

Выводы

1. Построение границ марочного состава углей с достаточной степенью надежности можно производить методом тренд-анализа, в котором закономерности (тренды) изменения классификационных показателей марки угля выявляются путем сглаживания или аппроксимации данных опробования.
2. Увеличение степени полинома аппроксимирующей математической поверхности показателей марки угля не повышает надежность аппроксимации.
3. При построение границ марочного состава углей методом тренд-анализа целесообразно использовать описывающие полиномы II и III степеней.

Литература

1. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: Пер. с англ. В 2 кн. – М.: Недра, 1990. – Кн.2. – 427 с.: ил.
2. Забигайло В.Е., Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Сахневич Н.В. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса. – Киев: Наукова думка, 1994. – 152 с.
3. Поротов Г.С. Математические методы моделирования в геологии: Учебник. – СПб, 2006. – 223 с.
4. Поротов Г.С. Основы статистической обработки материалов разведки месторождений. – Л.: ЛПИ, 1985. – 97 с.

© Филатова И. В., Нестеренко Б. И., 2007

УДК: 622.243.14

Канд. техн. наук ФИЛИМОНЕНКО Н. Т., канд. техн. наук КАРАКОЗОВ А. А. (ДонНТУ)

ДВИЖЕНИЕ ШЛАМА В ПУЛЬСИРУЮЩЕМ ВЗВЕСЕНЕСУЩЕМ ПОТОКЕ, ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ СКВАЖИНЫ

Поглощения промывочной жидкости входит в группу самых распространенных осложнений при бурении скважин. Работы по их ликвидации – длительны, трудоемки и дорогостоящи. Вынужденное прерывание процесса бурения, необходимое для изоляции проницаемой зоны, приводит к снижению производительности буровых работ и в случае отсутствия положительного результата – к дополнительным затратам на производство и доставку промывочной жидкости.

Практика показывает, что при бурении в зонах поглощения в большинстве скважин устанавливается уровень жидкости, который можно использовать для внутрискважинной промывки погружными насосами. В условиях дефицита или отсутствия воды – это единственная возможность продолжать бурение. Однако при внутрискважинной промывке очистка жидкости в процессе бурения возможна только от осаждающейся (седиментирующей) части твердой фазы взвесенесущего потока путем ее постоянного сбора в шламовую трубу и удаления из скважины после окончания рейса. Остальная ее часть, непрерывно циркулируя с постоянно возрастающей концентрацией, загрязняет и утяжеляет буровой раствор. Это приводит к ухудшению работы и повышенному износу породоразрушающего инструмента, способствует повышению энергоемкости процесса разрушения горной породы, увеличивает вероятность прихвата бурового снаряда, провоцирует дальнейшее поглощение жидкости вследствие увеличения ее гидростатического давления, снижает надежность работы погружного насоса в загрязненной среде. Поэтому применительно к внутрискважинной промывке актуальной является проблема удержания концентрации твердой фазы в жидкости в течение рейса бурения на минимальном уровне.

