Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т.105

УДК 622.245.35

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ ПРОМЫВОЧНЫХ АГЕНТОВ НА ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ ЗАБОЯ СКВАЖИНЫ

Н.Д.МИХАЙЛОВА

В настоящее время все большее внимание уделяется изучению процессов очистки забоя скважины, особенно в связи с широким распространением различных очистных агентов, вызывающих изменение работоспособности породоразрушающего инструмента [I].

Как показал анализ результатов изучения влияния свойств очистных агентов на работоспособность породоразрушающего инструмента, основными причинами изменения показателей работы инструмента являются следующие:

I) действие на забой скважины гидростатического давления, вели на которого определяется плотностью раствора и глубиной бурения;

2) изменение степени очистки забоя скважины при изменении физических свойств очистного агента;

3) различная степень охлаждения породоразрушающего инструмента в потоке циркулирующего очистного агента.

Наиболее исследованным является действие гидростатического давления столба промывочного агента, которое проявляется главным образом при проходке непроницаемых пород и пород невысокой прочности в уплотнении пород и "угнетании" отколотых частиц шлама, находящихся на забое скважины. Гидростатическое давление также заметно влияет на изменение показателей работы породоразрушающего инструмента при проходке пористых пород и пород с прочностью, превышающей 100 МПа. Однако действием только гидростатического давления нельзя объяснить изменение показателей работы породоразрушающего инструмента при бурении в одинаковых условиях с изменением только структурно-механических свойств очистного агента.

Рассмотрим механизм процесса очистки забоя скважины с точки зрения влияния на него физических свойств промывочного агента.

При разрушении породы на забое происходит откалывание частицы породы, на которую в начальный момент будет действовать угнетающее давление, равное разности давления в стволе скважины и на глубине скалывания, препятствующее движению частицы с забоя. Чтобы частица начала двигаться, необходимо проникновение под нее фильтрата промывочного агента либо пластовой жидкости и выравнивание таким образом давлений, действующих на отколотую частицу. Время выравнивания давлений определится временем проникновения фильтрата под отколотую частицу, которое будет зависеть как от свойств промывочного агента, так и от физических свойств проходи-

мых пород. При такой модели процесса для эффективной очистки забоя необходимо равенство давлений, действующих на частицу шлама сверху и снизу. Однако нужна еще и сила, действующая на частицу шлама снизу вверх и отрывающая ее от забоя.

Для определения такой силы рассмотрим действие на частицу шлама, находящуюся на забое, потока промывочного агента.

При движении очистного агента на забое скважины скорость его потока касательна к поверхности забоя, и частица шлама, расположенная на дне потока, испытывает действие силы, которая отрывает ее от забоя и удерживает во взвешенном состоянии. Подъемная сила возникает вследствие несимметричного обтекания ее потоком за счет неравномерности профиля скоростей в движущемся потоке очистного агента, вертикальных составляющих турбулентной пульсации скорости потока, а также возникающих в придонном слое потока вихрей. Подъем частицы шлама с забоя скважины возможен только в случае, если вертикальные составляющие турбулентных пульсаций скорости в потоке существенно превысят скорость падения частиц в данной промывочной жидкости.

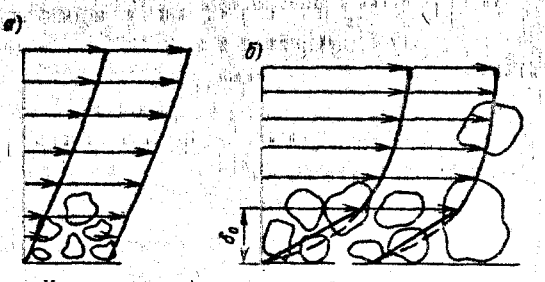
Движение промывочного агента между резцами коронки непосредственно на забое скважины сопровождается большим или меньшим уровнем турбулентности потока, значение которого определяется величиной критерия Рейнольдса $Re = vD_э\rho/\mu$, где v – скорость потока, м/с; $D_э$ – эквивалентный диаметр потока, м; ρ – плотность потока, кг/м^3; μ – динамическая вязкость потока, Па·с.

