

УДК 622.243.133

А. А. Игнатов

ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

Аналитические исследования скорости движения керна в вязкой жидкости

Представлен краткий анализ теории и практики бурения с гидротранспортом керна. Показаны направления совершенствования технологии бурения и поставлен ряд задач, решение которых позволит более эффективно применять указанную технологию. Изучены зависимости для определения относительной скорости керна.

Ключевые слова: двойная колонна бурильных труб, гидравлические сопротивления, относительная скорость, перепад давления, динамика керна.

Введение

В общем виде технологический процесс бурения скважин с применением двойной бурильной колонны отличается от традиционного колонкового способа бурения отсутствием периодического подъема на поверхность забойного снаряда для извлечения из колонковой трубы керна. Снаряд поднимают лишь для замены пришедшего в негодность породоразрушающего инструмента или в аварийных ситуациях.

Главная особенность технологии – применение принципиально иной схемы циркуляции. Очистной агент подается насосом через напорный шланг системы промывки и сальник в кольцевой канал двойной бурильной колонны, доходит до коронки и, подхватив разбуренную породу, поднимается по центральному каналу на поверхность. Минимальный переток промывочной жидкости в затрубное пространство или полное его отсутствие обеспечивается перекрытием центрального отверстия коронки, поступающим из – под ее торца керношламовым материалом. Изолирующие качества выбуренной породы позволяют реализовать внутреннюю циркуляцию промывочной жидкости при бурении с гидротранспортом керна. Порода в сочетании с элементами коронки образует пакер, работоспособность которого определяет стабильность внутренней циркуляции и всего процесса бурения [1–3].

При бурении скважин с непрерывным выносом керна восходящим потоком возникает необходимость определения такого расхода промывочной жидкости, при котором бы обеспечивалась полная очистка забоя от разрушенной породы и соблюдались заданные условия транспортировки керна по внутреннему каналу двойной бурильной колонны [4].

Закономерности движения твердого тела плохобтекаемой формы (каким и является керн) в восходящем потоке промывочной жидкости в условиях малых зазоров между керном и трубой в настоящее время малоизучены.

В работе [5] рассматриваются вопросы транспортирования частиц горных пород в форме дисков, удлинённых частиц и их осколков. Наиболее полно вопросы транспортирования керна по двойной колонне бурильных труб рассмотрены в работах [6–8]. В ВИТРе (ныне Всероссийский институт методики и техники разведки) были проведены теоретические и экспериментальные исследования условий подъема керна и характеристик его обтекания при малых зазорах между керном и трубой.

Эксперименты по исследованию движения керна в восходящем потоке промывочной жидкости проводились на натурной 30 – метровой модели двойной бурильной колонны с линейными размерами, позволяющими обеспечить достаточную длину измеряемого участка.

В результате исследований была получена формула (1) для определения относительной скорости керна (относительно жидкости), при допущении, что керн находится в состоянии равновесия, т. е. сумма всех действующих на керн сил равна нулю; движение жидкости и керна установившееся.

$$u_{\kappa} = \sqrt{\frac{\rho_{\kappa} - \rho}{\rho} - 2gl_{\kappa} \frac{(1-F)}{F^2 + C_x K_l^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau F}\right)^2 + \frac{\lambda_{\kappa n} \cdot l_{\kappa}}{d_2}}}, \quad (1)$$

где ρ_{κ} и ρ – плотность зерна и промывочной жидкости соответственно, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; l_{κ} – длина зерна, м; F – отношение площади сечения потока в трубе F_0 к миделевой площади зерна F_m ; C_x – коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела и параметра Рейнольдса; K_l – коэффициент неравномерности скорости потока по его сечению, зависящий от параметра Рейнольдса; τ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и стеснения поперечного сечения трубы; $\lambda_{\kappa n}$ – безразмерный коэффициент сопротивления по длине зерна; d_2 – гидравлический диаметр канала, м.

Приведенная выше формула является достаточно сложной из – за большого количества параметров входящих в нее, кроме того, она непригодна в практических расчетах т.к. требует знания скорости зерна, которую можно определить только опытным путем, а, следовательно, не имеет предсказательной силы.

Цель работы

Аналитическое исследование зависимостей, определяющих скорость движения зерна по внутреннему каналу двойной бурильной колонны, при использовании в качестве очистного агента вязкой (ньютоновской) жидкости.

