

УДК 622.24

А. Н. Давиденко, А. А. Игнатов, А. Ф. Камышацкий

*ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина*

## Некоторые вопросы организации очистки скважин

Проанализированы основные вопросы технологии промывки скважин. Показана возможность использования эффекта кавитации для очистки промывочных жидкостей.

Ключевые слова: шлам, скважина, промывка, твердая фаза, концентрация, механическая скорость, кавитация.

### Введение

В настоящее время без хорошо организованной промывки забоя и ствола скважины немислимо дальнейшее развитие глубокого и сверхглубокого бурения. Однако решение вопросов совершенствования промывки скважин довольно сложно, что объясняется наличием большого количества работ на эту тему и существованием в выводах авторов значительных расхождений.

Накопление выбуренной породы на забое зависит от механических, гидравлических и технологических факторов, имеющих место в процессе бурения, от плотности и прочности разбуриваемых горных пород, режима их разрушения долотом. Так, при высоких осевых нагрузках на долото, разбуривание слабopочных пород вызывает повышение скоростей бурения в начале рейса долота, но затем вследствие обильного накопления выбуренной породы на забое резко снижаются темпы углубления скважины [1].

Вынос частиц выбуренной породы потоком бурового раствора может быть осуществлен тогда, когда восходящая скорость очистного агента будет превосходить скорость погружения частицы и абсолютную скорость подъема ее с забоя скважины. Однако в реально двигающемся буровом растворе в скважине распределение скоростей по сечению потока зависит от многих факторов: формы сечения ствола скважины, реологических свойств бурового раствора, режима и скорости истечения бурового раствора, формы и плотности обломков твердых тел, соотношение между линейными размерами частиц шлама и поперечными размерами кольцевого пространства скважины и т.д.

Сложность оценки выноса выбуренной породы с забоя скважины и затрубного пространства обусловлена, прежде всего, пульсацией скоростей потока, изменением скоростей течения по стволу вследствие кавернозности, изменения его конфигурации и т.п.

Режим промывки забоя скважины существенно сказывается на реализации гидравлической мощности струи бурового раствора при разрушении горной породы гидромониторными долотами.

Не менее важную роль в достижении высоких показателей производительности процесса сооружения скважин играет и качество промывочных жидкостей, под которым подразумевается, в первую очередь, содержание в последних твердой фазы. Количество твердой фазы в промывочной жидкости оказывает значительное влияние на срок службы и надежность элементов циркуляционной системы, ее гидродинамические характеристики, механическую скорость бурения и стойкость породоразрушающего инструмента.

**Целью работы** является анализ циркуляционных процессов на различных этапах строительства скважин, основанный на контроле содержания твердой фазы в очистном агенте.

### Основной материал

При бурении скважин вынос выбуренной породы на дневную поверхность происходит двумя путями: мелкие частицы шлама (размером менее 0,5 мм) «переходят в раствор», крупные обломки горных пород выносятся на дневную поверхность за счет скоростного напора промывочной жидкости [2–3].

Повышение реологических характеристик рабочего потока бурового раствора осуществляется именно за счет насыщения последнего продуктами разрушения, что в конечном

итоге выражается в резком увеличении его вязкости и содержания твердой фазы, ухудшении очистки забоя от выбуренной породы, росте гидродинамических сопротивлений и потерь давления в циркуляционной системе скважины.

В поддержании ствола скважины в чистом состоянии большое значение имеет, кроме прочего, применение промывочных жидкостей максимально свободных от посторонних твердых частиц, что достигается высококачественной очисткой промывочной жидкости от бурового шлама. На рис. 1 приведены зависимости основных показателей бурения от содержания твердой фазы в буровом растворе [4].

