

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ПРЕРЫВИСТОГО ПОТОКА ПРОМЫВОЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ АЛМАЗНОЙ БУРОВОЙ КОРОНКИ

А. Дреус^{1*}, Е. Лысенко¹, А. Кожевников², Б. Лю³

¹Кафедра аэрогидромеханики и энергомассопереноса, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепр, Украина

²Кафедра техники разведки месторождений полезных ископаемых, Национальный горный университет, Днепр, Украина

³Колледж строительной инженерии, Цзилунский университет, Чанчунь, Китай

*Ответственный автор: e-mail dreus.a@dnu.dp.ua, тел. +3805627768241

MODELING HYDRODYNAMICS OF THE FLUSHING FLUID INTERMITTENT FLOW IN THE HYDRAULIC SYSTEM OF THE DIAMOND BIT

A. Dreus^{1*}, K. Lysenko¹, A. Kozhevnykov², B. Liu³

¹Fluid Mechanics and Energy & Mass Transfer Department, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

²Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, Dnipro, Ukraine

³College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun, China

*Corresponding author: e-mail dreus.a@dnu.dp.ua, tel. +380567768241

ABSTRACT

Purpose. To study the effect produced by the intermittent flushing on hydrodynamic processes in the hydraulic system of a diamond bit.

Methods. Mathematical modeling methods and CFD experiment.

Findings. A mathematical model of hydrodynamic processes in the flushing ports of the drill bit hydraulic system in conditions of drilling with intermittent flushing is presented. Numerical study of hydrodynamic processes for symmetric intermittent flushing was conducted. The velocity and pressure fields in the flow of the drilling fluid (water) in the ports were obtained. It was shown that pressure changes significantly in the flow with formation of low pressure zones and low intensity vortex during the pause in feeding. Analysis of the obtained effects shows that the use of intermittent flushing allows to control the hydrodynamic processes and influence the diamond drill bit operation.

Originality. Hydrodynamics of intermittent flow of the flushing fluid in the hydraulic system of drill bits was investigated for the first time ever. The obtained results are the basis to theoretical substantiation of technological effects during drilling with intermittent flushing, such as improving bottom hole cleaning from slurry and increasing drilling speed.

Practical implications. The results of the study are important for developing a technique and technology of diamond drilling with intermittent flushing.

Keywords: drilling, hydrodynamic processes, hydraulic system of the drill bit, intermittent flushing

1. ВВЕДЕНИЕ

Последнее время внимание исследователей и разработчиков технологий бурения скважин привлекает промывка скважин с нестационарной подачей промывочной жидкости (Ivannikov, Ivannikov, & Kurbanov, 2010). Результаты экспериментального бурения показывают, что данный способ промывки способствует повышению ряда технико-экономических показателей технологического процесса. Среди достигнутых результатов следует отметить улучшение очистки забоя скважины от шлама (Tungusov, 2009) и повы-

шение механической скорости бурения (Kozhevnikov, Filimonenko, & Zhikalyak, 2007). Однако на сегодняшний день механизмы полученных эффектов до конца теоретически не раскрыты.

Проблема очистки скважины являлась объектом исследования достаточно большого числа работ. Например, движение шлама по стволу скважины при стационарном течении исследовалась экспериментально (Tomren, Iyoho, & Azar, 1986), численно (Bilgesu, Ali, Aminian, & Ameri, 2002) и аналитически (Kulikov, 2007). Однако большинство работ рассматривают движение частиц шлама в восходящем потоке

в затрубном пространстве и не акцентируют внимание на гидродинамических процессах непосредственно на забое. В работе (Filimonenko & Karakozov, 2007) выполнено моделирование процесса витания частиц шлама в пульсирующем потоке промывочной жидкости. В результате выполненных исследований было установлено положительное влияние нестационарного режима течения на вынос шлама по стволу скважины на дневную поверхность. В тоже время эффект улучшения процесса очистки поверхности забоя при таком режиме подачи жидкости обоснован недостаточно.