Основной материал

Как известно, вода относится к ньютоновским жидкостям, т.е. жидкостям, подчиняющимся закону вязкости Ньютона. Для таких жидкостей различают два режима течения: ламинарный и турбулентный. При первом режиме течения отдельные струйки жидкости движутся параллельно друг другу, не перемешиваясь. Эюра скоростей при ламинарном режиме движения представляет собой равнобокую параболу. В центре трубы скорость максимальна, у стенок равна нулю. Второй режим движения протекает с активным смешиванием струй потока [9].

Безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda_{\kappa n}$ при промывке ньютоновской жидкостью можно рассчитать по формуле Блазиуса [9]:

$$\lambda_{\kappa n} = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re_{\kappa n}}}, \quad (2)$$

где $Re_{\kappa n}$ – безразмерный параметр Рейнольдса, определяющий режим течения ньютоновской жидкости в кольцевом пространстве:

$$Re_{\kappa n} = \frac{V_{\kappa\kappa}(D_6 - d_{\kappa})}{\nu} \quad (3)$$

где $V_{\kappa\kappa}$ – скорость потока относительно зерна в кольцевом зазоре, м/с; D_6 – внутренний диаметр наружных труб, м; ν – кинематический коэффициент вязкости, м/с².

Формула (2) дает удовлетворительные значения $\lambda_{\kappa n}$ для чисел Рейнольдса лежащих в диапазоне $1 < Re < 10^5$.

В уравнение (1) входит слагаемое $\frac{\lambda_{\kappa n} \cdot l_{\kappa}}{d_2}$, определяющее величину гидравлических сопротивлений в кольцевом зазоре «зерно – труба».

В табл. 1 приведены значения отношения площади сечения потока в трубе F_0 к миделевой площади зерна F_m для образцов породы, диаметр которых лежит в пределах $d_{\kappa} = 0,038 \div 0,042$, что характерно для большинства геологических разрезов, изучаемых с помощью комплексов КГК – 100(300).

Таблиця 1 – Значения отношения площади сечения потока в трубе F_0 к миделевой площади керна F_m

F_m	0,00113	0,00107	0,00102	0,00096	0,00091	0,00085	0,0008	0,000875	0,00071	0,00067	0,00062
F_0	0,0014										
F	0,807	0,764	0,729	0,686	0,69	0,607	0,571	0,536	0,507	0,479	0,443

На рис. 1 показана полностью схема распределения скоростей в кольцевом пространстве образованном внутренней трубой двойной бурильной колонны и керном при движении его в восходящем потоке промывочной жидкости, а также на рис. 2 представлена зависимость коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{кн}$ от числа Рейнольдса $Re_{кн}$ при граничных зазорах F ($F = 0,807; 0,571$).

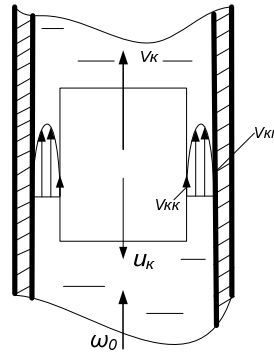


Рис. 1. Схема распределения скоростей при движении керна в восходящем потоке промывочной жидкости

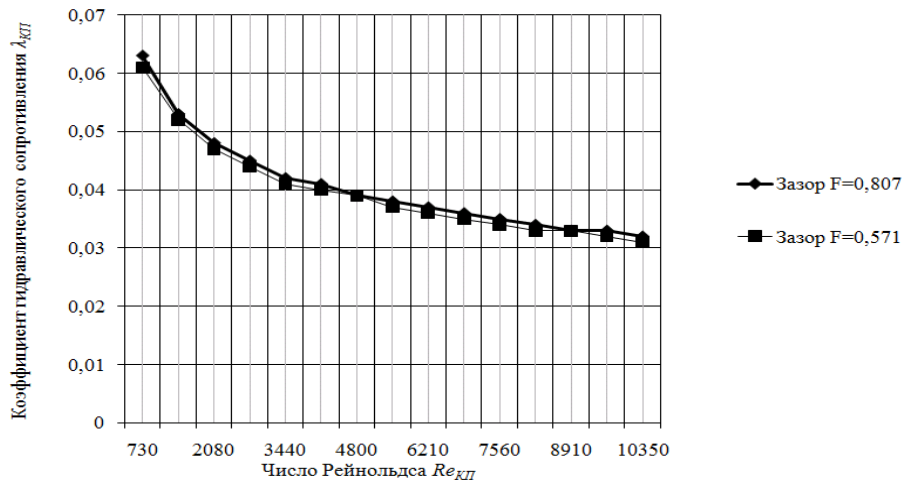


Рис. 2. Зависимость $\lambda_{кн} = f(Re_{кн})$ при $F = 0,807; 0,571$, очистной агент – вода (ньютоновская жидкость)

Расчеты выполнены в широком диапазоне значений относительной скорости керна u_k , скоростей потока в кольцевом канале относительно трубы $V_{кп}$ и скоростей потока в кольцевом канале относительно керна $V_{кк}$.