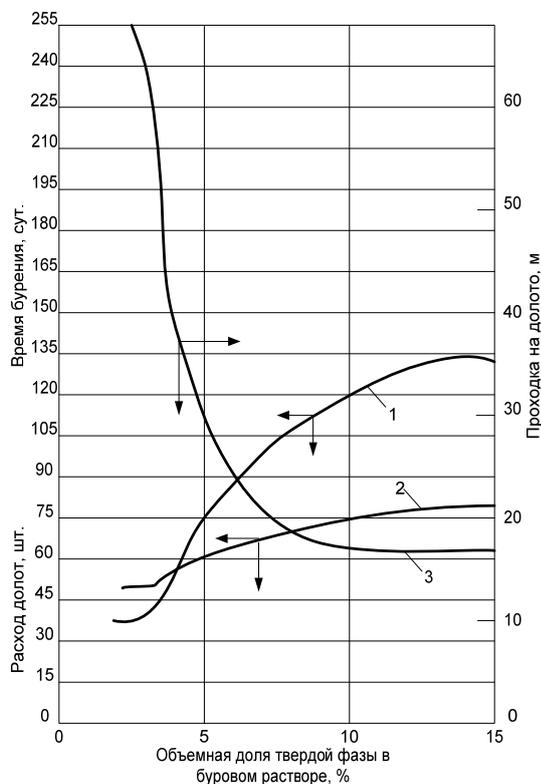


Рис. 1. Влияние твердой фазы в буровом растворе на показатели бурения:  
1 – расход долот; 2 – время бурения; 3 – проходка на долото

Данные рис.1 дают ясное представление о решающем значении содержания твердой фазы в вопросах обеспечения высокой степени производительности буровых работ.

Регулировать содержание твердой фазы в очистном агенте можно на двух этапах строительства скважин, а именно при его циркуляции в стволе бурящейся скважины или на этапе нахождения очистного агента в элементах очистной системы буровой площадки.

В прикладных расчетах гидравлических параметров процесса очистки абсолютная скорость, необходимая для транспортировки разрушенной породы с забоя скважины определяется в доле от  $u$  – скорости оседания частицы шлама в неподвижной жидкости.

$$V_{\text{ч}} = (0,2 - 0,3)u, \quad (1)$$

либо максимально допустимой объемной долей твердой фазы в циркулирующем очистном агенте.

Объемная доля твердых частиц  $C_{\text{ТВ}}$  определяется соотношением между их объемом и объемом жидкости в кольцевом пространстве [2 – 3]:

$$C_{\text{ТВ}} = \frac{D_{\text{С}}^2}{D_{\text{С}}^2 - d_{\text{БТ}}^2} \frac{V_{\text{М}}}{V_{\text{ч}}}, \quad (2)$$

где  $D_{\text{С}}$  – диаметр скважины, м;  $d_{\text{БТ}}$  – диаметр бурильных труб, м;  $V_{\text{М}}$  – механическая скорость бурения, м/с.

Из (2) мы можем получить выражение для определения абсолютной скорости движения частицы

$$V_{\text{ч}} = \frac{D_{\text{с}}^2}{D_{\text{с}}^2 - d_{\text{БТ}}^2} \frac{V_{\text{М}}}{C_{\text{ТВ}}} . \quad (3)$$

В отношении выбора максимально допустимой объемной доли шлама существует следующие рекомендации [3]. Если промывочной жидкостью служит вода или другие ньютоновские жидкости максимальная объемная доля шлама составляет 0,02, при промывке скважины глинистым раствором или другими неньютоновскими жидкостями  $C_{\text{ТВ}}=0,05$ .

Обозначив в выражениях (2) и (3) соотношение  $\frac{D_{\text{с}}^2}{D_{\text{с}}^2 - d_{\text{БТ}}^2}$  через  $m$ , получим:

$$C_{\text{ТВ}} = m \frac{V_{\text{М}}}{V_{\text{ч}}} \quad (4)$$

$$V_{\text{ч}} = m \frac{V_{\text{М}}}{C_{\text{ТВ}}} . \quad (5)$$

Для скважин, проходимых шарошечными долотами  $m$  находится в пределах 1,25÷1,4.

Таким образом, объемная доля твердых частиц в жидкости, находящейся в кольцевом пространстве определяется соотношением диаметров скважины и бурильных труб, механической скоростью бурения и абсолютной скоростью движения частиц шлама.

На рис. 2 и 3 представлены результаты расчета объемной доли твердых частиц ( $C_{\text{ТВ}}$ ) для различных значений  $m$ , в зависимости от механической скорости бурения. Сплошными линиями показаны зависимости, полученные при условии промывки скважины ньютоновской жидкостью, пунктирной – при промывке глинистым раствором.

