_{62}^{cp} - U_{23})^{n-1}}{(V_{61}^{cp} - U_{23})^{n-1}} \right]. \quad (11)$$

Частицы граничного эквивалентного диаметра, образовавшиеся на забое после начала рабочего цикла, будут выноситься за пределы нижнего участка после третьей пульсации.

Участок гидравлического контура скважины, на котором перемещается частица граничного эквивалентного диаметра после выхода ее за пределы верхнего торца наружной шламовой трубы, будем называть переходной зоной. Длину переходной зоны обозначим  $l_{nz}$  и в дальнейшем будем рассчитывать по формуле (12).

$$l_{nz} = U_{23} t_{nac} \quad (12)$$

Из формулы (11) видно, что продвижение частицы граничного эквивалентного диаметра вверх относительно верхнего торца наружной шламовой трубы в вертикальной плоскости с возрастанием числа пульсаций будет бесконечно приближаться к вертикальной составляющей пути, проходимого ей при оседании на пассивной части рабочего цикла, равной  $l_{nac}$ , т. е. никогда не может превысить длину переходной зоны  $l_{nz}$ , т. е.  $l_n^* < l_{nz}$ .

Таким образом, протяженность переходной зоны представляет собой критерий, разделяющий пространство взвесенесущего пульсирующего потока, циркулирующего в призабойной зоне скважины, на два участка: участок седиментации и участок выноса твердой фазы.

Возможность прогнозировать длину переходной зоны позволяет располагать всасывающий клапан пульсационного насоса на таком расстоянии от верхнего торца наружной шламовой трубы, при котором шлам, не имеющий возможности выйти за пределы переходной зоны (частицы равные граничному эквивалентному диаметру или превышающие по размеру их) на этапе заполнения рабочего цикла пульсационного насоса не попал в вытеснительную камеру, а далее в нисходящий поток.

### Библиографический список

1. Филимоненко Н. Т. Закономерности распределения фракций шлама в пульсирующем восходящем потоке. // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. Вип. 105. Донецк, ДонНТУ, 2006 С. 123–137.
2. Филимоненко Н. Т., Каракозов А. А. Движение шлама в пульсирующем взвесенесущем потоке, циркулирующем в призабойной зоне скважины // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: гірничо-геологічна. Вип. 6(125). Донецк, ДонНТУ, 2007. С. 125–130.
3. Филимоненко Н. Т., Комарь П. Л. К вопросу прогнозирования интенсивности призабойной пульсирующей промывки применительно к неньютоновской жидкости. // Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые. – 1993. – Вып 16, с. 40–49.

© Филимоненко Н. Т., 2008.