Как видно из графика (рис. 2) значения и изменение величины коэффициента гидравлического сопротивления кольцевого пространства «кern – труба» при изменении зазора F незначительны и при больших числах Рейнольдса величина его становится практически постоянной.

В табл. 2 приведены результаты расчета относительной скорости керна u_k с учетом различных параметров.

Таблица 2 – Относительные скорости керна u_k с учетом разных параметров, определяющих перепад давления на транспортировку образцов породы

Величина зазора F	Учитываемый параметр в уравнении определения относительной скорости керна			
	P_L	$P_L + P_K$	$P_L + P_K + P_B$	$P_L + P_K + P_B + P_{BX}$
0,807	0,22	0,20	0,20	0,19
0,764	0,31	0,28	0,28	0,27
0,729	0,38	0,35	0,34	0,33
0,686	0,47	0,44	0,43	0,41
0,65	0,55	0,54	0,49	0,47
0,607	0,64	0,59	0,57	0,56
0,571	0,71	0,66	0,64	0,62

Расчеты выполнены при условии, что $\rho_k = 2500 \text{ кг/м}^3$ (такая плотность характерна для большинства образцов, слагающих толщи осадочных и метаморфических пород – в подавляющем большинстве случаев перебуриваемых комплексами КГК).

Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод, что существенное влияние на относительную скорость керна оказывают только силы лобового сопротивления и гидравлического сопротивления на выходе потока из кольцевого зазора «кern – труба».

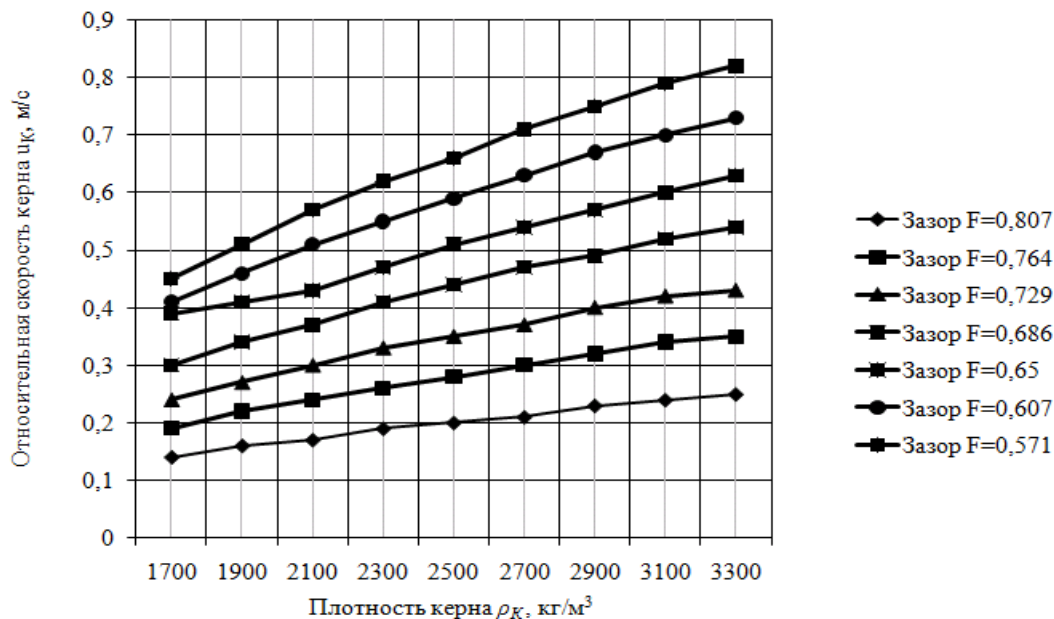
Следовательно, уравнение (1) можно представить в виде:

$$u_k = \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k} \frac{(1-F)^2}{C_x K_1^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau F}\right)^2 + F^2} \quad (4)$$

Указанная формула справедлива, когда длина керна не превышает 0,2 м, что обеспечивается конструкцией кернолома.