При малых скоростях движения очистного агента в пространстве под торцом коронки может установиться ламинарный режим движения потока с параболическим распределением скоростей по сечению. При критическом значении параметра $Re = 2 \cdot 10^3$ ламинарный режим переходит в турбулентный, при котором профиль скоростей характеризуется более быстрым нарастанием скоростей у поверхности забоя, а затем более равномерным их распределением (см. рисунок). При турбулентном движении потока у стенки канала потока всегда будет существовать ламинарный подслой, жидкость в котором движется только ламинарно и где в наиболее высокой степени проявляются ее вязкостные свойства. Толщина ламинарного подслоя [I]

$$\delta_0/D_э = 63{,}5/Re^{0{,}875}. \qquad (I)$$

Роль ламинарного подслоя в процессе очистки забоя скважины значительна. Его толщина определяется не только режимом течения потока, но и физическими свойствами промывочного агента, в основном его вязкостью. Установлено, что увеличение плотности раствора ρ с I до 2,5 г/см^3 при постоянной вязкости практически не влияет на толщину ламинарного подслоя, тогда как изменение вязкости при $\rho = const$ резко увеличивает толщину ламинарного подслоя, что в свою очередь ухудшает условия очистки забоя и приводит к повышенному износу породоразрушающего инструмента.

Таким образом, в зависимости от количества и качества применяемого очистного агента под торцом коронки образуется ламинарный или турбулент-



Изменение профиля скоростей потока в призабойной зоне скважины: а – ламинарное; б – турбулентное течение

ный пограничный слой и определенной толщины ламинарный подслой, существенно влияющий на условия движения частиц в потоке очистного агента. Образовавшиеся в процессе разрушения породы одни частицы шлама испытывают действие пограничного слоя и самого ядра потока, другие могут попасть в зону меньшей турбулентности, а также в застойную зону. В результате часть шлама останется не вынесенной потоком очистного агента из-под торца коронки, что приведет к дальнейшему его измельчению и повышению износа породоразрушающего инструмента. Чем меньше скорость потока промывочного агента и чем выше его вязкость, тем большее количество шлама останется на забое.

Проводимый в настоящее время расчет необходимого количества промывочного агента для очистки скважины из условия выноса частиц шлама в кольцевом пространстве скважины и без учета процессов очистки на забое приводит к тому, что потребная скорость восходящего потока определяется в основном только плотностью промывочного агента. Уменьшение или увеличение плотности приводит соответственно к увеличению или к уменьшению потребной скорости восходящего потока промывочного агента, и инерционные силы потока $vD_9\rho$ в этом случае остаются практически неизменными. Вязкость промывочного агента в таких расчетах не учитывается, хотя существенно влияет на величину критерия Re и соответственно на уровень турбулентности потока, определяющий эффективность процесса очистки.

Для сравнения условий очистки забоя скважины при использовании различных очистных агентов был произведен расчет значений критерия Re и толщины ламинарного подслоя δ_0 под торцом коронки СА-1 диаметром 59 мм при рекомендуемых в колонковом бурении расходах промывочных агентов (см. таблицу). Расчет показал, что наилучшие условия очистки забоя создаются при продувке скважины воздухом, так как благодаря высоким скоростям потока и низкой вязкости воздуха уровень турбулентности потока наиболее высок, а толщина ламинарного подслоя наименьшая. Ухудшение условий очистки при промывке скважины глинистым раствором связано с увеличением вязкости раствора, что приводит к увеличению толщины ламинарного подслоя и снижению уровня турбулентности потока, а также энергетическими затратами на перенос собственно глинистых частиц, т.е. твердой фазы раствора. Повышение показателей работы породоразрушающего инструмента при использовании растворов с низким содержанием твердой фазы, например малоглинистых, объясняется усилением в потоке турбулентных пульсаций.

Таким образом, расчет потребной скорости восходящего потока промывочного агента и его расхода должен производиться с учетом процессов очистки забоя скважины и вязкостных свойств применяемого промывочного агента.