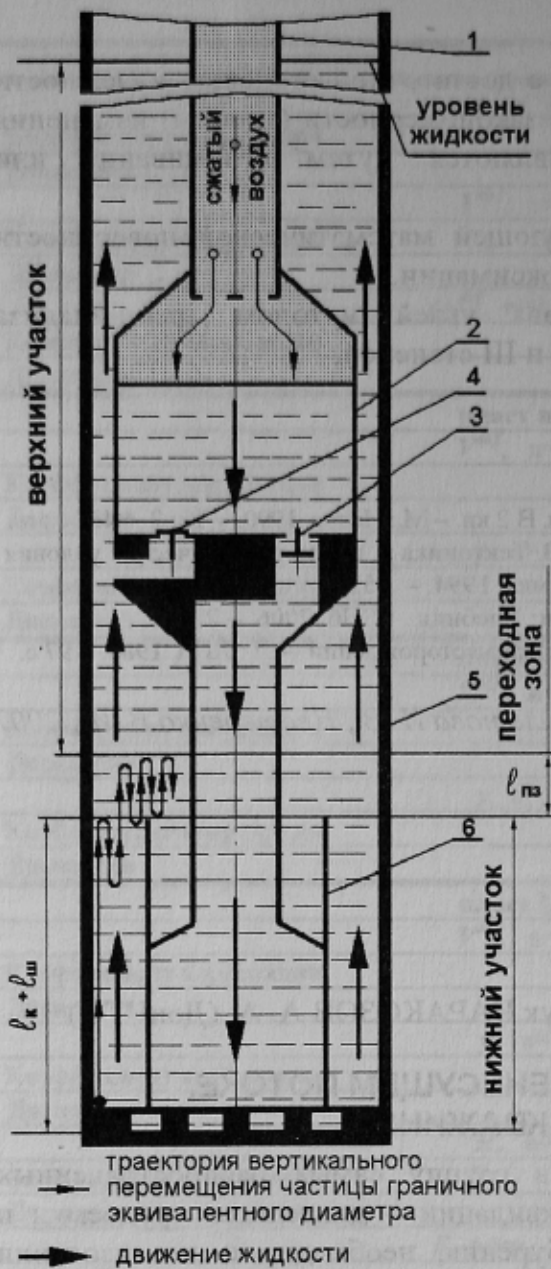


Рис. 1 Схема пульсирующего способа промывки

- 1 – бурильные трубы, 2 – вытеснительная камера пульсационного насоса,
- 3 – нагнетательный клапан,
- 4 – всасывающий клапан, 5 – скважина,
- 6 – шламовая труба.

шлама в наружную шламовую трубу, поскольку при заполнении камеры 2 через всасывающий клапан 4 под действием гидростатического давления столба жидкости (пассивная часть рабочего цикла) призабойная циркуляция отсутствует и шлам в это время имеет возможность оседать.

Наличие в рабочем цикле пульсационного насоса активной и пассивной частей определяет реверсивный характер движения частиц твердой фазы взвесенесущего потока. На рис. 2 показаны возможные соотношения вертикальной составляющей движения частиц на активной x_1 и пассивной x_2 частях рабочего цикла в кольцевом зазоре между стенками скважины и бурильными трубами. Знак соотношения будет определять направление перемещения частицы в восходящем потоке. Так при условии ($x_1 < x_2$)

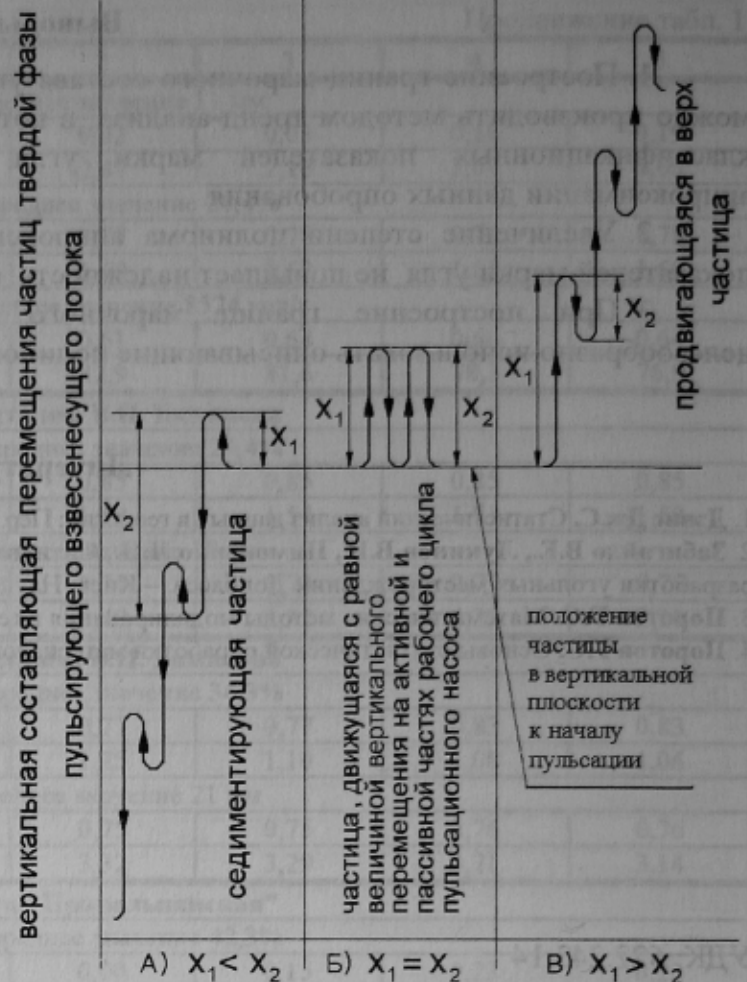


Рис. 2. Возможные соотношения вертикальной составляющей движения частиц на активной и пассивной частях рабочего цикла пульсационного насоса

