

### Литература

1. Пути повышения эффективности геологоразведочного бурения / П. И. Букреев, С. И. Голиков, В. А. Кудря и др. – М.: Недра, 1989. – 158 с.
2. Борисович В. Т., Михин В. Н. Долота различных типов // Итоги науки и техники. Техника геологоразведочных работ. ВИНТИ. – 1981. – Т. 11. – С. 66–85.
3. Масленников И. К., Матвеев Г. И. Инструмент для бурения скважин. – М.: Недра, 1981. – 336 с.
4. Пат. 46041 № u200905218 Україна, МПК Е 21 В 10/46. Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Заявл. 25.05.09; Опубл. 10.12.09; Бюл. № 23.
5. Пат. 95315 № a200904676 Україна, МПК Е 21 В 10/46 (2006.01). Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Заявл. 12.05.09; Опубл. 25.07.11; Бюл. № 14.
6. Пат. 58245 № u201010344 Україна, МПК Е 21 В 10/46. Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Заявл. 25.08.10; Опубл. 11.04.11; Бюл. № 7.
7. Пат. 95202 № a201009658 Україна, МПК Е 21 В 10/46 (2006.01). Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Заявл. 02.08.10; Опубл. 11.07.11; Бюл. № 13.
8. Пат. 68319 № u201109632 Україна, МПК Е 21 В 10/06. Бурильна головка / А. О. Ігнатов, С. С. Вяткін. – Заявл. 02.08.11; Опубл. 26.03.12; Бюл. № 6.

*Поступила 29.06.12*

УДК 622.243

**А. А. Ігнатов**

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

### **О ДВИЖЕНИИ КЕРНА В ПОТОКЕ ЖИДКОСТИ ПРИ ЕГО ГИДРОТРАНСПОРТЕ**

*Кратко проанализированы теория и практика бурения с гидротранспортом керна. Показаны направления совершенствования технологии бурения и поставлены задачи, решение которых позволит более эффективное применение указанной технологии. Изучены зависимости для определения относительной скорости керна.*

**Ключевые слова:** *двойная колонна бурильных труб, гидравлическое сопротивление, относительная скорость, перепад давления, динамика керна.*

#### **Введение**

Характерной особенностью технического прогресса в бурении геологоразведочных скважин является широкое внедрение технологии, позволяющей сократить длительность вспомогательных операций – прежде всего метод бурения с непрерывным выносом на поверхность выбуренной породы [1; 2].

В основе технологии бурения с гидро- и пневмотранспортом керна и шлама лежит метод непрерывного удаления с забоя выбуренного породного материала и транспортировки его на поверхность потоком очистного агента, что обеспечивается при использовании двойной концентрической колонны бурильных труб, специальных забойных снарядов и конструкций породоразрушающего инструмента. Промывочная жидкость или сжатый воздух нагнетаются в зазор между наружной и внутренней трубами, захватывают с забоя шлам или керн и выносят их на поверхность по центральному каналу.

К числу основных достоинств указанного метода относят: уменьшение расхода промывочной жидкости, количества спускоподъемных операций, искривления скважины;

высокая механическая скорость бурения (что обусловлено следующими факторами: хорошей очисткой забоя от выбуренной породы, предупреждающей повторное переизмельчение керна и шлама; снижением гидростатического и гидродинамического давления на забое скважины; уменьшением количества подклиниваний керна и шлама в забойном снаряде; облегчением ликвидации подклиниваний без подъема инструмента на поверхность); высокая достоверность опробования (что обусловлено оперативным выносом на поверхность всего объема выбуренной породы); возможность эффективного бурения в осложненных условиях.

К недостаткам метода относятся сложность конструкции двойной колонны бурильных труб вертлюга; возможность заклинивания керна в центральном канале.

Основные задачи совершенствования технологии бурения с гидротранспортом керна изложены в [3], причем к наиболее актуальным следует отнести разработку методики определения скорости движения керна и шлама в центральном канале двойной бурильной колонны; исследование влияния механической скорости на показатели режима транспортирования керна; разработку методики определения гидравлических сопротивлений в двойной бурильной колонне; определение геометрических размеров бурильной колонны.

Цель настоящей работы – разработать методику определения основных циркуляционных характеристик транспортирования керна и шлама в центральном канале двойной бурильной колонны.

### Основной материал

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

Движение керна по внутреннему каналу бурильной колонны полностью характеризуется скоростью керна  $V_k$ , которая связана со средней скоростью потока жидкости в трубе  $\omega_0$  соотношением:

$$V_k = \omega_0 - u_k \quad (1)$$

где  $u_k$  – относительная скорость керна (относительно жидкости).

Таким образом, расчёт движения керна сводится к решению уравнения (1).

Закономерности движения твердого тела плохо обтекаемой формы (каким и является керн) в восходящем потоке промывочной жидкости в условиях малых зазоров между керном и трубой изучены недостаточно полно.

