

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ И УСИЛИЙ ПРИ РАБОТЕ УСТРОЙСТВА ПО ОБРАБОТКЕ СТВОЛА СКВАЖИНЫ В КАВЕРНОЗНОЙ ЗОНЕ

А.А. Игнатов, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Обобщены основные особенности циркуляционных процессов при работе устройства по очистке каверн. Приведены сведения по гидравлике активных струй жидкости. Изучены физико-механические свойства глинисто-шламовых накоплений в их корреляционной связи с техническими параметрами исполнительного органа проектируемого устройства. Рассмотрены схемы распределения струй жидкости при воздействии последних на объекты обработки.

Введение. Перед устройством по обработке ствола скважины (а именно его кавернозной зоны) стоит задача создания в объеме промывочной жидкости вызванных скоростей, способствующих разрушению и удалению глинисто-шламовых паст находящихся в кавернах [1].

Основное требования к вызванному потоку, прошедшему сквозь лопастной орган – необходимость получения струй с вполне определенными гидромеханическими характеристиками, обеспечивающими достаточную степень эффективности процесса подготовки ствола скважины к креплению.

Как известно, основным фактором, влияющим на прочностные показатели и состояние любого материала, в том числе и горных пород, является среда; решающим образом влияет она и на протекание любого процесса. Изменение среды, или иначе окружающих полей, ведет к изменению состояния тел, находящихся в ней, а также влечет за собой замедление или ускорение всех процессов, протекающих в материале. Именно этими обстоятельствами обусловлено появление и все большее распространение методов разрушения массива пород с использованием высоконапорных струй жидкости; до настоящего времени при их применении были получены обнадеживающие результаты [2]. Действие высоконапорных струй аналогично действию инструмента для механического разрушения горных пород: они дезинтегрируют породу, на которую воздействуют путем создание в ней напряжений, превышающих сопротивление породы растяжению или сдвигу.

Этот способ уже применяется в горном деле [3] при разработке угольных пластов, строительстве туннелей раскалывании блоков породы в карьерах, разрушении бетона, перфорировании обсадных колон и т. д.

Высоконапорные струи можно разделить на две категории [4]:

эрозионные – струи чистой воды, реже облегченного бурового раствора;

абразивные – струи, состоящие из жидкости, в которой во взвешенном состоянии содержатся абразивные частицы: кварцевый песок, стальная дробь и т.д.

Изучение литературных источников и фактического материала позволяет сделать вывод, что на сегодняшний день в подавляющем большинстве случаев применяются именно эрозионные струи [5]. Таким образом, создание условий применения энергии струй промывочной жидкости для обработки кавернозных глинисто-шламовых образований является оправданным с технической и технологической точек зрения.

Целью статьи является обобщение основных данных по свойствам глинисто-шламовых кавернозных накоплений и формулирование на их основе эффективных технико-технологических режимов работы устройства по обработке осложненных интервалов.

Основной материал. Совершенно очевидно, что гидравлические характеристики активных струй жидкости, формирующихся лопастным механизмом, определяются геометрическими и динамическими параметрами исполнительного органа устройства, а кроме того целиком необходима их тесная увязка с физико-механическими свойствами обрабатываемого массива.

Определяющие закономерности движения и распада активных струй, а также изменение

гидравлических свойств последних в интервале перемещения от лопастного органа до объекта обработки будут находиться в тесной связи с условиями их формирования.

Из теории гидравлического разрушения горных пород известно, что при воздействии струй на массив имеют место следующие процессы: механическое разрушение в результате динамического воздействия; гидромеханическое разрушение за счет фильтрационных токов; разрушение в результате возникновения касательных напряжений, распространяющихся в массиве; в отдельных случаях растворение жидкостью различных солей, содержащихся в породных образованиях.

Хотя существует сравнительно большое число работ посвященных исследованию поведения струй жидкости в тех или иных технологических процессах, все же их изучение весьма сложная и многофакторная задача [4]. Применительно к условиям бурения рабочие струи классифицируются как затопленные (распространяющиеся в жидкости высокого давления) и турбулентные. Для гидромониторных долот зона действия струй ограничена стенками и забоем скважины, а также самими конструктивными элементами инструмента; струи вращаются совместно с долотом вступая во взаимодействие с окружающей жидкостью и между собой. В связи со сказанным, для обеспечения возможности изучения движения таких струй необходимо вводить некоторые упрощения.