При бурении скважин с двойной колонной бурильных труб, по центральному каналу транспортируется kern различной плотности и длины. Как указывается в ряде работ [2 – 4], на практике линейный выход керна, например при бурении по глинам и алевролитам, увеличивается в 5 – 6 раз. Исследование влияния указанных факторов на относительную скорость керна позволит правильно подбирать режим промывки скважин.

Известно, что в формулу определения относительной скорости керна при циркуляции ньютоновской жидкости (1, 4) входит составляющая ρ_k – плотность керна. Характер влияния плотности керна на его относительную скорость показан на рис. 3.

Рис. 3. Зависимость $u_k = f(\rho_k)$ при $F = 0.807 \div 0.571$, очистной агент – вода

Анализируя графические данные (рис. 3) можно сделать вывод, что относительная скорость зерна u_k возрастает как с увеличением плотности зерна при постоянном F (отношении площади сечения потока в трубе F_0 к миделевой площади зерна F_m), так и при постоянной плотности с увеличением зазора «кern – труба», причем интенсивность нарастания u_k в большей мере определяется именно увеличением зазора между kernом и внутренней трубой.

На рис. 4–5 приведены результаты расчетов относительной скорости зерна при его переменной длине от 0,2 до 1,2 м, расчеты произведены с учетом промывки скважин ньютоновской жидкостью. Следует заметить, что аналитические вычисления были проведены с учетом влияния различных составляющих перепада давления на транспортировку зерна.

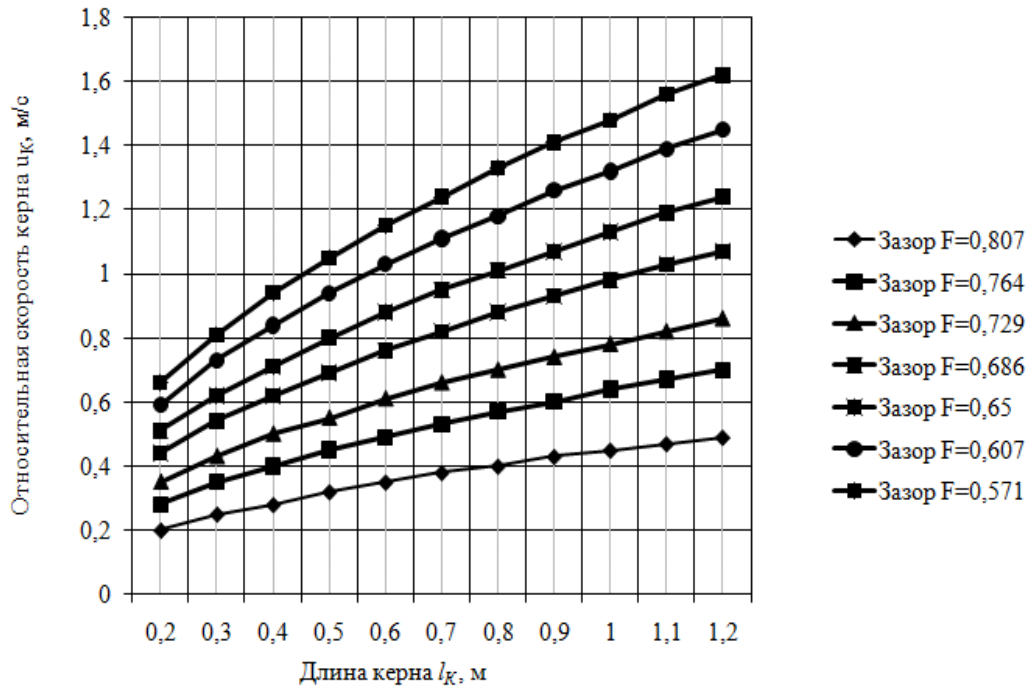


Рис. 4. Зависимость $u_k = f(l_k)$ при $F = 0.807 \div 0.571$, с учетом P_L и P_B , очистной агент – вода