Данные рис. 2 и 3 свидетельствуют о том, что с ростом механической скорости бурения доля частиц шлама в растворе значительно превосходит рекомендуемые значения.

При определении объемной доли твердых частиц в кольцевом пространстве исходя из рекомендаций по скоростям восходящего потока (см. рис. 3),  $C_{\text{ТВ}}$  выходит за пределы только при бурении в породах I-III категорий по буримости, при промывке водой и в породах I-II, при промывке глинистым раствором.

На рис. 4 представлены результаты расчета абсолютной скорости движения частиц шлама ( $V_{\text{ч}}$ ), в зависимости от механической скорости бурения, с учетом предельно допустимой объемной доли шлама в кольцевом пространстве. Данные расчетов (см. рис. 4) свидетельствуют о том, что значение абсолютной скорости движения частиц шлама, полученные исходя из предельно допустимого содержания твердых частиц в кольцевом пространстве не соответствуют как значениям  $V_{\text{ч}}$  полученным исходя из скорости оседания, так и полученным исходя из рекомендуемых скоростей восходящего потока.

Следовательно, приведенные выше данные свидетельствуют о значительной неопределенности в выборе критерия, отвечающего максимально допустимому содержанию твердой фазы в буровом растворе. Это в свою очередь вызывает значительное падение качества очистки от шлама промывочной жидкости.

С увеличением содержания твердой фазы в буровом растворе можно бороться двумя способами: регулирование процесса диспергирования с помощью химических реагентов или разбавлением раствора. Однако химическая обработка стоит дорого, а разбавление приводит к повышенному расходу основных химических реагентов, использующихся для регулирования свойств самого раствора.

Все более популярным стал процесс удаления выбуренной породы при помощи механических средств: различных сит и гидроциклонных установок. Трудности при применении механических средств очистки связаны в основном с необходимостью установки на буровой дополнительного громоздкого оборудования, которое требует автономные системы привода и соответственно влечет за собой повышение расхода энергии и стоимости бурения.

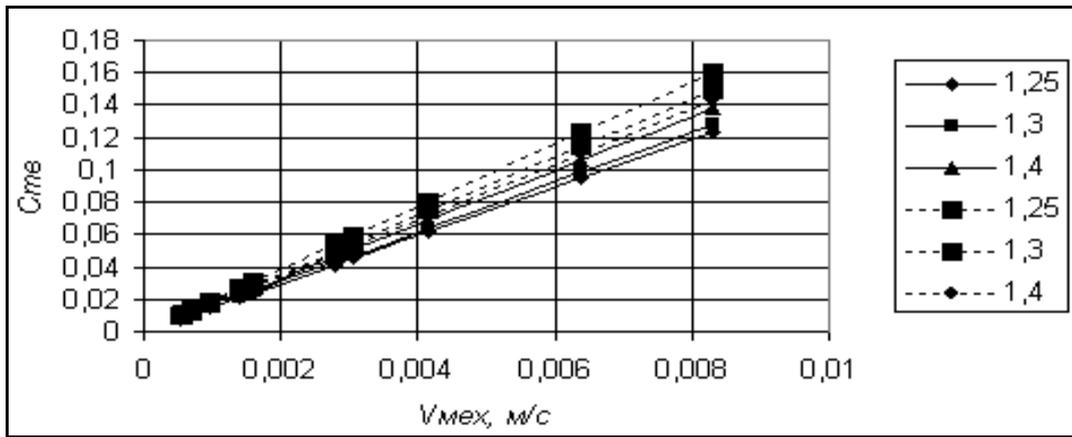


Рис. 2. Результаты расчета объемной доли частиц шлама в кольцевом пространстве исходя из скорости оседания

