

Согласно записанному

$$dE_{\text{дав}} = (dE_2 - dE_1)_{\text{дав}} = p_2 dV_2 - p_1 dV_1; \quad (18)$$

$$dE_{\text{кин}} = (dE_2 - dE_1)_{\text{кин}} = \frac{dm_2 c_2^2}{2} - \frac{dm_1 c_1^2}{2}. \quad (19)$$

Из уравнения (19) четко видно, что необходимым условием получения приемлемых гидромеханических характеристик в устройстве для очистки каверн, является установление вполне определенного режима обтекания лопастей, который влияет на величину и направление вызванных скоростей. Это выражается в следующем: абсолютная скорость на выходе из лопастной системы должна быть больше ее значения на входе. Для элементарной кольцевой струйки тока такое увеличение может осуществляться за счет использования определенного профиля, характеризующегося изменением угла входа потока в лопасть и выхода из нее.

Выводы

1. Обоснована возможность применения уравнения Бернулли к исследованию гидромеханических характеристик потока, проходящего сквозь лопастную систему устройства для очистки каверн.
2. Показано распределения поля скоростей потока в абсолютном и относительном движениях промывочной жидкости.
3. Аналитически доказана необходимость гидромеханического подхода к решению задач проектирования геометрии лопастей устройства.

The subject of the article are questions of motion of bore mud through the system of impeller blades of device for cleaning of cavities. Distribution of speeds is shown during work of executive branch of the designed mechanism. The terms of application of the worked out device are analytically reasonable for treatment of cavity area.

Key words: bore hole, device for treatment, linkwork, bore mud, speed, impeller blade, energy.

Розглянуто питання руху промивальної рідини крізь систему лопатей пристрою для очищення каверн. Показано розподіл швидкостей обумовлених роботою виконавчого органу проєктованого механізму. Аналітично обґрунтовано умови застосування розробленого пристрою для обробки кавернозної зони.

Ключові слова: свердловина, пристрій для обробки, шарнірний механізм, промивальна рідина, швидкість, лопать, енергія.

Литература

1. Давиденко А. Н., Игнатов А. А., Яцык В. В. Усовершенствование устройства для обработки скважины // Научный вестник НГУ. – 2008. – № 4. – С. 36–37.
2. Федяевский К.К. Гидромеханика / К. К. Федяевский, Я. И. Войткунский, Ю. И. Фадеев – Л. : Судостроение, 1968. – 568 с.
3. Насосы, вентиляторы, компрессоры / А.Н. Шерстюк. – М.: Высшая школа, 1972. – 338 с.
4. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 639 с.
5. Гидромеханика / М.Я. Алферьев – М. : Речной транспорт, 1961. – 327 с.

Поступила 18.05.15

УДК 622.24

А. Н. Давиденко, д-р техн. наук, А. А. Игнатов, П. П. Полищук

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск, Украина*

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ГИДРОТРАНСПОРТА КЕРНА ПОТОКОМ ВЯЗКО- ПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ

Представлен анализ теории и практики бурения с гидротранспортом керна. Показаны направления совершенствования технологии бурения и поставлены задачи, решение которых позволит более эффективно применять указанную технологию. Изучены вопросы взаимодействия глинистых пород с различными очистными агентами.

Ключевые слова: двойная колонна бурильных труб, глинистые породы, очистной агент, поверхностно-активное вещество, керн, адсорбция.

Нормальное течение процесса сооружения скважин в сложных горно-геологических условиях требует принятия специальных технологических мер, направленных на снижение интенсивности или полное исключение поглощения очистного агента, стабилизацию стенок скважины, обеспечение соответствия ресурса породоразрушающего инструмента глубине скважины.

Многочисленные производственные данные убедительно доказывают, что важным средством повышения эффективности бурения с гидротранспортом керна является выбор соответствующего очистного агента [1].

Чаще всего при бурении с использованием двойной колонны, вполне применима техническая вода, позволяющая осуществлять процесс углубления без существенных осложнений с достаточными скоростями в условиях, когда в которых при обычном колонковом способе применяют исключительно глинистый раствор; при этом отмечается даже некоторое уменьшение расхода жидкости. Однако по мере усложнения геолого-технических условий – появления в разрезе неустойчивых пород и увеличения глубин – возникает необходимость применения специальных очистных агентов и схем их циркуляции.

