

УДК 622.243

А. Н. Давиденко, А. А. Игнатов

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КЕРНА ПРИ ЦИРКУЛЯЦИИ ВЯЗКО- ПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕГО ГИДРОТРАНСПОРТЕ

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

Промывочные жидкости для бурения с гидротранспортом керна в осложненных условиях должны обладать высокой несущей способностью при сравнительно небольшой вязкости, низким фильтрационным расходом и хорошими кольматирующими свойствами; кроме того, по мере усложнения геолого-технических условий, появления в разрезе неустойчивых пород и увеличения глубин, возникает необходимость применения специальных жидкостей к которым, прежде всего, относятся глинистые растворы (неньютоновские жидкости).

Характер движения вязкопластичных жидкостей по сравнению с ньютоновскими имеет ряд специфических особенностей. Благодаря наличию структуры, движение таких жидкостей начинается только тогда, когда величина приложенного внешнего давления становится больше некоторого определенного значения [1].

Режим движения вязкопластичных жидкостей характеризуется приближенно с помощью обобщенного параметра Рейнольдса  $Re_{КП}^*$ .

При малых скоростях движения очистного агента в пространстве под торцом коронки может установиться ламинарный режим.

При критическом значении параметра  $Re_{КП}^*$  ламинарный режим переходит в турбулентный, при котором профиль скоростей характеризуется более быстрым нарастанием скоростей у поверхности забоя, а затем и более равномерным их распределением.

Целью настоящей работы является исследование методики определения основных гидравлических характеристик транспортирования керна и шлама в центральном канале двойной бурильной колонны при циркуляции вязкопластичных жидкостей.

### Основной материал

Относительную скорость керна (относительно жидкости), при допущении, что керн находится в состоянии равновесия, т.е. сумма всех действующих на керн сил равна нулю, а движение жидкости и керна установившееся можно определить следующим образом [2]:

$$u_{\kappa} = \sqrt{\frac{\rho_{\kappa} - \rho - 2gl_{\kappa}}{\rho} \frac{(1-F)}{F^2 + C_x K_1^2 \left( \frac{1-F}{1-\tau F} \right)^2 + \frac{\lambda_{\kappa n} \cdot l_{\kappa}}{d^5}}}, \quad (1)$$

где  $\rho_{\kappa}$  и  $\rho$  – плотность керна и промывочной жидкости соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $l_{\kappa}$  – длина керна, м;  $F$  – отношение площади сечения потока в трубе  $F_0$  к миделевой площади керна  $F_m$ ;  $C_x$  – коэффициент лобового сопротивления тела, зависящий от формы тела и параметра Рейнольдса;  $K_1$  – коэффициент неравномерности скорости потока по

его сечению, зависящий от параметра Рейнольдса;  $\tau$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и стеснения поперечного сечения трубы;  $\lambda_{кп}$  – безразмерный коэффициент сопротивления по длине керна;  $d_c$  – гидравлический диаметр канала, м.

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

Таблица 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

Обобщенный параметр Рейнольдса рассчитывается по формуле:

$$Re_{кп}^* = \frac{V_{кк} \cdot (D_B - d_K)}{\eta + \tau_0 \cdot \frac{D_B - d_K}{6V_{кк}}}, \quad (2)$$

где  $V_{кк}$  – скорость потока относительно керна в кольцевом зазоре, м/с;  $D_B$  – внутренний диаметр внутренних труб, м;  $\eta$  – структурная или пластическая вязкость, Па·с;  $\tau_0$  – предельное динамическое напряжение сдвига, Па.

Безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления  $\lambda_{кп}^*$  при промывке глинистым раствором рассчитывают по формуле Е. М. Соловьева [1]:

$$\lambda_{кп}^* = \frac{14,6}{(Re_{кп}^*)^{0,9}}, \quad (3)$$

Схема распределения скоростей в кольцевом пространстве образованном внутренней трубой двойной бурильной колонны и керном при движении его в восходящем потоке промывочной жидкости показана на рис. 1.