Процессы гидродинамики в гидравлической системе алмазных буровых коронок исследовались в основном для определения гидравлических сопротивлений на забое и улучшения конструкции инструмента (Bukanov, Gorshkov, Osetskii, & Solovlev, 2013; Gorshkov & Yakovlev, 2011; Kozhevnykov, Dreus, & Liu, 2017). Однако в данных работах к проблеме подходят с использованием методов гидравлики для стационарного течения, и подробная физическая картина на забое не рассматривается.

В работе (Dreus, Kozhevnykov, Sudakov, & Vakhalin, 2016) показано, что увеличение механической скорости бурения, при нестационарном режиме промывки, может быть обусловлено термоциклическим воздействием на горную породу, вследствие ухудшения конвективного охлаждения породоразрушающего инструмента. Данный эффект будет наиболее выраженным в случае прерывистой промывки, когда интервалы в подаче жидкости разделены паузами, на протяжении которых расход жидкости равен нулю. Процессы гидродинамики на забое при прерывистой промывке на сегодняшний день не исследовались.

Дальнейшее развитие технологии нестационарной промывки и выбор рациональных параметров требует проведения соответствующих исследований гидродинамических процессов на забое при бурении. Эффективным инструментом исследования в данном случае являются методы вычислительной гидродинамики (CFD), являющиеся альтернативным физическому эксперименту инструментом исследования. Использование CFD технологий позволяет не только относительно быстро проводить многочисленные параметрические исследования, но и обнаружить физические эффекты, которые трудно определить другими методами. Эффективным примером использования данного инструмента для исследования гидродинамики на забое скважины и совершенствования буровых долот являются работы (Cao, Chen, Liu, Chen, & Wang, 2016; Song et al., 2014). Исследование конвективного теплообмена на забое скважины при бурении алмазными коронками для режима стационарной промывки выполнено в работах (Dreus & Lysenko, 2016; Chen, Liu, & Duan, 2012).

В настоящей работе выполнено исследование поля скоростей и давлений в промывочных каналах гидравлической системы алмазных буровых коронок при прерывистом режиме подачи промывочной жидкости. Решение данной задачи способствует лучшему пониманию физической картины в гидравлической системе буровых коронок при прерывистой промыв-

ке и способствовать раскрытию физических механизмов повышения эффективности бурения при прерывистой промывке.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим течение промывочной жидкости в гидравлической системе алмазной буровой коронки. Гидравлическая система коронки представляет собой параллельные, как правило, равномерно распределенные в матрице коронки П-образные каналы. Каждый канал (Рис. 1) состоит из боковых – внешнего и внутреннего каналов и торцевого канала.

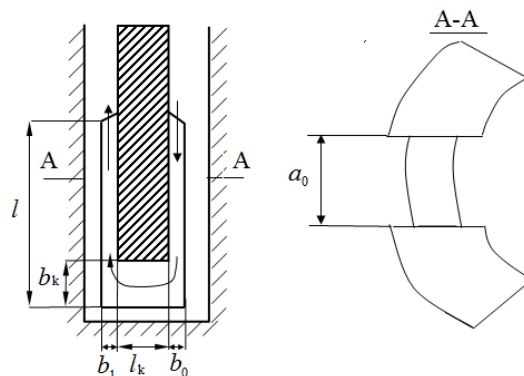


Рисунок 1. Схема движения промывочной жидкости в промывочных каналах алмазной буровой коронки

Форма поперечного сечения каналов может быть прямоугольной или закругленной. Геометрические характеристики гидравлической системы серийной алмазной буровой коронки 01А3-76 представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Геометрические характеристики гидравлической системы буровой коронки 01А3-76

Параметр	Значение
Количество каналов n , шт	6
Ширина каналов a_0 , мм	6
Глубина боковых каналов $b_0 = b_1$, мм	2
Глубина торцевых каналов b_k , мм	4
Длина боковых каналов коронки l , мм	10
Длина торцевых каналов коронки l_k , мм	5

Известно (Idel'chik, 1992), что при развороте потока в П-образном канале сужается сечение основного потока и возникают застойные зоны и локальное изменение давления вдоль поверхности.