Очистные агенты, применяемые для бурения с гидротранспортом керна в осложненных условиях, должны обладать достаточной несущей способностью при сравнительно небольшой вязкости, низкими фильтрационными характеристиками и высокими кольматирующими свойствами. Кроме того, необходимо учитывать следующее: устойчивость обнаженных стенок скважины зависит, прежде всего, от свойств и уровня промывочной жидкости в затрубном пространстве, а также способа его поддержания. Таким многофакторным требованиям полностью отвечает глинистый раствор во всем различии его технологических свойств.

Цель настоящей работы – исследовать особенности условий применения специальных глинистых растворов при сооружении скважин с использованием двойной бурильной колонны.

Методика исследования

Поддержание стенок от обрушения является одной из основных задач, которые приходится решать при сооружении скважин. Неустойчивость ствола может проявляться различно: мягкие пластичные породы выдавливаются в ствол скважины, обваливаются и осыпаются; твердые хрупкие породы подвержены обрушению под действием статических и гидродинамических нагрузок.

Формы неустойчивости ствола, возникающие в результате взаимодействия промывочных жидкостей и глинистых пород, обязательно связаны с гидратацией. Возможны два механизма адсорбции воды на глинистых частицах: поверхностная гидратация и осмотическое набухание [2].

Согласно классификационной схеме Франк – Каменецкого глинистые минералы разделяются на четыре основных кристаллохимических типа – три слоистых и один слоисто-ленточный [3]. Слоистые структуры различаются количеством тетраэдрических и октаэдрических сеток в слое: тип 1:1 – в элементарном пакете одна двумерная сетка кремнекислородных тетраэдров сочленена с сеткой Al или Mg октаэдров; тип 2:1 – сетка октаэдров заключена между двумя сетками тетраэдров; тип 2:1:1 – каждый элементарный слой типа 2:1 сочленен с октаэдрической сеткой; тип слоисто-ленточной структуры – две сдвоенные (пальгорскит) или строенные (сепиолит) кремнекислородные цепочки пироксенового типа соединяются друг с другом в ленты катионами Mg^{2+} и Al^{3+} в октаэдрической координации.

В качестве объектов исследования использовали натриевый монтмориллонит, пальгорскит и гидрослюда Черкасского месторождения. Химический состав объектов определяли обычным аналитическим анализом силикатных пород. Установили, что глинистые минералы различаются способом их сочленения в пакеты, природой и энергией взаимосвязи последних, характером заселения тетраэдрической и октаэдрической сеток и др. Это обуславливает разнообразие коллоидно-химических свойств отдельных представителей перечисленных пород. Для определения адсорбционных характеристик глинистых минералов использовали изотермы адсорбции метанола и воды.

Результаты лабораторных исследований адсорбционных свойств и определения предельного адсорбционного объема V_s глинистых минералов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Предельный адсорбционный объем (V_s) глинистых минералов

Глинистый минерал	$V_s, \text{ см}^3/\text{г}$	
	Вода	Метанол
Черкасский монтмориллонит	0,3	0,32
Черкасская гидрослюда	0,25	0,3
Черкасский пальгорскит	0,45	0,48

Как показали результаты исследований, изотермы адсорбции имеют S-образный вид. Адсорбция сопровождается расширением адсорбента, а значит, суммарная интегральная свободная энергия адсорбции должна рассматриваться как состоящая из двух компонентов – молярной свободной энергии адсорбции и свободной энергии, связанной с расширением сорбента (работа расширения).

При адсорбции воды на натриевом монтмориллоните значительно увеличивается его объем, но вода на поверхности глины удерживается слабо. У палыгорскита адсорбция воды сопровождается кристаллическим и осмотическим набуханием. Для гидрослюдистых глин отмечено только кристаллическое набухание.

Присутствие в составе промывочной жидкости химических веществ может существенно влиять на характер адсорбционных процессов. Для выбора веществ, способных вытеснить с поверхности глинистых пород адсорбированную воду, целесообразно использовать условие равенства потенциалов ионизации адсорбента и адсорбата.