Приведенная выше формула (1) является достаточно сложной из-за большого количества параметров входящих в нее, кроме того, она непригодна в практических расчетах т.к. требует знания скорости керна, которую можно определить только опытным путем, а, следовательно, не имеет предсказательной силы. Поэтому, представляет практический интерес выяснения влияния на относительную скорость керна отдельных параметров, входящих в указанную зависимость.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda_{кп}^*$  от числа Рейнольдса  $Re_{кп}^*$  при предельных зазорах  $F$ .

Характер влияния режима движения жидкости, иными словами  $Re_{кп}^*$  на величину коэффициента  $\lambda_{кп}^*$  выражается в следующем (что видно из графика, представленного на рис. 2): значение  $\lambda_{кп}^*$  увеличивается с ростом зазора «кern–труба», а при больших числах Рейнольдса становится практически незначительным. Важно также следующее – величина  $\lambda_{кп}^*$  значительна только при малых числах Рейнольдса.

Результаты расчета относительной скорости керна с учетом различных параметров входящих в формулу (1) приведены в таблице 2.

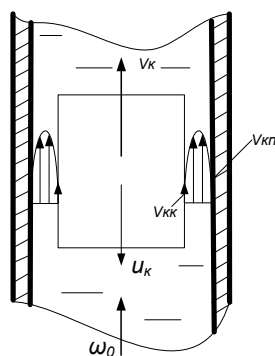


Рис. 1 Схема распределения скоростей при движении керна в восходящем потоке промывочной жидкости

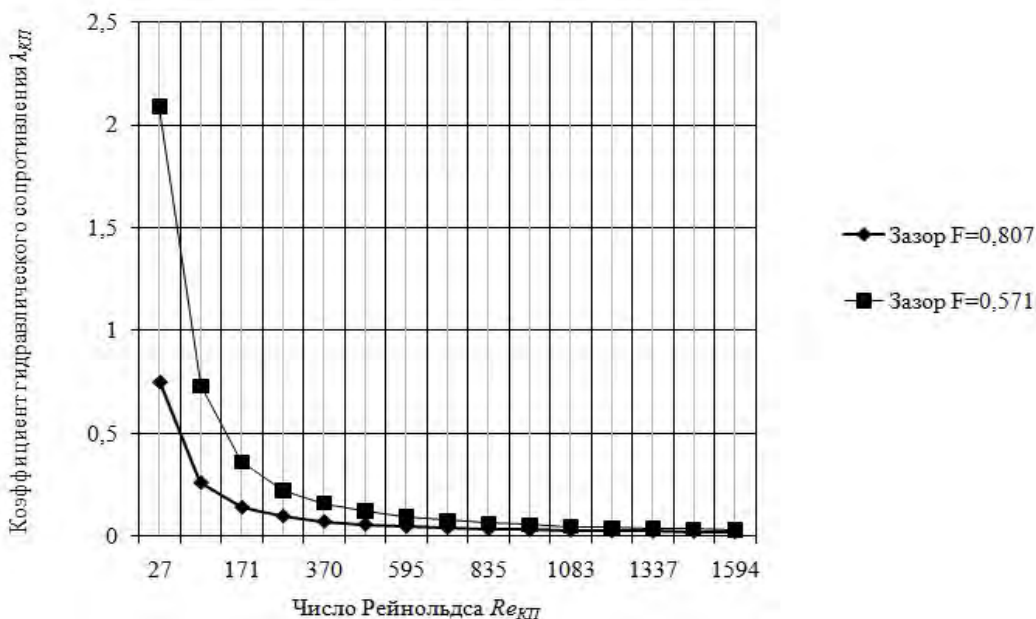


Рис. 2. Зависимость  $\lambda_{KП} = f(Re_{KП})$  при  $F = 0,807; 0,571$ , очистной агент – глинистый раствор (вязкопластичная жидкость)