Для построения математической модели прерывистого течения в каналах примем ряд допущений. Будем считать, что основной поток промывочной жидкости, циркулирующей на забое, движется через промывочные каналы, а потери жидкости на забое вследствие ее поглощения горной породой незначительные. Рассмотрим задачу в первом приближении в плоской постановке, принимая форму каналов прямоугольной и пренебрегая эффектами, связанными с вращением коронки. Будем рассматривать промывочную жидкость – воду, как однофазную среду, физические свойства которой постоянные и соответствуют условиям стендового бурения. Таким обра-

зом, мы не учитываем гидростатическое давление столба жидкости в скважине.

В качестве расчетной модели принимаем П-образную область, представленную на Рисунке 2, в которой строится конечно-элементная сетка.

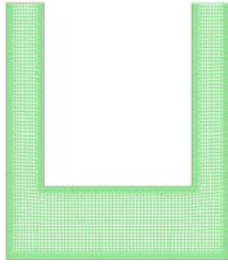


Рисунок 2. Расчетная область с сеткой

В большинстве случаев течения промывочных жидкостей при бурении имеют турбулентный характер (Leonov & Isaev, 1987). Для построения математической модели будем использовать стандартную двухпараметрическую $k-\varepsilon$ модель турбулентности (Lauder & Spalding, 1972), которая хорошо себя зарекомендовала при моделировании гидродинамических процессов при бурении долотами в работах (Cao, Chen, Liu, Chen, & Wang, 2016; Song et al., 2014). Математическая модель включает систему дифференциальных уравнений неразрывности, переноса количества движения для промывочной жидкости, неразрывности и переноса характеристик турбулентности:

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j u_i) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((v + v_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right); \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j k) = & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) + \\ & + \frac{v_t}{\rho} \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \varepsilon \end{aligned}; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (u_j \varepsilon) = & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(v + \frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \\ & + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} v_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned}, \quad (4)$$

где:

$i = 1, 2$ – соответствуют x, y – координатам в декартовой системе;

u – осредненные компоненты вектора скорости;

k – кинетическая энергия турбулентности;

ε – диссипация энергии турбулентности;

p – осредненное давление в потоке;

v – коэффициент кинематической вязкости промывочной жидкости;

v_t – коэффициент кинематической турбулентной вязкости;

ρ – плотность промывочной жидкости;

τ – время;

$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$ – эмпирические константы модели турбулентности.

Для замыкания системы (1) – (4) используется выражение для турбулентной вязкости:

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \quad (5)$$

где:

$$C_\mu = 0.09.$$

Система (1) – (5) дополняется граничными условиями. На твердых границах задаем условие “прилипания”:

$$u_i|_{solid} = 0. \quad (6)$$

В выходном сечении задаем “мягкое” граничное условие:

$$\left. \frac{\partial u_1}{\partial y} \right|_{outlet} = 0, \quad u_2|_{outlet} = 0. \quad (7)$$

Во входном сечении задаем расход промывочной жидкости, который является функцией времени. В соответствии с классификацией нестационарных режимов промывки (Kozhevnikov, Filimonenko, & Zhikalyak, 2007) прерывистая промывка может быть симметричной, когда интервалы паузы τ_2 и подачи $\delta\tau_2$ равны между собой, и несимметричной, когда интервалы паузы и подачи различны. Рассмотрим только симметричный режим прерывистой промывки с интервалами паузы и подачи по $\delta\tau_1 = \delta\tau_2 = 0.5$ с. Функция расхода при прерывистой промывке может быть представлена в виде:

$$Q(\tau) = \frac{Q_0}{2n} \left(\left| \sin \left(\frac{\pi\tau}{\delta\tau_1} \right) \right| + \sin \left(\frac{\pi\tau}{\delta\tau_1} \right) \right), \quad (8)$$

где:

Q_0 – максимальный (номинальный) расход промывочной жидкости.