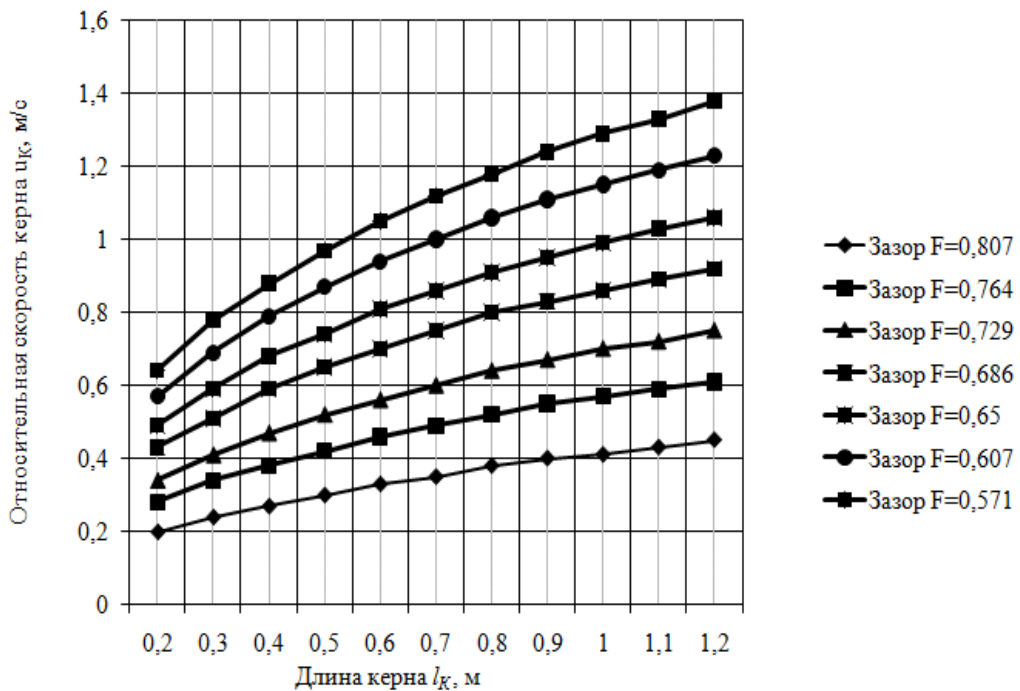


Рис. 5. Зависимость $u_k = f(l_k)$ при $F = 0.807 \div 0.571$, с учетом P_L , P_K и P_B , очистной агент – вода

По результатам приведенных данных можно сделать вывод, что по мере роста зазора F и собственно длины керна относительная скорость последнего увеличивается; в тоже время наибольшее влияние на рост u_k оказывает именно параметр F .

Как указывалось выше, формула вычисления относительной скорости керна (4) справедлива, когда длина транспортируемого образца не превышает 0,2 м. В результате аналитических исследований была получена формула для определения относительной скорости керна u_k , при длине образцов породы превышающей 0,2 м.

$$u_k = m \cdot \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1-F)^2}{C_x K_1^2 \left(\frac{1-F}{1-\tau F}\right)^2 + F^2}}, \quad (5)$$

где m – поправочный коэффициент, зависящий от длины транспортируемого керна, значения которого приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Поправочный коэффициент m

Тип очистного агента	Длина керна l_k , м					
	0,2 – 0,4	0,4 – 0,7	0,7 – 0,9	0,9 – 1,0	1,0 – 1,1	1,1 – 1,2
Вода	0,96	0,92	0,9	0,88	0,87	0,86

Коэффициент m физически характеризует вклад силы P_K в относительную скорость керна u_k (табл. 4).

Таблица 4 – Процентный вклад силы P_K в относительную скорость керна u_k

F	Длина керна l_k , м										
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,807	0	4	4	6	6	8	5	7	9	9	8
0,764	0	3	5	7	6	8	9	8	11	12	13
0,729	3	5	6	6	8	9	9	10	10	12	13
0,686	2	6	5	6	8	9	9	11	12	14	14
0,65	4	5	4	8	8	10	10	11	12	13	15
0,607	3	6	6	7	9	10	10	12	13	14	15
0,571	3	4	6	8	9	10	11	12	13	15	15

Выводы

1. Изучен характер влияния составляющих перепада давления (P_L , P_K , P_B , P_{BX}) на скорость транспортировки керна при промывке скважин вязкой жидкостью.
2. Показана зависимость безразмерного коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{кп}$ (относительно керна) от величины числа Рейнольдса ($Re_{кп}$), определяющего режим движения жидкости, в данном случае, в кольцевом зазоре.
3. Расчетами показано, что $\lambda_{кп}$ является функцией нескольких переменных, определяющими из которых являются F (отношение площади сечения потока в трубе F_0 к миделевой площади керна F_m) и $Re_{кп}$. Причем, $Re_{кп}$ здесь выступает как результат скоростных соотношений в паре «кern – поток жидкости». Кроме того, значительных изменений $\lambda_{кп}$ претерпевает только при изменении скорости течения жидкости в кольцевом зазоре между керном и трубой, увеличение же самого кольцевого зазора влияние на значение $\lambda_{кп}$ практически не оказывает.
4. Сравнительным анализом доказано, что определяющими параметрами в величине относительной скорости керна u_k являются силы: P_L – сила лобового сопротивления и P_B – сила гидравлического сопротивления на выходе потока из кольцевого зазора «кern – труба». Это обстоятельство позволило получить уточненную формулу определения u_k , которая отличается простотой и возможностью получения скоростных характеристик образцов породы без принятия определенных значительных допущений.