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов, связанных с теорией взаимодействия активных струй формируемых лопастным органом и глинисто-шламовых паст, необходимо дать четкое определение геометрических и механических характеристик объекта обработки, так как именно их учет необходим для разработки эффективных технологических режимов работы устройства по очистке каверн. Специальными исследованиями было показано, что глинисто-шламовые пасты представляют собой агрегаты мельчайших глинистых частиц в большинстве случаев чешуйчатого строения и продуктов разрушения горных пород на забое скважины различного гранулометрического состава [3 – 4]. Источником чешуйчатой и мелкозернистой (пылевой) фракции глинисто-шламовых паст могут быть как промывочная жидкость, так и разрушаемый массив, причем они имеют большую удельную поверхность соприкосновения и тонкие капилляры. Такое строение глинисто-шламового скелета и наличие пленок воды, обволакивающей частицы, придают им связность и способность деформироваться под влиянием нагрузки. Из грунтоведения известно, что связность тех или иных глинистых грунтов увеличивается с уменьшением влажности. Глинистые грунты благодаря своей структуре обладают малым коэффициентом фильтрации и слабой водопроницаемостью. Водопроницаемость глинистых грунтов увеличивается с увеличением размеров и количества зернистых частиц. Вместе с силами сцепления прочность глинистых конгломератов определяется и силами внутреннего трения между частицами. Однако точное выделение составляющей трения и сцепления представляет большие трудности, так как само трение между поверхностями твердых тел имеет сложную, двойственную адгезионно-деформационную (молекулярно-механическую) природу [6].

По отношению к глинисто-шламовым пастам перечисленные свойства несколько трансформируются, что связано с достаточно длительным сроком их концентрирования и нахождения в кавернозной зоне; при этом с течением времени происходит значительное уплотнение паст с частичным отжатием воды. Опытные данные свидетельствуют о следующем [7]: интенсивность отложения шламовых паст в кавернах как при бурении, так и при проработках ствола, может быть вполне охарактеризована величиной угла откоса, лежащего между поверхностью грунтовой или иной горной массы с горизонтальной плоскостью. Иногда он может быть классифицирован как угол внешнего трения. Частицы материала, находящиеся на свободной поверхности насыпного или пластичного материала испытывают состояние критического (предельного) равновесия. Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости зерен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса. Так, для несвязных грунтов при некоторой влажности, примерно равной капиллярной влагоемкости (5 – 15% в зависимости от дисперсности), угол откоса увеличивается на 10 – 15%. Основной причиной в

этом случае является действие капиллярных сил, обуславливающих кажущуюся связность грунта. Экспериментальными исследованиями показана зависимость угла откоса глинисто-шламовых паст от коэффициента кавернозности, а именно: при увеличении размеров каверн возрастает угол откоса, значения которого колеблются от 20 минимальных до 60 максимальных градусов, а в отдельных случаях и несколько выше (вплоть до 70°).

На рис. 1 представлена зависимость угла откоса глинисто-шламовых паст (φ) от скорости восходящего потока промывочной жидкости (v) при различных значениях коэффициента кавернозности (K), полученная на основании моделирования скважинных условий и обобщенная по промысловым данным [4, 7]. Тут следует отметить также важное обстоятельство в отношении особенностей промывки сильно кавернозных стволов скважин: при скоростях восходящего потока очистного агента 1,5 м/с и выше, заметного уменьшения (менее 60°) угла откоса паст не происходит.