Характер изменения расхода промывочной жидкости во времени представлен на Рисунке 3.

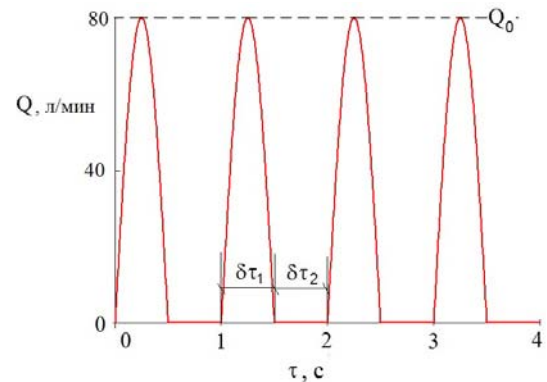


Рисунок 3. Характер изменения расхода промывочной жидкости Q в зависимости от времени τ при прерывистой промывке

Решение задачи (1)–(8) выполнено численно с использованием пакета ANSYS Fluent. На Рисунке 4 представлены результаты расчета в виде картины

поля скоростей для различных моментов времени в период подачи при $Q_0 = 80$ л/мин. Соответствующее изменение поля давления представлено на Рисунке 5.

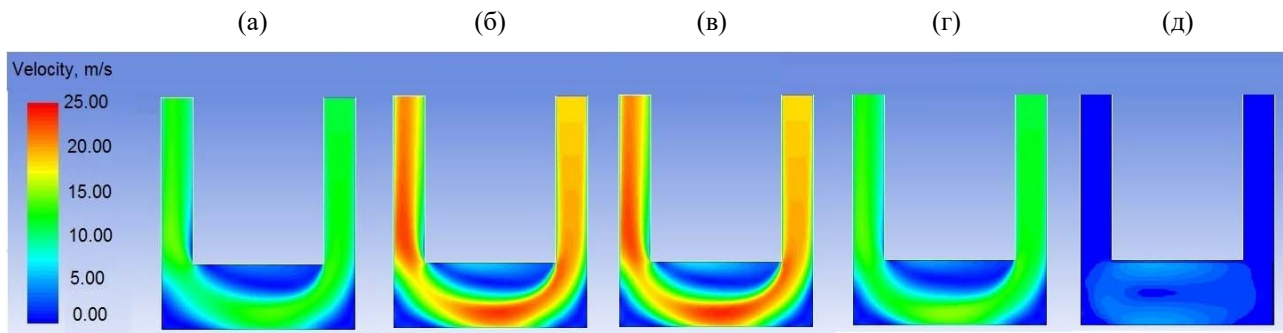


Рисунок 4. Изменение поля скоростей нестационарного потока жидкости в канале в период подачи в различные моменты времени от начала подачи: (а) 0.1 с; (б) 0.2 с; (в) 0.3 с; (г) 0.4 с; (д) 0.5 с

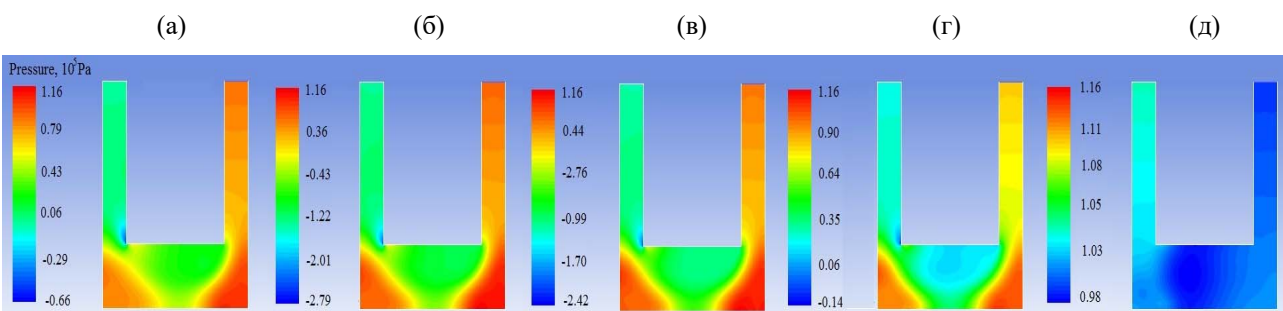


Рисунок 5. Изменение поля давления в каналах в период подачи в различные моменты времени от начала подачи: (а) 0.1 с; (б) 0.2 с; (в) 0.3 с; (г) 0.4 с; (д) 0.5 с