Таблица 2. Относительные скорости ядра  $u_K$  с учётом разных параметров, определяющих перепад давления на транспортировку образцов породы вязкопластичной жидкостью

Величина зазора $F$	Учитываемый параметр в уравнении определения относительной скорости ядра			
	$P_l$	$P_l + P_v$	$P_l + P_v + P_k$	$P_l + P_v + P_k + P_{ex}$
0,807	0,13	0,13	0,13	0,12
0,764	0,19	0,18	0,18	0,17
0,729	0,23	0,22	0,22	0,21
0,686	0,28	0,27	0,27	0,26
0,65	0,33	0,32	0,31	0,31
0,607	0,38	0,37	0,36	0,36
0,571	0,42	0,41	0,40	0,40

Данные, приведенные в табл. 2 свидетельствуют о том, что определяющим фактором величины относительной скорости ядра является сила лобового сопротивления.

В связи со сказанным уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$u_K = \sqrt{2g \frac{(\rho_K - \rho)(1 - \tau F)^2}{\rho C_x K_1^2}} \quad (4)$$

Приведенная формула применима, когда длина ядра  $l$  не превышает 0,2 м.

Известно, что в формулу (1) определения относительной скорости ядра при циркуляции неньютоновской жидкости входит составляющая  $\rho_K$  – плотность ядра. Характер влияния плотности ядра на его относительную скорость показан на рис. 3.

Рассматривая графические данные рис. 3 можно сделать вывод, 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 (что характерно и для вязкой жидкости). Диапазон рассматриваемых плотностей образцов горных пород включает все практически возможные варианты  $\rho_K$  для геологических условий применения комплексов КГК.

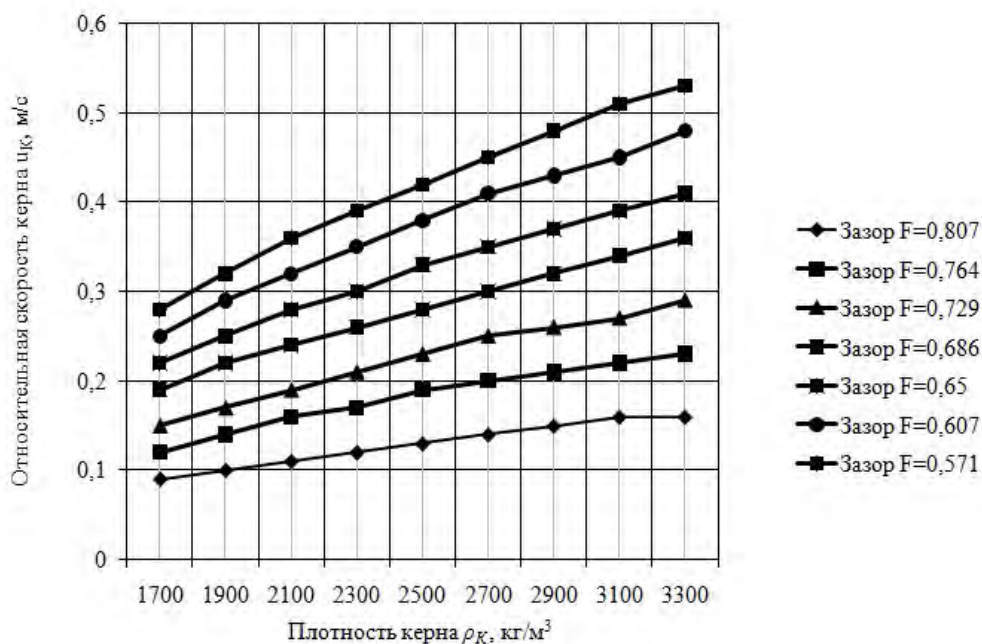


Рис. 4 Зависимость  $u_K = f(\rho_K)$  при  $F = 0,807-0,571$ , очистной агент – глинистый раствор