Условия очистки забоя скважины

Очистной агент	Плотность, кг/м³	Динамическая вязкость, 10^5 Па·с	Re	δ_0, мм
Воздух	1,69	0,0185	14150	0,209
Техническая вода	1000,0	1,0	10000	0,382
Глинистый раствор	1220	2	5950	0,477
		3	3950	0,64
		4	3000	0,82
		6	2000	1,17

Примечание. Рекомендуемые расход воздуха, скорость восходящего потока и скорость потока под торцом коронки соответственно 0,0137 м³/с, 9,7 м/с и 10 м/с, для технической воды и глинистого раствора эти величины составляют 0,00091 м³/с, 0,625 м/с и 0,7 м/с.

Определим размывающую скорость потока промывочного агента под торцом коронки, т.е. ту среднерасходную скорость в канале потока, при которой находящиеся на дне потока в пределах ламинарного подслоя частицы шлама начнут перемещаться и взвешиваться. Среднерасходная скорость течения очистного агента по сечению канала потока, согласно уравнению неразрывности $v_{ср} = V_0/F$, где V_0 – объемный расход, м³/с; F – площадь сечения канала, м². Скорость потока на границе ламинарного подслоя [I] $v_л = 2{,}44\, v_{ср}/Re^{1/8}$. Распределение скоростей в ламинарном подслое можно принять линейным, тогда средняя скорость обтекания частицы в ламинарном подслое, равном по толщине размеру частицы d, $v_d = v_л d_э/\delta_0$, где $d_э$ – эквивалентный диаметр частицы.

Между скоростью начала движения $v_{d_т}$ и гидравлической крупностью частиц w существует прямая пропорциональная зависимость с коэффициентом пропорциональности $k_т$, в среднем равном 0,875. Так как v_d в ламинарном подслое в момент начала движения частицы должна быть равна $v_{d_т}$, то с учетом формулы (I) можно написать

$$\frac{2{,}44 v_{ср}}{2}\,\frac{d_э\, Re^{0{,}75}}{63{,}5 D_э} = k_т\, w . \qquad (2)$$

Величина критической скорости потока [2]

$$w = \frac{\nu}{d_э}\, exp\, 10\left(\frac{\sqrt{\ln Ar + 2{,}3}}{2{,}3} - 1\right), \qquad (3)$$

где ν – кинематическая вязкость очистного агента, м²/с; Ar – безразмерный параметр Архимеда, $Ar = d_э^3(\rho_п - \rho)g/\nu^2\rho$; $\rho_п$ – плотность горной породы, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

При расчете критической скорости к величине $d_э$ для трех основных форм частицы, компактной, удлиненной и плоской, следует применять поправочные множители: соответственно 0,7; 0,6 и 0,5.

Подставив в формулу (2) значение w (3) и решив ее относительно $v_{ср}$, получим значение скорости восходящего потока в кольцевом пространстве скважины, при котором частицы, находящиеся на забое в зоне действия ламинарного подслоя, начнут двигаться и взвешиваться

$$v_{ср} = 7{,}5 \frac{\nu D_э^{0{,}143}}{d_э^{1{,}143}} \exp 5{,}71 \left(\frac{\sqrt{\ln Ar + 2{,}3}}{2{,}3} - 1 \right). \qquad (4)$$

Таким образом, основным фактором эффективной очистки забоя скважины при бурении и повышении показателей работы породоразрушающего инструмента следует считать уровень турбулентности потока очистного агента в призабойной зоне скважины, который определяется в основном вязкостными свойствами очистного агента. Чем выше вязкость очистного агента, тем ниже турбулентность потока, хуже условия очистки забоя, выше износ породоразрушающего инструмента.

Расход промывочного агента целесообразно рассчитывать исходя из необходимости создания в кольцевом пространстве восходящей скорости потока, определенной с учетом вязкости промывочного агента и забойных процессов очистки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Рябченко В.М. Технология промывки скважин. М., Недра, 1981.

2. Технология и техника разведочного бурения / Шамшев Ф.А., Тараканов С.Н., Кудряшов Б.Б и др. 3-е изд., переработанное и дополненное. М., Недра, 1983.

3. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. М.-Л., Госэнергоиздат, 1961.