Как видим из представленных на Рисунках 4 и 5 данных при переходе потока из бокового в торцевой промысловый канал поля скорости и давления становятся существенно неоднородными. Существует область основного потока, скорость которого достигает 25 м/с, а также образуются застойные зоны. Образуются области повышенного давления в углах канала, а также формируются области пониженного давления. Характер полей скорости и давления сохраняется в течение подачи, а значения скорости и давления изменяются в зависимости от значения подачи на входе. При больших скоростях в областях пониженного давления возникает разрежение. При определенных условиях в данных разреженных областях может возникать кавитация, что может оказы-

вать действие как на буровую коронку, данный эффект отмечается в работе (Chen, Liu, & Duan, 2012), так и на горную породу.

После отключения подачи движение в боковых каналах прекращается, давление постепенно выравнивается, что способствует устранению областей разрежения. Таким образом, при прерывистой промывке уменьшается отрицательное воздействие на коронку возможной кавитации потока.

Вследствие перераспределения давления в конце периода подачи во время паузы возникает слабоинтенсивное вихревое течение в торцевом канале с движением по часовой стрелке. Для наглядности на Рисунке 6 представлено поле скоростей в векторном представлении.

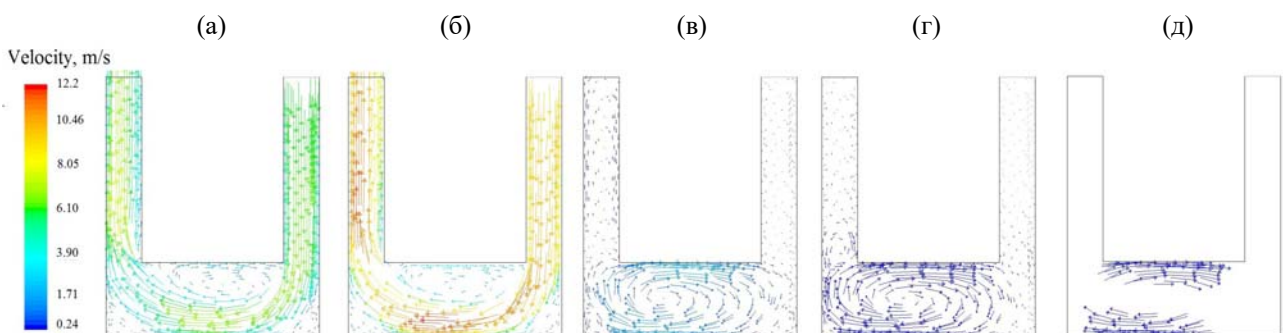


Рисунок 6. Векторы скорости в каналах в течение цикла “подача – пауза”: (а) 0.1 с; (б) 0.3 с; (в) 0.5 с; (г) 0.8 с; (д) 0.9 с

Скорость потока в вихревом течении небольшая, в тоже время данное течение может способствовать лучшей очистке забоя, поскольку уменьшаются размеры застойных зон, и выравнивается профиль скорости по сечению канала.

Снижение номинальной подачи и, соответственно, скорости потока способствует повышению давления и устранению разрежения. Вычислительные эксперименты при расходе $Q_0 = 20$ л/мин показали, что характер полей скорости и давления аналогичны приведенному выше, но при этом значения скорости и перепады давления по сечению уменьшаются. Приведем для сравнения изменение давления по высоте канала в нисходящем потоке (контур I – I на Рисунке 7) и восходящем потоке (контур II – II на Рисунке 7) для различных значений Q_0 . Результаты расчета давления вдоль указанных контуров для

$Q_0 = 20$ л/мин и $Q_0 = 80$ л/мин представлены на Рисунке 8. Результаты приведены для момента времени $\tau = 0.3$ с после начала подачи, когда расход на входе достигает максимального (номинального) значения.