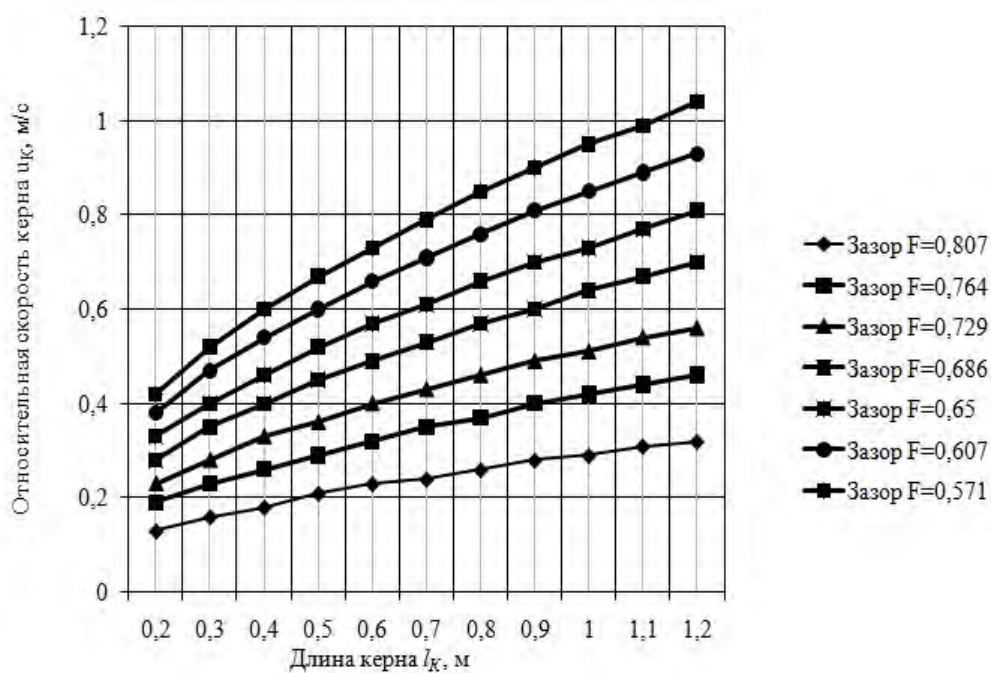


Рис.5 Зависимость  $u_K = f(l_K)$  при  $F = 0,807-0,571$ , с учетом  $P_D$ , очистной агент – глинистый раствор

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

По результатам приведенных данных можно сделать вывод, что относительная скорость кернa менее интенсивно возрастает с увеличением зазора «керна–труба», а более – с увеличением длины при постоянном зазоре  $F$ .

Как указывалось выше, формула расчета относительной скорости кернa (4) справедлива, когда длина транспортируемого кернa не превышает 0,2 м. В результате расчетов была получена формула (5) для определения относительной скорости кернa  $u_K$ , при длине образцов породы превышающей 0,2 м.