Анализ и обобщение зарубежного и отечественного опыта бурения показал, что при наличии водопоглощений возможно применение внутрискважинной пульсирующей промывки жидкостью, периодически вытесняемой сжатым воздухом [1], подающимся по колонне бурильных труб 1 (рис. 1), из погружной вытеснительной камеры 2 пульсационного насоса через нагнетательный клапан 3 на забой скважины 5 (активная часть рабочего цикла пульсационного насоса). Такой способ промывки более предпочтителен для плане активизации сбора

(рис. 2 а) частица седиментирует, при равенстве x_1 и x_2 (рис. 2 б) — вернется в горизонтальную плоскость, в которой она находилась в начале цикла; в случае если ($x_1 > x_2$) (рис. 2 в) — частица продвинется вверх.

Представляет интерес движение частицы с равной величиной вертикального перемещения на активной и пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса (рис. 2 б). Величина эквивалентного диаметра такой частицы будет представлять критерий, разделяющий фракции твердой фазы пульсирующего взвесенесущего потока на седиментирующую и выносимую части. Диаметр такой частицы назовем граничным эквивалентным диаметром. Поскольку вертикальная составляющая перемещения этой частицы x_2 на пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса определяется скоростью U ее оседания, то, зная функциональную связь U с параметрами гидравлического контура скважины и рабочего цикла пульсационного насоса, можно обеспечить такую величину ее вертикального перемещения в течение рабочего цикла, при которой она после выхода за пределы верхнего торца наружной шламовой трубы будет двигаться так, как показано на рис. 1.

В ходе исследования движения твердой фазы в вертикальном пульсирующем взвесенесущем потоке была установлена функциональная связь скорости оседания от конструктивных и технологических факторов, которая отражается зависимостью (1):

$$U = \frac{S_1(l_{ш} + l_k)}{S_2t_{ц} - S_1t_a}, \quad (1)$$

где S_1 и S_2 — площади сечения нижнего и верхнего (до вытеснительной камеры пульсационного насоса) участков восходящего потока; $l_{ш}$ и l_k — соответственно длина шламовой и колонковой трубы; $t_{ц}$ — продолжительность рабочего цикла пульсационного насоса; t_a — продолжительность активной части рабочего цикла пульсационного насоса.

Скорость оседания U_s твердого тела в вязкой ньютоновской жидкости так же можно определить по формуле Риттингера (2) [2].

$$U_s = \sqrt{\frac{4g}{3c_0} \frac{d_m(\rho_n - \rho_{ж}^e)}{\rho_{ж}^e}}. \quad (2)$$

где d_m — диаметр твердого тела; ρ_n , $\rho_{ж}^e$ — плотности, соответственно, частицы и жидкости; g — ускорение свободного падения; c_0 — коэффициент сопротивления при оседании тела.

Согласно исследованиям Р. И. Шищенко [3] обтекание частицы при ее оседании в вязкой ньютоновской жидкости происходит в области турбулентной автомодельности и для частиц шарообразной формы $c_0 = 0,8175$, а для частиц в форме пластин $c_0 = 1,453$.

Приравняв правые части выражений (1) и (2) и приняв d_m равным граничному эквивалентному диаметру δ_{23} и решив полученное уравнение относительно δ_{23} получим аналитическое выражение его величины (3) применительно к вязкой ньютоновской жидкости.

$$\delta_{23} = \frac{3c_0\rho_{ж}^e}{4g} \frac{\left[\frac{S_1(l_{ш} + l_k)}{S_2t_{ц} - S_1t_a} \right]^2}{(\rho_n - \rho_{ж}^e)}. \quad (3)$$

В составе шлама теоретически возможно наличие частицы, которая отрывается от забоя восходящим потоком ньютоновской жидкости, перемещается вверх в пространстве между стенками скважины и колонковой и шламовой трубой, но не выходит за предел