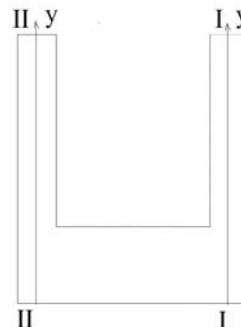


Рисунок 7. Схема к расчету давления

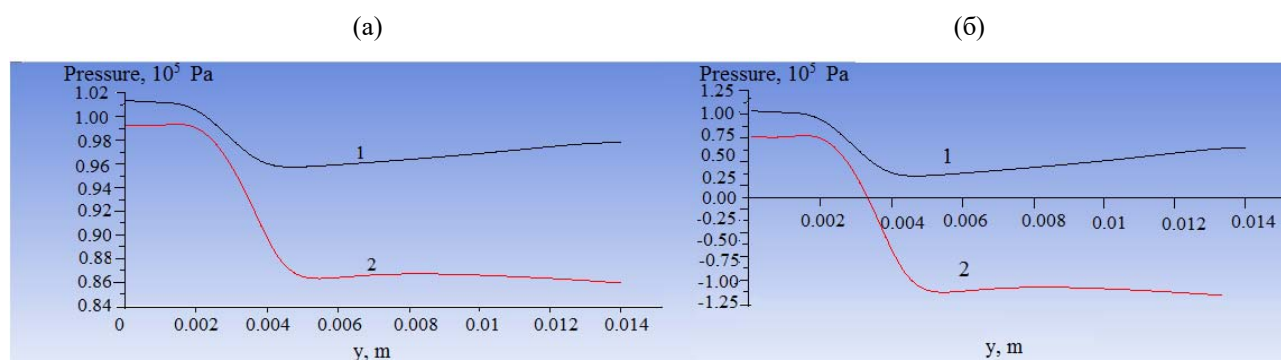


Рисунок 8. Изменение давления P по высоте канала y для различных номинальных расходов промывочной жидкости: (а) $Q_0 = 20$ л/мин; (б) $Q_0 = 80$ л/мин; 1 – вдоль контура I – I; 2 – вдоль контура II – II

Как видим из данных на Рисунке 8, распределение давления по высоте имеет одинаковый характер для обоих значений расходов промывочной жидкости. Однако в случае большего расхода $Q_0 = 80$ л/мин наблюдается образование области разрежения в восходящем потоке. При относительно небольшом расходе промывочной жидкости давление понижается менее существенно.

Тем не менее изменение давления в промывочных каналах на протяжении полного цикла “подача – пауза” может быть причиной дополнительного ударного воздействия на забой.

3. ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволили получить физическую картину гидродинамики прерывистого потока промывочной жидкости в гидравлической системе буровой коронки. Результаты моделирования показали:

- при прерывистой промывке имеет место неравномерное распределение скоростей и давления в промывочных каналах как по сечению, так и во времени;
- при прерывистой промывке создаются условия для лучшей очистки поверхности забоя от шлама за счет изменения скоростного режима и образования вихревого течения в торцевом канале в период паузы;
- при прерывистой промывке выравнивание давления в потоке в период паузы позволяет уменьшить

вероятность возникновения кавитации при больших скоростях потока;

– при прерывистой промывке имеют место существенные перепады давления в гидравлической системе при смене режима подачи на режим паузы, что может служить дополнительным силовым фактором воздействия на породу.

Полученные результаты способствуют формированию целостной картины физических процессов на забое скважины при бурении с прерывистой промывкой.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают благодарность сотрудникам механико-математического факультета Днепропетровского национального университета им. О. Гончара за консультации при подготовке работы.