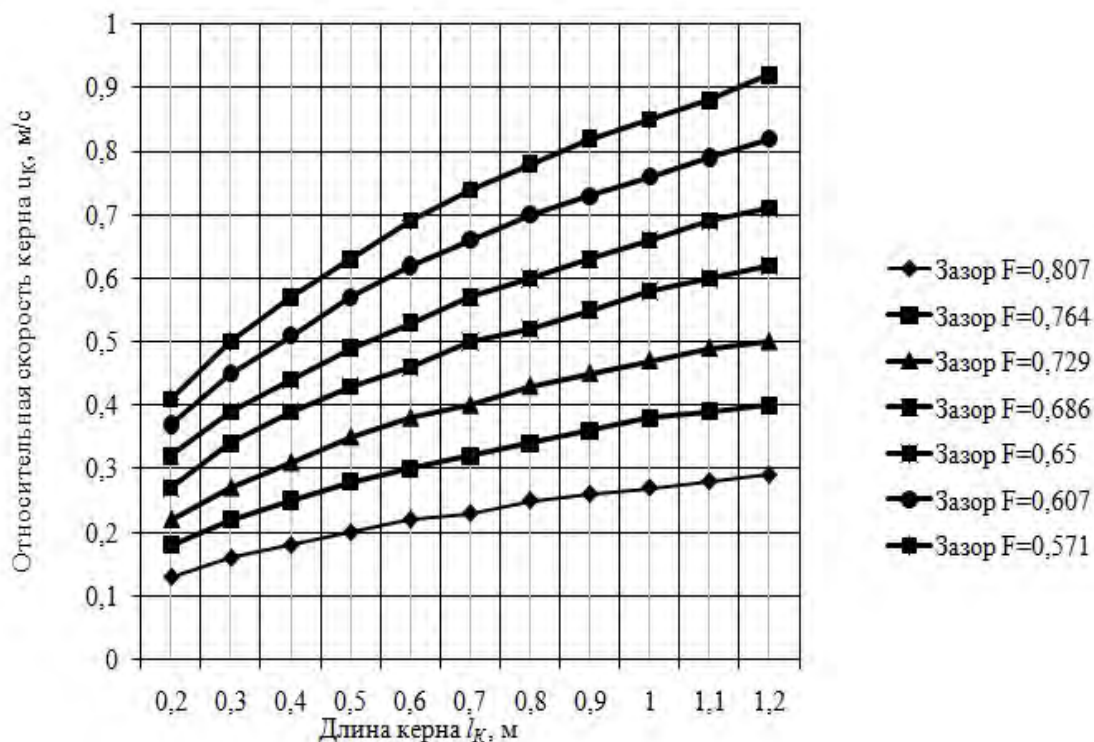


Рис. 6 Зависимость  $u_K = f(l_K)$  при  $F = 0,807-0,571$ , с учетом  $P_L$  и  $P_B$ , очистной агент – глинистый раствор

$$u_K = m \sqrt{2g \frac{(\rho_K - \rho)(1 - \tau F)^2}{\rho C_x K_1^2}}, \quad (5)$$

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

Таблица 3. Поправочный коэффициент  $m$

Тип очистного агента	Длина кернa $l_K$ , 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
Глинистый раствор	0,95	0,91	0,89	0,88	0,86	0,86

Коэффициент  $m$  физически характеризует вклад силы  $P_B$  в относительную скорость кернa  $u_K$  (табл. 4).

Таблица 4 Процентный вклад силы  $P_B$  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	0	0	5	4	4	4	7	7	10	9
0,764	5	4	4	3	6	9	8	10	10	11	13
0,729	4	4	6	3	5	7	7	8	8	9	11
0,686	4	3	3	4	6	6	9	8	9	10	11
0,65	3	3	4	6	7	7	9	10	10	10	12
0,607	3	4	6	5	6	7	8	10	11	11	12
0,571	2	4	5	6	5	6	8	9	11	11	12

### Выводы

1. Изучен характер влияния составляющих перепада давления ( $P_L$ ,  $P_K$ ,  $P_B$ ,  $P_{BX}$ ) на скорость транспортировки керна при промывке скважин вязкопластичной жидкостью.

2. Показана зависимость безразмерного коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda_{KP}^*$  (относительно керна) от величины обобщенного параметра Рейнольдса ( $Re_{KP}^*$ ), определяющего режим движения жидкости, в данном случае, в кольцевом зазоре.