Вопросы транспортирования частиц горных пород в форме дисков, удлиненных частиц и их осколков рассмотрены [4]. Наиболее полно вопросы транспортирования керна по двойной колонне бурильных труб рассмотрены в [5]. Теоретические и экспериментальные исследования условий подъема керна и характеристики его обтекания при малых зазорах между керном и трубой проведены в ВИТР.

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

В основу теоретических и экспериментальных работ была положена задача о движении керна в восходящем потоке жидкости [5–7] при условии, что керн находится в равновесии, т. е. сумма всех действующих на него сил равна нулю, движение жидкости и керна установившееся (рис. 1). Следовательно, относительную скорость  $u_k$  находят из условия равновесия:

$$P_l + P_k + P_b = G, \quad (2)$$

где  $P_l$  – сила лобового сопротивления,  $P_k$  – сила гидравлического сопротивления в кольцевом зазоре между керном и трубой,  $P_b$  – сила гидравлического сопротивления на выходе потока из кольцевого зазора «керн – труба»,  $G$  – собственный вес керна, погруженного в жидкость.

$$P_{\text{л}} = C_x F_M \frac{\rho \omega_M^2}{2} = C_x F_M \frac{\rho}{2} (\omega_0 - V_k)^2 \frac{K_1^2}{(1 - \tau F)^2} \quad (3)$$

$$P_k = F_M \frac{\lambda_k l \rho (\omega_0 - V_k)^2}{d_r} \frac{1}{(1 - F)^2} \quad (4)$$

$$P_B = \xi F_M \frac{\rho (\omega_0 - V_k)^2}{2} \frac{1}{(1 - F)^2} \quad (5)$$

При подстановке в уравнение (2) выражений (3–5), определяющих каждое из слагаемых и решении относительно  $u_k$  получим зависимость:

$$u_k = \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1 - F)^2}{F^2 + C_x K_1^2 \left(\frac{1 - F}{1 - \tau F}\right)^2 + \frac{\lambda_{\text{кп}} l_k}{d_r}}}, \quad (6)$$

где  $\rho_k, \rho$  – плотность соответственно керна и промывочной жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $l_k$  – длина керна;  $F$  – 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 (рис. 2);  $K_1$  – коэффициент неравномерности скорости потока по его сечению, зависящий от параметра Рейнольдса;  $\tau$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние формы тела и стеснения поперечного сечения трубы;  $\lambda_{\text{кп}}$  – безразмерный коэффициент сопротивления по длине керна;  $d_r$  – гидравлический диаметр канала.

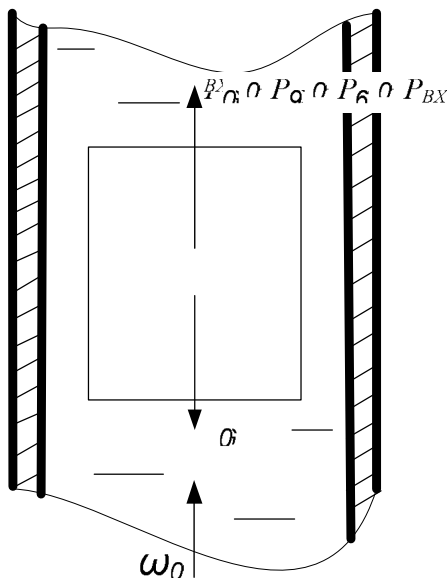


Рис. 1. Схема силовых отношений при движении керна в колонне трубы

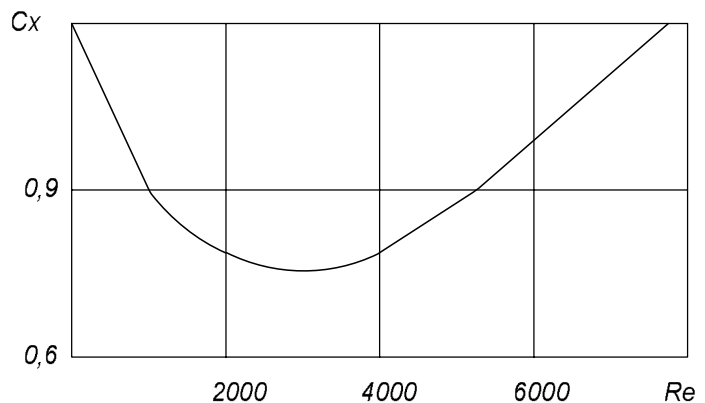


Рис. 2. К определению коэффициента лобового сопротивления  $C_x$  [8]

$$F_0 = \frac{\pi d_b^2}{4},$$

где  $d_b$  – внутренний диаметр центрального канала.

$$F_M = \frac{\pi d_k^2}{4},$$

где  $d_k$  – диаметр керна.

Значения отношения площади сечения потока в трубе  $F_0$  к миделевой площади керна  $F_M$  для образцов породы диаметром  $d_k = 0,038–0,042$ , что характерно для большинства геологических разрезов, изучаемых с помощью комплексов КГК–100(300), приведены в таблице.