REFERENCES

- Bilgesu, H.I., Ali, M.W., Aminian, K., & Ameri, S. (2002). Computational Fluid Dynamics (CFD) as a Tool to Study Cutting Transport in Wellbores. In *Proceedings of Society of Petroleum Engineers Eastern Regional Meeting* (pp. 4). Lexington: Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/10.2523/78716-ms>
- Bukanov, A.A., Gorshkov, L.K., Osetskiy, A.I., & Solovev, N.V. (2013). Printsipyi konstruirovaniya i ekspluatatsiialmaznogo porodorazrushayuschego instrumenta. *Razvedka i Ohrana Nedr*, (7), 44-49.

- Cao, P., Chen, Y., Liu, M., Chen, B., & Wang, J. (2016). Analytical and Experimental Study of a Reverse Circulation Drill Bit with an Annular Slit. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(9), 1-10.
<https://doi.org/10.1177/1687814016669471>
- Chen, Y., Liu, Z.Y., & Duan, L.C. (2012). Simulation on Hydraulic Performance of Two Kinds of Coring Diamond Bits with Different Crown. *Advanced Materials Research*, (497), 350-355.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.497.350>
- Dreus, A. Yu., & Lysenko, K. Ye. (2016). Computer Simulation of Fluid Mechanics and Heat Transfer Processes at the Working Face of Borehole Rock. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universitetu*, (5), 29-35.
- Dreus, A. Yu., Sudakov, A. K., Kozhevnykov, A. A., & Vakhalin, Yu. N. (2016). Study of Thermal Strength Reduction of Rock Formation in the Diamond Core Drilling Process Using Pulse Flushing Mode. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universitetu*, (3), 5-10.
- Filimonenko, N., & Karakozov, A. (2007). Dvizhenie shlama v pulsiruyushchem vzvesenesushchem potoke, cirkuliruyushchem v prizabojnoj zone skvazhiny. *Naukovi Pratsi Donetskoho Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu*, 6(125), 125-130.
- Gorshkov, L. K., & Yakovlev, A. A. (2011). Konstruktivnyie osobennosti tsirkulyatsionnoy sistemy almaznoy koronki novogo pokoleniya. *Modern Direction of Theoretical and Applied Investigations*, (4), 18-22.
- Idel'chik, I. E. (1992). *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam*. Moskva: Mashinostroenie.
- Ivannikov, V. I., Ivannikov, I. V., & Kurbanov, H. N. (2010). Nestatsionarnyy rezhim promyvki zaboya skvazhiny pri burenii. *Burenie*, (10), 28-30.
- Kozhevnykov, A. A., Filimonenko, N. T., Zhikalyak, N. V. (2010). *Impul'snaya promyvka skvazhin*. Donetsk: Knowledge.
- Kozhevnykov, A., Dreus, A., & Liu, B. (2017). The Procedure for Determining Pressure Losses in Washing Fluid Flow in Hydraulic System of the Core Barrel. *Mining of Mineral Deposits*, 11(1), 65-71.
<https://doi.org/10.15407/mining11.01.065>
- Kulikov, V. V. (2007). Uдалenie shlama iz stvola skvazhiny voskhodyashchim potokom ochistnogo agenta. *Stroitel'stvo Neftyanyh i Gazovyh Skvazhin na Sushe i na More*, (4), 19-21.
- Lauder, B. E., & Spalding, D. B. (1972) *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. London: Academic Press.
- Leonov, E. G., & Isaev, V. I. (1987). *Gidraeromekhanika v burenii*. Moskva: Nedra.
- Song, C.-H., Kwon, K.-B., Park, J.-Y., Oh, J.-Y., Lee, S., Shin, D.-Y., & Cho, J.-W. (2014). Optimum Design of the Internal Flushing Channel of a Drill Bit Using RSM and CFD Simulation. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 15(6), 1041-1050.
<https://doi.org/10.1007/s12541-014-0434-6>
- Tomren, P. H., Iyoho, A. W., & Azar, J. J. (1986). Experimental Study of Cuttings Transport in Directional Wells. *SPE Drilling Engineering*, 1(01), 43-56.
<https://doi.org/10.2118/12123-pa>
- Tungusov, S. A. (2009). Povyshenie proizvoditelnosti bureniya skvazhin za schet primeneniya impulsnoy promyvki. *Razvedka i Ohrana Nedr*, (8), 42-47.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Исследование влияния прерывистой промывке на гидродинамические процессы в гидравлической системе алмазной буровой коронки.