5. Изучено влияние геометрических размеров ядерной магистрали, плотности и длины образцов породы на скорость движения ядра u_k . Расчетами показано, что относительная скорость ядра возрастает как с увеличением плотности ядра при постоянном F , так и при постоянной плотности с увеличением зазора «ядро – труба», причем интенсивнее скорость ядра растет с увеличением зазора между ядром и внутренней трубой. Следовательно, для обеспечения бесперебойной транспортировки образцов породы значительной плотности необходимо стремиться к минимальной величине кольцевого зазора между ядром и трубой. Оценено влияние на относительную скорость ядра u_k длины образцов породы. Доказано, что рост зазора F и длины ядра l_k вызывает увеличение относительной скорости образцов породы, однако наибольшее влияние на величину амплитуды u_k оказывает именно параметр F . Данное обстоятельство свидетельствует о том, что эффективная транспортировка ядерного материала возможна только при его определенной длине ($l_{max} = \text{const}$), для некоторой величины поперечного размера образцов, и как следствие зазора F .
6. В результате расчетов получена формула, определяющая относительную скорость ядра u_k для образцов породы, длина которых лежит в интервале $0,2 \div 1,2$ м.

Бібліографічний список

1. Разведочное бурение / [А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский и др.]. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
2. Волков А.С. Бурение скважин с обратной циркуляцией промывочной жидкости / А.С. Волков, А.А. Волокитенков. – М.: Недра, 1970. – 184 с.
3. Дерусов В.П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин / В.П. Дерусов. – М.: Недра, 1984. – 184 с.
4. Кардыш В.Г. Основные направления совершенствования технических средств для бурения с гидротранспортом ядра и шлама / В.Г. Кардыш, И.В. Кузьмин, Ю.Т. Смирнов // Техника и технология бурения с гидротранспортом ядра и шлама. – Л.: ВИТР, 1985. – С. 63 – 64.
5. Бородацкий И.Г. О транспортировании восходящим вертикальным потоком жидкости дробленого ядра трещиноватых и слоистых пород / И.Г. Бородацкий // Труды Сев. Кавказского гос. НИИ нефтяной промышленности. – 1974. – вып. 31. – С. 18 – 24.
6. Глухов В.И. Движение ядра в восходящем потоке промывочной жидкости / В.И. Глухов, А.И. Кукес, А.А. Петров // Совершенствование и внедрение технологии промывки и тампонирувания скважин в условиях Восточной Сибири и Крайнего Севера. – М.: ВПО «Союзгеотехника», 1987. – С. 57 – 65.
7. Методика выбора производительности насоса при бурении с гидротранспортом ядра / [С.С. Хворостовский, И.С. Хворостовский, А.Ю. Ключников, Е.В. Малинин] // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2001. – № 6. – С. 130 – 136.
8. Смолдырев А.Е. Гидро- и пневмотранспорт ядра по буровым трубам / А.Е. Смолдырев // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2002. – № 4. – С. 97 – 103.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Надійшла до редакції 14.12.2012

О. О. Ігнатів

ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, Україна

Аналітичні дослідження швидкості руху ядру у в'язкій рідині

Представлений короткий аналіз теорії і практики буріння з гідротранспортом ядра. Показані напрями вдосконалення технології буріння та поставлено ряд завдань, рішення яких дозволить ефективніше застосовувати вказану технологію. Вивчені залежності для визначення відносної швидкості ядра.

Ключові слова: подвійна колона бурильних труб, гідравлічні опори, відносна швидкість, перепад тиску, динаміка ядра.

A. Ignatov

National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

Analytical Research of Core's Speed in Viscous Fluid

The subject of the article is the analysis of theory and practice of boring drilling with hydraulic conveying of core. Directions of improving the technology of boring drilling are shown and the number of tasks, the solution of which will allow applying more effectively this technology, are considered. Dependences are studied to determine the relative speed of a core.

Key words: double column of borings pipes, hydraulic resistances, relative speed, change of pressure, dynamics of core.