верхнего торца наружной шламовой трубы в течение одной пульсации. Такая частица названа не выносимой. Ее эквивалентный диаметр обозначим $\delta_{нз}$. Установлена функциональная связь скорости погружения невыносимой частицы U' со средней скоростью восходящего пульсирующего потока на нижнем участке гидравлического контура $V_{сл}^{cp}$, а так же параметрами рабочего цикла пульсационного насоса $t_ч$ и t_a , которая отражается зависимостью:

$$U' = V_{сл}^{cp} \frac{t_a}{t_ч} \quad (4)$$

Считая $U_s = U'$ и решая полученное уравнение относительно $\delta_{нз}$, получим аналитическое выражение величины $\delta_{нз}$ применительно к вязкой ньютоновской жидкости.

$$\delta_{нз} = \frac{3c_0 \rho_{жс}^6 \left(V_{сл}^{cp} \frac{t_a}{t_ч} \right)^2}{4g (\rho_n - \rho_{жс}^6)} \quad (5)$$

В реальных условиях бурения скважины вполне вероятен переход технической воды в неньютоновскую жидкость, например вследствие контакта с породами глинистого комплекса в течение рейса бурения. Такая жидкость обладает структурой и вязкопластичными свойствами (модель жидкости - тело Шведова). Оседать в ней сможет та часть твердой фазы, размеры частиц которой будут больше величины d_0 , определяемой по формуле [2]

$$d_0 = \frac{6m\tau_0}{\rho_n - \rho_{жс}^6} \quad (6)$$

где τ_0 - динамическое напряжение сдвига вязкопластичной жидкости; m - коэффициент формы, зависящий от d_0 . Коэффициент m определяется по эмпирическому выражению

$$m = \frac{0.754}{d_0^{0.21085}} \quad [3], \text{ Тогда диаметр частицы, которая не сможет оседать в вязкопластичной}$$

жидкости можно рассчитать по формуле: $d_0 = \left(4.544 \frac{\tau_0}{\rho_n - \rho_{жс}^6} \right)^{0.82559} \quad [2].$

Структурный режим обтекания осаждающейся частицы будет наблюдаться при условии $\frac{d_m}{d_0} \leq 3.0$ [2], где d_m - диаметр частицы, оседающей в вязкопластичной жидкости.

Скорость оседания частицы U_s диаметром d_m при структурном режиме ее обтекании согласно рекомендации [2] следует вычислять по формуле:

$$U_s = 0.66 d_m \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{d_m}{d_0}} - 1 \right)^2 \quad (7)$$

где η - структурная вязкость вязкопластичной жидкости.

Подставляя вместо U_s значение U из формулы (1) и заменяя d_m на $\delta_{2з}$, получим:

$$\frac{S_1(l_{ш} + l_{к})}{S_2 t_ч - S_1 t_a} = 0.66 \delta_{2з} \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{\delta_{2з}}{d_0}} - 1 \right)^2 \quad (8)$$

Из формулы (8) $\delta_{эз}$ можно определить численным методом.

Приравняв правые части выражений (4) и (7) и приняв d_m равным эквивалентному диаметру невыносимой частицы $\delta_{нэ}$ получим аналитическое выражение его величины (9) из которого численным методом рассчитывается эквивалентный диаметр не выносимой частицы $\delta_{нэ}$ применительно к вязкопластичной неньютоновской жидкости.

$$V_{слп} \frac{t_a}{t_y} = 0.66 \delta_{нэ} \frac{\tau_0}{\eta} \left(\sqrt[3]{\frac{\delta_{нэ}}{d_0}} - 1 \right)^2 \quad (9)$$

Если буровой раствор не подчиняется модели вязкопластичной жидкости, то в этом случае для расчета диаметра не тонущей частицы d_0 согласно рекомендации Р.И. Шищенко [3] в формулу (5) вместо τ_0 подставляют статическое напряжение сдвига θ . В этом случае модель жидкости – тело Бингама. Однако, как и в предыдущем случае получить конкретное аналитическое выражение для $\delta_{эз}$ не представляется возможным, а его величину можно рассчитать численными методами из уравнения (10), полученного после приравнивания правых частей (1) и (2). При этом в формулу (2) вместо d_m подставляется $\delta_{эз}$, а c_0 заменяется его аналитическим выражением $c_0 = 0.197233g \left(\frac{d_m}{d_0} - 1 \right)^{-0.442758}$, полученным на основании исследований Р.И. Шищенко [3] применительно к турбулентному режиму обтекания частицы.