Методика. Методы математического моделирования с использованием CFD эксперимента.

Результаты. Представлена математическая модель гидродинамических процессов в промывочных каналах гидравлической системы буровой коронки при бурении с прерывистой промывкой. Выполнено численное исследование процессов гидродинамики для симметричной прерывистой промывки. Получены поля скорости и давления в потоке промывочной жидкости (воды) в каналах, показано существенное изменение давления в потоке с образованием зон пониженного давления, а также возникновение слабоинтенсивного вихревого течения в период паузы в подаче. Анализ полученных эффектов показывает, что использование прерывистой промывки позволяет управлять гидродинамическими процессами и оказывать влияние на работу алмазной буровой коронки.

Научная новизна. Впервые исследована гидродинамика прерывистого потока промывочной жидкости в гидравлической системе буровых коронок. Полученные результаты являются основой для теоретического обоснования технологических эффектов при бурении с прерывистой промывкой: улучшения очистки забоя от шлама и увеличения скорости бурения.

Практическая значимость. Результаты исследования представляют интерес для развития техники и технологий алмазного бурения с прерывистой промывкой.

Ключевые слова: бурение, гидродинамические процессы, гидравлическая система буровой коронки, прерывистая промывка

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Дослідження впливу переривчастої промивки на гідродинамічні процеси в гідравлічній системі алмазної бурової коронки.

Методика. Методи математичного моделювання з використанням CFD експерименту.

Результати. Представлено математичну модель гідродинамічних процесів у промивальних каналах гідравлічній системі алмазної бурової коронки при бурінні з переривчастою промивкою. Виконано чисельне дослідження процесів гідродинаміки для симетричної промивки. Отримані поля швидкості та тиску у потоці промивальної рідини (вода) в каналах, показано істотна зміна тиску в потоці з утворенням зон зниженого тиску, а також виникнення слабоінтенсивної вихрової течії під час паузи в подачі. Аналіз отриманих ефектів показує, що використання переривчастої промивки дозволяє керувати гідродинамічними процесами та впливати на роботу алмазної бурової коронки.

Наукова новизна. Вперше досліджено гідродинаміку переривчастого потоку промивальної рідини в гідравлічній системі алмазних бурових коронок. Отримані результати є основою для теоретичного обґрунтування

технологічних ефектів при бурінні з переривчастою промивкою: покращення очистки вибою свердловини від шламу та збільшення швидкості буріння.

Практична значимість. Результати дослідження представляють інтерес для розвитку техніки та технології алмазного буріння з переривчастою промивкою.

Ключові слова: буріння, гідродинамічні процеси, гідравлічна система бурової коронки, переривчаста промивка

ARTICLE INFO

Received: 8 February 2017

Accepted: 12 June 2017

Available online: 30 June 2017

ABOUT AUTHORS

Andrii Dreus, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Fluid Mechanics and Energy & Mass Transfer Department, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Haharina Ave., 49010, Dnipro, Ukraine. E-mail: dreus.a@dnu.dp.ua

Kateryna Lysenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Fluid Mechanics and Energy & Mass Transfer Department, Oles Honchar Dnipro National University, 72 Haharina Ave., 49010, Dnipro, Ukraine. E-mail: lysenko@mmf.dnulive.dp.ua

Anatolii Kozhevnykov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Techniques Prospect of Deposits Department, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 9/408, 49005, Dnipro, Ukraine. E-mail: aak2@ua.fm

Baochang Liu, Doctor of Philosophy, Associate Professor of the College of Construction Engineering, Jilin University, 938 Ximinzhu St, 130061, Changchun, China. E-mail: liubc@jlu.edu.cn