3. Детальными расчетами показано, что  $\lambda_{KP}^*$  является функцией нескольких переменных, определяющими из которых являются  $F$  (отношение площади сечения потока в трубе  $F_0$  к миделевой площади керна) и  $Re_{KP}^*$ . Причем,  $Re_{KP}^*$  здесь выступает как результат скоростных соотношений в паре «кern – поток жидкости». Кроме того, значительных изменений  $\lambda_{KP}^*$  претерпевает только при изменении скорости течения жидкости в кольцевом зазоре между керном и трубой (а именно в случае  $1 < Re_{KP}^* < 100$ ), увеличение же самого кольцевого зазора достаточно заметного влияния на значение  $\lambda_{KP}^*$  практически не оказывает.

5. Сравнительным анализом доказано, что определяющим параметром в величине относительной скорости керна  $u_K$  (при его стандартной длине), является сила  $P_L$  – сила лобового сопротивления. Это обстоятельство дало возможность получить уточненную формулу определения  $u_K$ , которая отличается простотой и возможностью получения скоростных характеристик образцов породы без принятия определенных допущений об их движении в вязкопластичной жидкости.

5. Рассмотрено влияние геометрических размеров керновой магистрали, плотности и длины образцов породы на скорость движения керна  $u_K$ . Расчетами показано, что относительная скорость керна возрастает как с увеличением плотности керна при постоянном  $F$  (отношении площади сечения потока в трубе  $F_0$  к миделевой площади керна  $F_M$ ), так и при постоянной плотности с увеличением зазора «кern – труба», причем интенсивнее скорость керна растет с увеличением зазора между керном и внутренней трубой. Следовательно, для обеспечения бесперебойной транспортировки образцов породы значительной плотности необходимо стремиться к минимальной величине кольцевого зазора между керном и трубой. Оценено влияние на относительную скорость керна  $u_K$  длины образцов породы. Доказано, что относительная скорость керна менее интенсивно возрастает с увеличением зазора «кern – труба», а более – с увеличением длины при постоянном зазоре  $F$ . Данное обстоятельство свидетельствует о том, что эффективная транспортировка кернового материала возможна только при его определенной длине ( $l_{max} = const$ ), для некоторой величины поперечного размера образцов. Необходимо отметить, что во всех описанных случаях  $u_K$  значительно ниже для аналогичных условий при промывке скважины вязкой жидкостью.

6. В результате расчетов получена уточненная формула, определяющая относительную скорость керна  $u_K$  для образцов породы, длина которых лежит в интервале 0,2–1,2 м и движущихся в потоке вязкопластичной жидкости.

*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. Dependences are studied for determination of relative speed of core.*

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

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

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

### **Литература**

1. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М. Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 352 с.
2. Глухов В. И., Кукес А. И., Петров А. А. Движение керна в восходящем потоке промывочной жидкости // Совершенствование и внедрение технологии промывки и тампонирования скважин в условиях Восточной Сибири и Крайнего Севера. – М.: ВПО «Союзгеотехника», 1987. – С. 57–65.

*Поступила 29.07.13*

УДК 622.233.4

**А. А. Игнатов**

*Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепрпетровск, Украина*

### **КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО СНАРЯДА УДАРНОГО ТИПА**

*Проанализированы состояние и перспективы развития техники и технологии бурения с применением струйных аппаратов. Рассмотрены особенности конструкции и принцип действия усовершенствованного снаряда для гидромеханического бурения.*

**Ключевые слова:** *Струйный аппарат, гидромеханический способ бурения, шары, забой скважины, рейс, механизм разрушения.*

### **Введение**

Развитие и совершенствование любой из отраслей промышленности в современных условиях практически невозможно без широкого анализа и обобщения накопившегося опыта, а также глубокого научно-практического изучения технологических процессов. Только такой подход позволит наиболее эффективно и в сжатые сроки решать вопросы повышения производительности труда, улучшения качества работ и снижения их стоимости. Сказанное, несомненно, в полной мере относится и к строительству скважин.

Роль буровых работ без преувеличения огромна. Скважины являются самым надежным источником информации о наличии в недрах полезных ископаемых и их запасах,