Изучив адсорбцию анилина ($I = 7,7$ эВ), резорцина ($I = 8,31$ эВ) и бензойной кислоты ($I = 9,4$ эВ), пришли к выводу, что хемосорбироваться на глинистом сланце способен лишь резорцин, образующий с поверхностью более прочную химическую связь, чем водородная связь молекул воды, подобная ковалентной.

При контакте с водой или водными растворами глины в отличие от других горных пород самопроизвольно переходят из твердого состояния в пастообразное. В результате некомпенсированных молекулярных сил на поверхности глинистых минералов образуются сольватные (гидратные) слои и прирастается объем частиц. Этот процесс (набухание) сопровождается развитием давления набухания или расклинивающим давлением и выделением теплоты набухания.

Основную роль в межпакетном набухании и образовании сольватных (гидратных) слоев на внешних поверхностях глинистых минералов играют адсорбционные силы.

Количество жидкости, связываемой глиной и вызывающей увеличение объема ее частиц, не зависит от пористости сухого порошка. Коэффициент набухания, равный отношению объема жидкости набухания $V_{ж}$ к объему сухих частиц глины V_0 , определяют по формуле [4]

$$K = \frac{\rho \cdot a}{m} + tg(\beta - 1), \quad (1)$$

где ρ – плотность сухой глины; m – масса навески пробы; β – коэффициент, показывающий, какая доля объема порового пространства сохраняется в набухшей пробе; a – коэффициент, зависящий от свойств глины и величины β .

Для исследования влияния промывочных жидкостей на набухание глинистых пород в елях характеристики этого процесса использовали степень набухания K , равную отношению суммы объемов $V_{ж} + V_0K$, показывающей во сколько раз увеличился объем сухих частиц. Поскольку набухание глин исследовали в промывочных жидкостях, содержащих различные вещества, в качестве эталонной жидкости использовали дистиллированную воду. Процесс набухания изучали на черкасском монтмориллоните ($I_p = 10,2$ эВ), а поскольку характер зависимости для остальных глин примерно одинаков, результаты обобщили и распространили на все остальные глины.

Результаты лабораторных исследований влияния промывочных жидкостей на набухание черкасского монтмориллонита приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Влияние органических веществ на набухание черкасского монтмориллонита

Основа	Промывочная жидкость		Продолжительность взаимодействия, мин	Степень набухания, %
	Название	Потенциал ионизации, эВ		
Дистил. вода	Анилин	7,7	40	100
	Резорцин	8,31	40	100
	Пиридин	9,3	40	100
	Бензойная кислота	9,4	40	100
	Бензальдегид	9,51	40	100
	Пикриновая кислота	10,2	40	100
	Нитрометан	11,23	40	14

Таблица 3. Влияние поверхностно-активных веществ на набухание черкасского монтмориллонита

Основа	Промывочная жидкость		Время взаимодействия, мин	Степень набухания, %
	Добавка			
	Название	Содержание, %		
Дистил. вода	–	–	40	100
	Анионоактивный сульфонол	0,15	40	23
	Катионоактивный катапин-А	0,25	40	32,5
	Неионогенный феноксол	0,5	40	22

Таким образом, пикриновая кислота ($I = 10,2$ эВ), анионоактивные и неионогенные ПАВ ($I = 10,1 - 10,3$ эВ), адсорбируясь на поверхности глинистых частиц, вследствие вытеснения молекул воды с поверхности обуславливают снижение проникновения их в межпакетное пространство и тем самым снижают набухание образцов.

Результаты исследований влияния электролитов на набухание глин приведены в табл. 4.

Таблица 4. Зависимость набухания черкасского монтмориллонита от содержания электролитов в промывочной жидкости

Основа	Промывочная жидкость		Продолжительность взаимодействия, мин	Степень набухания, %
	Добавка			
	Название	Содержание, %		
Дистил. вода	–	–	40	100
	Силикат натрия	5	40	50
	Бихромат натрия	0,1	40	28
	Сульфат кальция	0,2	40	30
	Алюминат натрия	0,5	40	52

Согласно полученным результатам анализа электролиты по-разному влияют на набухание системы глина – жидкость. Для большинства глин зависимость влияния электролитов на набухание носит общий качественный характер независимо от состава обменных ионов.