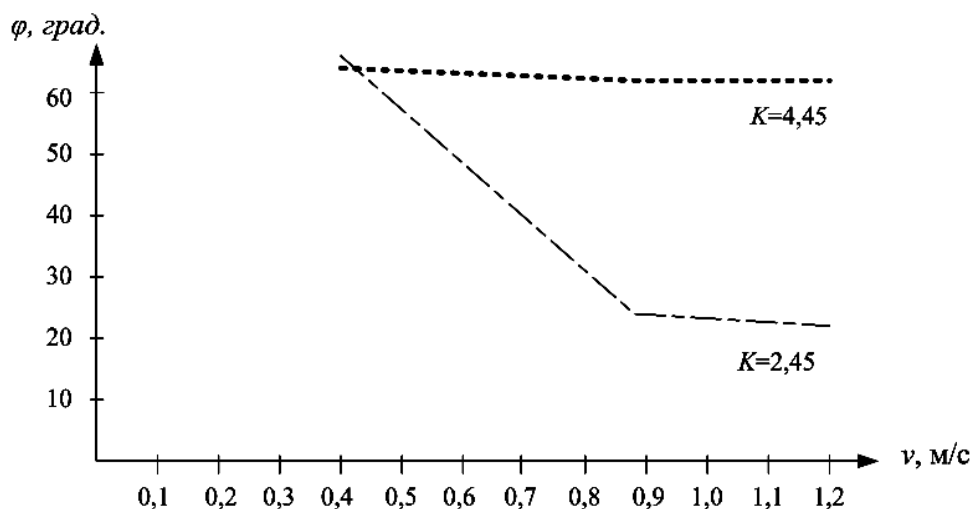


Рис. 1 Влияние скорости восходящего потока промывочной жидкости на шламонакопление в кавернозных зонах скважины

Таким образом, становится совершенно очевидным, что удаление паст из каверн возможно лишь в условиях обеспечения стабильных циркуляционных (силовых и скоростных) характеристик промывочной жидкости во всем объеме последней, при ее движении в осложненных интервалах, а это, по сути, и является принципом действия разрабатываемого устройства. Однако его эффективная работа возможна лишь на основе четкого представления о физико-механических и геометрических функциональных свойствах глинисто-шламовых образований, в соответствии с которыми должны коррелироваться выходные параметры исполнительного органа устройства.

С целью описания движения активной струи воспользуемся уравнением сохранения количества движения [8]

$$\int_0^m V dm = \int_0^F \rho V^2 dF, \quad (1)$$

где V — некоторая обобщенная скорость движения активных струй, м/с; dm — расход промывочной жидкости, протекающей через активный участок лопастного элемента, кг/с; ρ — плотность промывочной жидкости, кг/м³; dF — площадь элемента сечения активной струи, м².

Для выяснения механизма удаления глинисто-шламовых паст из каверн будем рассматривать воздействие активной струи на плоскую преграду. В качестве ограничительных условий принимается, что жидкость лишена трения, несжимаема, а течение установившееся.

При встрече с поверхностью воздействия активная струя растекается по последней. Использование теоремы об изменении количества движения требует составления схемы распределения скоростей струй потока в определенной системе координат (рис. 2).

Принятые условия позволяют записать теорему следующим образом:

$$\sum_{k=1}^n m_k (\bar{V}_{1k} - \bar{V}_{0k}) = \sum_{k=1}^i \int_0^t \bar{p}_k dt, \quad (2)$$

где $\sum_{k=1}^n m_k \bar{V}_{1k}$ – количество движения системы в момент времени t ; $\sum_{k=1}^n m_k \bar{V}_{0k}$ – количество движения системы в момент времени $t = 0$; n – число точек системы; \bar{p}_k – некоторая внешняя сила, действующая на систему; i – число действующих сил.

В целом задача сводится к определению суммарной силы воздействия активной струи на объект обработки, поэтому $\sum_{k=1}^i p_k$ можно заменить одной результирующей силой \bar{P} . При этом согласно закону Ньютона, сила воздействия струи на обрабатываемую поверхность равна $-P$.

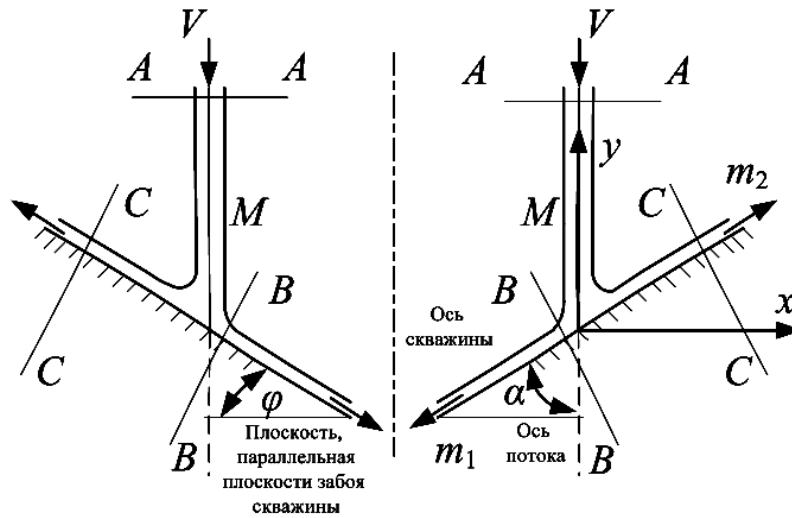


Рис. 2 Схема воздействия струи на объект обработки

Поскольку течение струй принято установившимся, то P будет постоянным и правая часть уравнения (2) переписывается следующим образом:

$$\sum_{k=1}^i \int_0^t \bar{p}_k dt = \int_0^t \sum_{k=1}^i \bar{p}_k dt = \int_0^t \bar{P} dt = \bar{P}t = (P_x \bar{i} + P_y \bar{j})t, \quad (3)$$

где P_x – проекция силы \bar{P} на ось x ; P_y – проекция силы \bar{P} на ось y .

На схеме (рис. 2) проведены три сечения струи $A - A$, $B - B$ и $C - C$, которые соответствуют основной активной струе и ее разветвлениям, кроме того, можно принять, что скорости в них одинаковы и в каждой точке обозначенных сечений равны V_0 . За промежуток времени $t = 1$ через сечения $A - A$ пройдет количество жидкости, масса которой равна M , а через сечения $B - B$ и $C - C$ пройдут, соответственно, количества жидкости с массами m_1 и m_2 , что выразится в следующем виде

$$M = m_1 + m_2. \quad (4)$$

Совершенно очевидно, что левая часть уравнения (2) будет содержать только количества движения указанных ранее масс жидкости.

Выражение (4) составлено на основании уравнения о неразрывности потока

$$\rho f W = \text{const}. \quad (5)$$

Уравнение (5) говорит о том, что объем жидкости fW , протекающей в единицу времени через поперечное сечение трубки тока со скоростью W и площадью f имеет постоянное значение [9].

Из схемы, представленной на рис. 2 видно следующее: характер распределения m_1 и m_2 будет зависеть от угла α , образуемого осью струи в сечении $A - A$ с плоскостью объекта обработки и определяемого в градусной мере из теоремы о сумме углов треугольника

$$\alpha = 180 - (90 + \varphi). \quad (6)$$

Приведенные данные свидетельствуют: активные струи промывочной жидкости, воздействующие на глинисто-шламовые накопления, производят работу, в результате которой происходит разрушение массива за счет приложения определенных нагрузок. Реализуемые струями жидкости усилия вызывают в объеме паст и отдельных конгломератов те или иные напряжения. При сосредоточенном воздействии струй возможно образование лунок и борозд, способствующих разрушению кавернозных образований. При соответствующих физических характеристиках массива отложений их удаление возможно и при комплексном влиянии струй, включающем кроме обозначенных параметров также фильтрационные потоки, зависящие, прежде всего, от уплотненности и гранулометрического состава паст, а также химических свойств их составляющих.

Выводы. Приведены основополагающие свойства о механике глинистых образований по отношению к формированию их накоплений в кавернозных интервалах скважины. Показано определяющее значение такого параметра физики грунтов как угол откоса в формировании глинистых конгломератов. Изложены практические сведения о технологии ликвидации глинисто-шламовых паст. Рассмотрена и обоснована принципиальная схема распределения циркуляционных потоков при воздействии последних на массив обработки.

Список литературы

1. Пат. 90541 № u200805093 Украина, МПК Е 21 В 37/02. Пристрій для обробки стовбура свердловини / О.М. Давиденко, А.О. Ігнатів, В.В. Яцик; Заявл. 21.04.08; Опубл. 11.05.10; Бюл. № 20.
2. Козодой А.К., Зубарев А.В., Федоров В.С. Промывка скважин при бурении. – М.: Гостоптехиздат, 1963. – 172 с.
3. <http://www.worldoil.com>.
4. Маковей Н. Гидравлика бурения. – М.: Недра, 1986. – 536 с.
5. Леонов Е.Г., Исаев В.И. Гидроаэромеханика в бурении. – М.: Недра, 1987. – 304 с.
6. Цытович Н.А. Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
7. Будников В.Ф., Булатов А.И., Макаренко П.Г. Проблемы механики бурения и заканчивания скважин. – М. Недра. 1996. – 496 с.
8. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. - М.: Энергоатомиздат, 1984. – 640 с.
9. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 672 с.