**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

Необходимо отметить, что в формуле (6) не учтена сила гидравлического сопротивления на входе потока в кольцевой зазор «кern – труба»  $P_{ВХ}$ , которую определяют по формуле Вейсбаха [8]

$$P_{ВХ} = \xi F_m \frac{\rho}{2} (\omega_0 - V_k)^2 \frac{1}{(1-F)^2},$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления; при турбулентном течении зависит только от отношения площади соответственно узкого и широкого сечений  $F_{кп}$  и  $F_0$

$$\xi = 0,5 \left( 1 - \frac{F_{кп}}{F_0} \right)^2 = 0,5 \left[ 1 - \frac{(F_0 - F_m)}{F_0} \right]^2 = 0,5(F)^2.$$

После соответствующих преобразований формула (6) приобретает вид

$$u_k = \sqrt{\frac{\rho_k - \rho}{\rho} - 2gl_k \frac{(1-F)^2}{F^2 + 0,5(F)^2 + C_x K_1^2 \left( \frac{1-F}{1-\tau F} \right)^2 + \frac{\lambda_{кп} l_k}{d_r}}}$$

Следовательно, с учетом силы гидравлического сопротивления на входе потока в кольцевой зазор «кern – труба»  $P_{ВХ}$ , уравнение (2) имеет следующий вид:

$$P_{Л} + P_{К} + P_{В} + P_{ВХ} = G.$$

**Выводы**

1. Проанализирована формула определения относительной скорости керна  $u_k$ , полученная на основании закономерностей движения образцов породы цилиндрической формы в стесненных условиях.
2. Указано на некоторое несоответствие формулы определения относительной скорости керна  $u_k$  реальным условиям движения образцов цилиндрической формы внутри двойной бурильной колонны.
3. Получена новая зависимость, определяющая относительную скорость керна  $u_k$  с учетом всех параметров перепада давления влияющих на его транспортировку.

*Коротко проанализовано теорію і практику буріння з гідротранспортом керна. Показано напрями вдосконалення технології буріння та поставлено завдання, розв'язання яких дозволить ефективніше застосовувати зазначену технологію. Вивчено залежності для визначення відносної швидкості керна.*

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

*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.*

### Литература

9. Волков А. С., Волокитенков А. А. Бурение скважин с обратной циркуляцией промывочной жидкости. – М.: Недра, 1970. – 184 с.
10. Дерусов В. П. Обратная промывка при бурении геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1984. – 184 с.
11. Кардыш В. Г., Кузьмин И. В., Смирнов Ю. Т. Основные направления совершенствования технических средств для бурения с гидротранспортом керна и шлама // Техника и технология бурения с гидротранспортом керна и шлама. – Л.: ВИТР, 1985. – С. 63–64.
12. Бородацкий И. Г. О транспортировании восходящим вертикальным потоком жидкости дробленого керна трещиноватых и слоистых пород // Тр. СКГ НИИ нефтяной промышленности. – Грозный, 1974. – Вып. 31. – С. 18–24.
13. Глухов В. И., Кукес А. И., Петров А. А. Движение керна в восходящем потоке промывочной жидкости // Совершенствование и внедрение технологии промывки и тампонирувания скважин в условиях Восточной Сибири и Крайнего Севера. – М.: ВПО «Союзгеотехника», 1987. – С. 57–65.
14. Методика выбора производительности насоса при бурении с гидротранспортом керна / С. С. Хворостовский, И. С. Хворостовский, А. Ю. Ключников, Е. В. Малинин // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2001. – № 6. – С. 130–136.
15. Смолдырев А. Е. Гидро- и пневмотранспорт керна по буровым трубам // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2002. – № 4. – С. 97–103.
16. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.

Поступила 29.06.12

УДК 622.24

**Я. С. Коцкулич**, д-р техн. наук; **О. Б. Марцинків**, канд. техн. наук

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна*

### **ВПЛИВ ЗГИНУ ОБСАДНИХ ТРУБ НА ЇХ МІЦНІСТЬ ПРИ ДІЇ ЗОВНІШНЬОГО НАДЛИШКОВОГО ТИСКУ**

*Наведено результати теоретичних досліджень впливу згину обсадної колони на овальність і міцність обсадних труб при дії зовнішнього надлишкового тиску. З використанням напівбезмоментної теорії гнучких оболонок одержано формулу для визначення зовнішнього критичного тиску, що враховує кривизну і зміну поперечного перерізу труби. Порівняно зовнішній критичний тиск прямолінійних труб з отриманими іншими авторами.*

**Ключові слова:** обсадна труба, тиск, згин, напруження.

Для нарощування об'ємів видобування нафти і газу необхідно збільшити обсяги буріння похило-скерованих та горизонтальних свердловин. Кріплення таких свердловин ускладнюється тим, що обсадні колони піддаються спільній дії радіального, осьового та згинаючого навантажень, внаслідок чого вони передчасно виходять з ладу і на їх ремонт необхідно витратити значні кошти, а в окремих випадках свердловини виводять з експлуатації і ліквідують. В інструкціях з розрахунку обсадних колон на міцність не передбачається враховувати вплив згину обсадних колон у похило-скерованих та горизонтальних свердловинах на міцність труб, а рекомендації, розроблені окремими