В результате ранее проведенных исследований [1] была получена формула, определяющая циркуляционные характеристики движения зерна в вязкопластичной жидкости:

$$u_e = \sqrt{\frac{2l_e g(\rho_e - \rho)(1 - \tau F)^2}{\rho C_x K_1^2}}, \quad (2)$$

где u_k – относительная скорость движения зерна (относительно жидкости); l_k – длина зерна, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ρ_k и ρ – плотность зерна и промывочной жидкости соответственно, кг/м³; τ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и стеснения поперечного сечения трубы; F – отношение площади сечения потока в трубе к миделевой площади зерна; C_x – коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела и параметра Рейнольдса; K_1 – коэффициент неравномерности скорости потока по его сечению, зависящий от параметра Рейнольдса.

В связи с тем что зерно, находящийся в призабойной зоне в интервале коронки, способен активно взаимодействовать с циркулирующим очистным агентом и его фильтратом, естественно его плотность в результате гидратации значительно повышается. Зависимости относительной скорости зерна u_k при переменной плотности ρ_k показаны на рис. 1.

Данные рис. 1 свидетельствуют о том, что относительная скорость зерна значительно повышается с увеличением его плотности. Следовательно, для обеспечения бесперебойной транспортировки образцов породы значительной плотности необходимо стремиться к минимальному кольцевому зазору между зерном и трубой.

Практика буровых работ показывает следующее: увеличение плотности зерна вследствие его гидратации способствует увеличению линейных размеров породных образцов, что выражается в повышении линейного «выхода» зерна. Зависимости, определяющие изменение относительной скорости зерна u_k при варьировании его линейных размеров l_k , показаны на рис. 2.

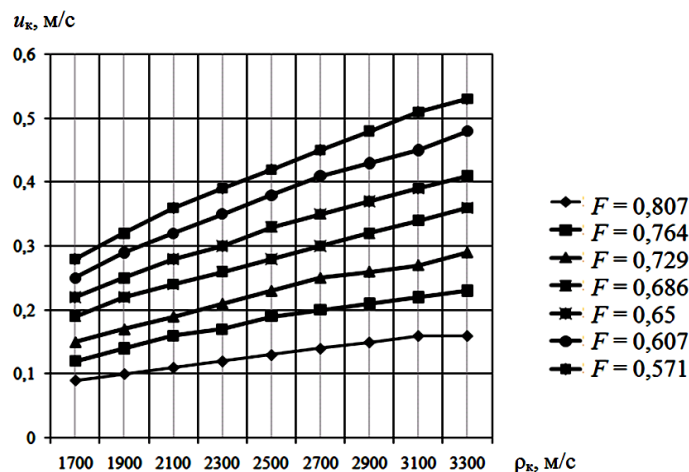


Рис. 1 Зависимость $u_k = f(\rho_k)$

Графические зависимости, показанные на рис. 2 наглядно свидетельствуют о значительном росте относительной скорости керна при изменении его линейных размеров. Таким образом эффективная транспортировка керна возможна только при его определенной длине ($l_{\max} = const$), поперечном размере образцов.

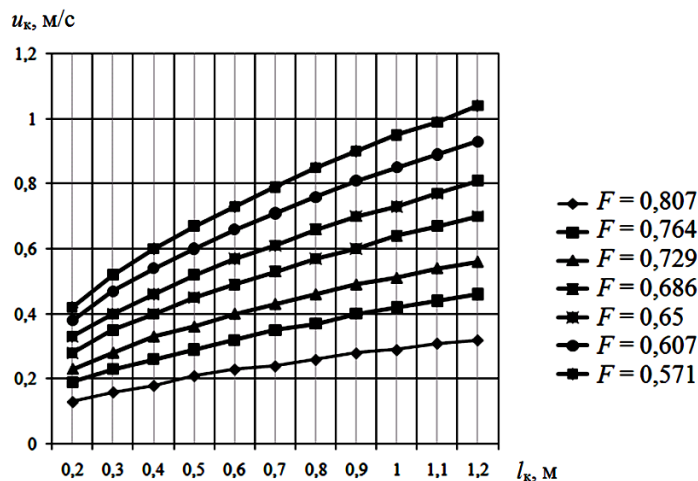


Рис. 2 Зависимость $u_k = f(l_k)$

Выводы

1. Проанализированы основные условия ведения буровых работ при эксплуатации установок с гидротранспортом керна.
2. Определено активное взаимодействие очистного агента и породных образцов, сопровождающееся гидратацией и в конечном итоге приводящее к изменению плотностных и геометрических характеристик керна.
3. Изучен характер влияния плотности и линейных размеров керна на относительную скорость u_k .