$$\frac{S_1(l_w + l_k)}{S_2 t_y - S_1 t_a} = \sqrt{\frac{6.760193}{\left(\frac{\delta_{эз}}{d_0} - 1 \right)^{-0.442758}} \frac{\delta_{эз} (\rho_n - \rho_{жс}^e)}{\rho_{жс}^e}} \quad (10)$$

Для данной модели жидкости также можно рассчитать эквивалентный диаметр не выносимой частицы $\delta_{нэ}$, который обеспечивает равенство частей уравнения:

$$V_{слп} \frac{t_a}{t_y} = \sqrt{\frac{6.760193}{\left(\frac{\delta_{нэ}}{d_0} - 1 \right)^{-0.442758}} \frac{\delta_{нэ} (\rho_n - \rho_{жс}^e)}{\rho_{жс}^e}} \quad (11)$$

Протяженность зоны, в пределах которой реверсивно движется частица граничного эквивалентного диаметра, соответствует ее максимальному продвижению в восходящем потоке после выхода в пространство над верхним торцом наружной шламовой трубы б (рис.1). Эта зона названа переходной, разделяющей пространство взвесенесущего пульсирующего потока на два участка: нижний (участок седиментации) и верхний (участок выноса твердой фазы). Длина переходной зоны определяется аналитическим выражением (12):

$$l_{нэ} = \frac{S_1(l_w + l_k)}{S_2 t_y - S_1 t_a} t_{нас} \quad (12)$$

где $t_{нас}$ – продолжительность пассивной части рабочего цикла пульсационного насоса.

В табл. 1 приведено распределение фракций твердой фазы в гидравлическом контуре скважины по характерным участкам при пульсирующей промывке.

Табл. 1. Распределение частиц твердой фазы в гидравлическом контуре скважины по характерным участкам при пульсирующей промывке

Название участка	Протяженность участка	Размеры частиц твердой фазы δ , находящейся в пределах участка
Верхний	От уровня жидкости до верхней границы переходной зоны	$\delta < \delta_{23}$
Переходная зона	Рассчитывается по (12)	$\delta < \delta_{нз}$
Нижний	От забоя до верхнего торца шламовой трубы	Не больше кольцевого зазора между стенками скважины и колонковой трубой

В табл. 2 приведена информация по определению размеров частиц твердой фазы, не выходящих за пределы характерных участков гидравлического контура скважины при пульсирующей промывке.

Табл. 2. Размер частиц, не выходящих за пределы характерного участка

Участок	Ньютоновская жидкость	Модель неньютоновской жидкости	
		Тело Шведова	Тело Бингама
Верхний	$\delta < \delta_{23}$, определяемого по (3)	$\delta < \delta_{23}$, определяемого по (8)	$\delta < \delta_{23}$, определяемого по (10)
Переходная зона	δ_{23} определяется по (3)	δ_{23} определяется по (8)	δ_{23} определяется по (10)
Нижний	определяется по (5)	$\delta_{нз}$, определяется по (9)	$\delta_{нз}$, определяется по (11)

Поскольку граничный эквивалентный диаметр и длина переходной зоны функционально связаны с параметрами пульсационного насоса, то, варьируя последними, можно обеспечить условие, при котором граничный эквивалентный диаметр частицы будет у минимальной по величине фракции твердой фазы, находящейся в пульсирующем взвесенесущем потоке. Так как формировать седиментирующую часть твердой фазы будут частицы, имеющие эквивалентный диаметр больший, чем граничный, то это позволит обеспечить максимальный сбор шлама в наружную шламовую трубу.

Литература

1. *Филимоненко Н.Т.* Основные результаты исследований пульсирующей промывки скважин. Межвузовский научно-тематический сборник. Вып. 23.- Екатеринбург: Уральская гос. Горно-геол. академия, 2002. С. 101-108.
2. *Гукасов Н.А., Брюховецкий О.С., Чихоткин В.Ф.* Гидродинамика в разведочном бурении. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 304 с.
3. *Шищенко Р.И., Есьман Б.И.* Практическая гидравлика в бурении. М.:Недра, 1966. – 285с.

© Филимоненко Н. Т., Каракозов А. А., 2007