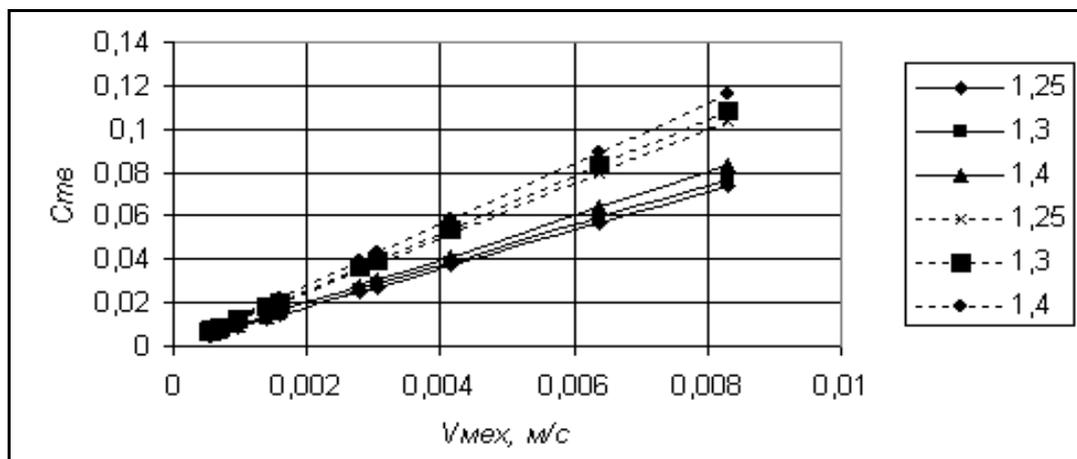


Рис. 3. Результаты расчета объемной доли твердых частиц шлама в кольцевом пространстве исходя из рекомендаций по скоростям восходящего потока

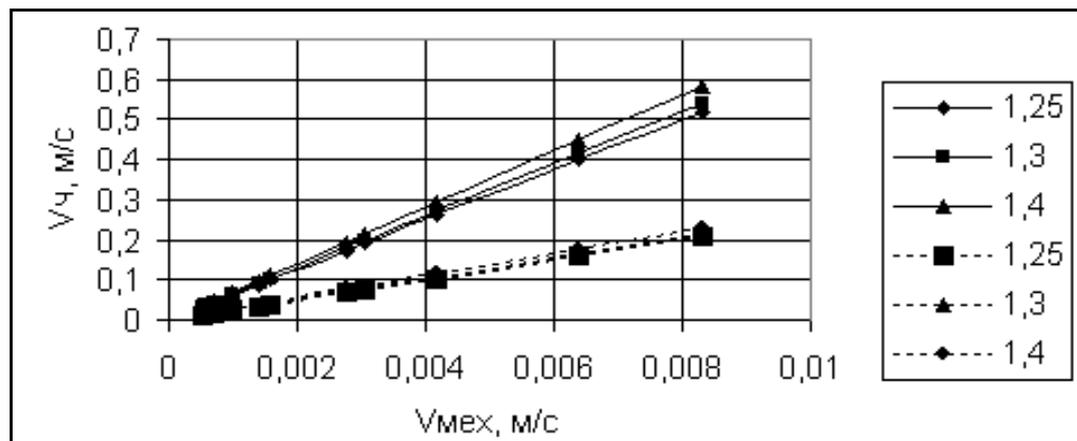


Рис. 4. Результаты расчета абсолютной скорости движения частиц шлама исходя из рекомендаций по предельно допустимой объемной доле шлама в кольцевом пространстве

В этой связи специалистами кафедры техники разведки МПИ НГУ для очистки буровых растворов от шлама предлагается использовать эффект гидродинамической кавитации, возникающей при обтекании потоком осесимметричных тел. Основное преимущество такого способа очистки заключается в том, что для генерирования зон развитой кавитации используется энергия самого потока очистного агента при прохождении кавитационного генератора

специальной конструкции. Сам процесс очистки заключается в интенсификации химического воздействия на раствор, либо в дополнительном диспергировании выбуренной породы за счет разрушающего действия кавитационных пузырьков. Так, к примеру, расход коагулянтов при применении гидродинамической кавитации можно снизить на 30 %. Дополнительное же диспергирование твердой фазы позволит поддерживать свойства очистных агентов при дальнейшем их разбавлении на проектном уровне без применения основных химических реагентов. Такие кавитационные диспергаторы также следует применять и при приготовлении буровых растворов на конечной стадии – это позволит значительно уменьшить расход реагентов и как следствие удешевить раствор еще на стадии приготовления [5].