The subject of the article is the analysis of theory and practice of the boring drilling is presented with the hydraulic conveying of core. Directions of perfection of technology of the boring drilling are shown and the row of tasks the decision of which will allow more effectively to apply the indicated technology is put. The questions of co-operation of clay breeds are studied with different cleaning agents.

Key words: double column of borings pipes, clay breeds, cleaning agent, surfactant, core, adsorption.

Представлено аналіз теорії та практики технології буріння із гідротранспортом керна. Показано напрямки удосконалення способу буріння та поставлено ряд задач, вирішення яких дозволить більш ефективно використовувати зазначений метод. Вивчено питання взаємодії глинистих порід із різними промивальними рідинами.

Ключові слова: подвійна колона бурильних труб, глинисті породи, очисний агент, поверхнево-активна речовина, керн, адсорбція.

Литература

4. Давиденко А.Н. Прямая и обратная схемы очистки при бурении скважин / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2012. – 101 с.
5. Сеид-Рза М.К. Устойчивость стенок скважины / М.К. Сеид-Рза, Ш.И. Исмайылов, Л.М. Орман. – М.: Недра, 1981. – 175 с.
6. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах / Ю.И. Тарасевич, Ф.Д. Овчаренко. – К.: Наукова думка, 1975. – 351 с.
7. Круглицкий Н.Н. Физко-химические основы регулирования свойств дисперсии глинистых минералах / Н.Н. Круглицкий. – К.: Наук. думка, 1968. – 320 с.

Поступила 18.05.15

УДК 622.24

А. Н. Давиденко, д-р техн. наук, **А. А. Игнатов**

*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,
г. Днепропетровск, Украина*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ ОЧИСТНЫХ АГЕНТОВ ПРИ РАБОТЕ ЦЕПНЫХ ДОЛОТ

Кратко описана конструкция дисковых долот. Детально рассмотрены особенности цепных бурильных головок. Показана перспективность их применения. Приведены некоторые результаты исследования влияния промывочных жидкостей на работу цепного инструмента.

Ключевые слова: шарошечная бурильная головка, система опоры, механизм разрушения, зубчатая цепь, горная порода, подшипник, износ, поверхностно-активное вещество.

Введение

В технике бурения, а также смежных отраслях трудно найти аналогичный инструмент, условия работы которого были бы такими же сложными и практически неконтролируемыми, как у шарошечных долот. Значительная энергоемкость разрушения горных пород способствует высокой степени силовой загруженности элементов конструкции долот, особенно опор шарошек (в подавляющем большинстве подшипников).

В противоположность шарошечным долотам фрезерные дисковые позволяют при одном и том же диаметре долота разместить более мощную опору шарошки – наиболее уязвимого узла инструмента, износ и разрушение которого является одной из основных причин выхода долот из строя и их преждевременного подъема с забоя скважины [1]. В свою очередь это приводит к увеличению продолжительности вспомогательных операций, составляющих значительную долю затрат в общем балансе сроков сооружения скважин. К тому же, количество оборотов дисков фрезерных долот значительно меньше этого параметра для шарошек стандартизированного инструмента, что, в свою очередь, положительно влияет на стойкость их опор и способствует кратному увеличению продуктивности последних.

Усиление опорного узла позволило предложить к применению такую разновидность дисковых фрезерных долот, как цепные, обладающих одной из ярких отличительных особенностей, а именно увеличенной рабочей площадью [2].

Цель настоящей работы – проанализировать особенности цепного инструмента на примере бурильной головки соответствующей конструкции и влияние технологических параметров очистного агента на эффективность работы указанного инструмента при углублении забоя.

Методика исследования

Примером обозначенного конструктивного подхода к проектированию фрезерных долот современного исполнения является бурильная головка, включающая цилиндрический корпус с размещенными по его боковой поверхности лапами, на которых закреплены породоразрушающие органы; последние выполнены в виде цепей и пар наружных и внутренних дисков, закрепленных в