В качестве кавитационного генератора предполагается использование СК- аппаратов (суперкавитационные аппараты), в которых возникновение кавитации происходит при обтекании потоком жидкости тел различной геометрии. В качестве объекта для исследований был использован металлический конус, закрепленный консольно по отношению к потоку. На рис. 5 показана схема возникновения кавитации [5]. Экспериментальные исследования показали:

- перепад давления на таком генераторе кавитационных колебаний на порядок ниже, чем на классическом генераторе;
- увеличился диапазон регулирования интенсивности кавитации за счет осевого перемещения конуса-обтекания у диффузора генератора.

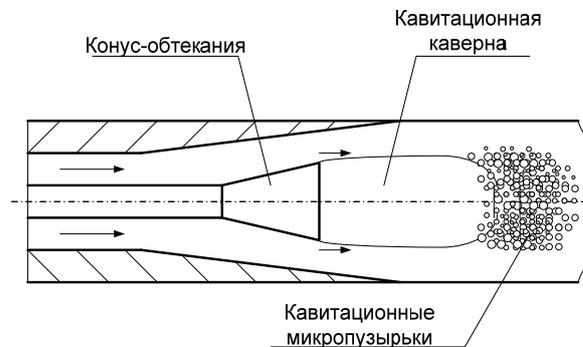


Рис.5. Схема возникновения кавитации в СК- аппаратах

На буровой применение такого генератора не требует установки дополнительного оборудования, он устанавливается в нагнетательную линию насоса или (при применении коагулянтов) в специальную отводную линию.

### Выводы

1. Вопросам очистки забоя и ствола скважины при бурении уделяется большое внимание, но проблема эта еще очень далека от своего решения, а значит, рассмотрение возможных путей дальнейшего совершенствования режима промывки представляет значительный интерес. Следует отметить, что на пути решения указанных задач стоят проблемы более глубокого познания механизма взаимодействия частиц шлама с потоком жидкости, и влияние на него структурно-механических свойств промывочной жидкости.
2. В первую очередь на очистку забоя от шлама, а, следовательно, и на основные показатели бурения влияет концентрация твердой фазы в буровом растворе.
3. Применение качественно новых кавитационных диспергаторов при очистке буровых растворов от выбуренной породы позволит снизить расход дорогостоящих химических реагентов, время на очистку и соответственно, в конечном счете, стоимость бурения скважин.

### Библиографический список

1. Акопов Э. А. Очистка забоев глубоких скважин / Э. А. Акопов. – М.: Недра, 1970. - 120 с.
2. Кудряшов Б.Б. Бурение скважин в осложненных условиях / Б.Б. Кудряшов, А.М. Яковлев. – М.: Недра, 1987. – 269 с.
3. Маковой Н. Гидравлика бурения / Н. Маковой; пер. с рум. – М.: Недра, 1986. – 536 с.

4. Грей Дж.Р. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей) / Дж.Р. Грей, Г.С.Г. Дарли; пер. с англ. – М.: Недра, 1985 – 509 с.
5. Камышацкий А.Ф. Процесс диспергирования исходных компонентов очистных агентов при гидродинамической обработке / А.Ф. Камышацкий // Науковий вісник Національного гірничого університету: сб. науч. тр. НГУ. – 2004. – № 5 – С. 44 – 46.

Надійшла до редакції 14.12.2012

О. М. Давіденко, О. О. Ігнатов, О. Ф. Камишацький  
*ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, Україна*

#### Деякі питання організації очищення свердловин

Проаналізовані основні питання технології промивання свердловин. Показана можливість використання ефекту кавітації для очищення промивальних рідин.

Ключові слова: шлам, свердловина, промивання, тверда фаза, концентрація, механічна швидкість, кавітація.

A. Davidenko, A. Ignatov, A. Kamyshatskiy  
*National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine*

#### Some Problems of Borehole Flushing

The basic questions of the technique of mining hole washing are analysed. The possibility of using the cavitation effect for cleaning of washings liquids is shown.

Key words: mud, mining hole, washing, hard phase, concentration, mechanical speed, cavitation.