

### Литература

1. Ребиндер П. А. Исследование процессов образования дисперсных структур. – Минск: Наука и техника, 1971. – 331 с.
2. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
3. Шрейнер А. А. Физические основы механики горных пород. – М.: Госкомтехиздат, 1950. – 211 с.
4. Спивак А. И. Механика горных пород. – М.: Недра, 1967. – 192 с.
5. Присташ В. В., Чирков С. Е. Энергоемкость разрушения горных пород при различных видах механических воздействий // Горн. информ.–аналит. бюл. – М.: Горная кн., 2000. – 10. – С. 85–87.
6. Констандов Ю. А. Влияние параметров динамического воздействия на разрушение горных пород // Динамические системы. – 2008. – Вып. 24. – С. 121–131.
7. Ребиндер П. А. Исследование процессов образования дисперсных структур. – Минск: Наука и техника, 1971. – 331 с.
8. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
9. Ходаков Г. С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 307 с.
10. Грег. С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1970. – 408 с.
11. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В. Н. Бакуля. – К.: Наук. думка. 1978. – 232 с.
12. Измерение удельной поверхности порошковых материалов и построение изотермы адсорбции–десорбции на приборе «Акусорб» фирмы «Культреникс». – К.: ИСМ АН УССР, 1985. – 13 с.
13. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном инструменте / Р. К. Богданов, А. П. Загора, А. М. Исонкин и др. – Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. – 138 с.
14. Craelius Diabor's new test drilling rig. // Industrial Diamond Rev. – 1971. – N 4. – P. 142–143.
15. Техника и технология высокоскоростного бурения / Г. Л. Блинов, Л. Г. Буркин, О. А. Володин и др.–М.: Недра, 1982. – 408 с.

Поступила 26.04.2017

УДК 622.24

**А. А. Кожевников**, д-р техн. наук<sup>1</sup>; **А. Ю. Дреус**<sup>2</sup>, **Б. Ли**<sup>3</sup>, кандидаты технических наук

<sup>1</sup>Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»,  
г. Днепр, Украина

<sup>2</sup>Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Украина

<sup>3</sup>Строительный колледж Университета провинции Цзилинь, г. Чанчунь, Китай

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ С ПРЕРЫВИСТОЙ ПОМЫВКОЙ

Предложен подход к определению эффективности прерывистой промывки при алмазном бурении, учитывающий влияние тепловой энергии трения на забое скважины.

**Ключевые слова:** алмазное бурение, энергетический критерий эффективности, импульсная промывка.

## Введение

Для оценки эффективности новых технологий бурения по сравнению с традиционными могут быть использованы различные критерии, такие как энергетический, структурный, динамический, температурный и др. [1;2]. Такие критерии представляют собой отношение механической скорости при разных способах бурения и учитывают влияние различных факторов на разрушение горной породы.

К перспективным технологиям, позволяющим повысить эффективность алмазного бурения, относятся технологии бурения с импульсной промывкой. В [3] выполнена классификация таких технологий, рассмотрены вопросы технической реализации и приведены результаты опытного бурения, свидетельствующие об улучшении ряда технико-экономических показателей производственного процесса, в частности, повышения механической скорости бурения.

Среди различных способов реализации импульсной промывки скважины выделим режим прерывистой промывки. При таком режиме подача промывочной жидкости прерывается паузами, при которых расход промывочной жидкости на забое равняется нулю. Изменение режима подачи влияет на контактную температуру на забое и, таким образом, тепловой фактор становится одним из определяющих эффективность разрушения горной породы. Для обоснования внедрения этой технологии целесообразно использовать соответствующий критерий эффективности бурения с прерывистой промывкой.

Цель настоящей работы – разработать методику оценки эффективности процесса алмазного бурения с прерывистой промывкой скважины с учетом энергетического фактора.

## Основной материал

При работе алмазной буровой коронки на поверхности забоя формируется сложная нестационарная тепловая картина, характерная особенностью которой состоит в чередовании участков резкого нагрева и резкого охлаждения. Такая картина обусловлена конструкцией коронки. При движении сектора матрицы по поверхности забоя генерируется тепловой поток трения и возникает высокая температура. Вслед за сектором над этим же участком забоя проходит промывочный канал, через который движется холодный поток промывочной жидкости.

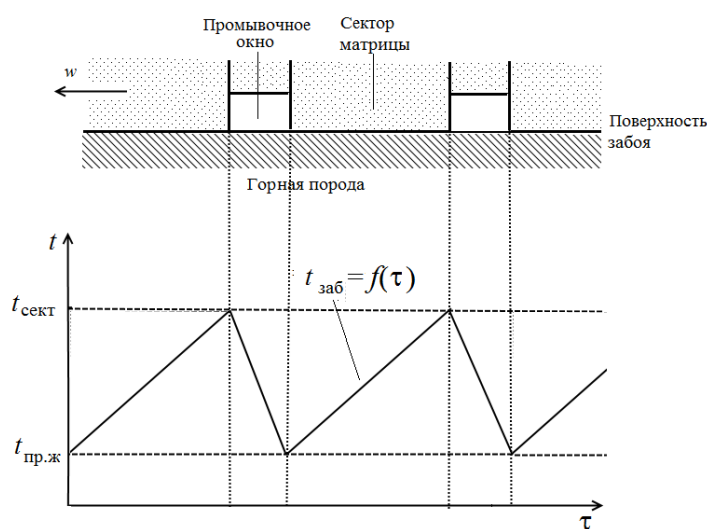


Рис.2. Изменение температуры горной породы на поверхности забоя  $t_{заб}$  во времени  $\tau$  при движении коронки:  $t_{сект}$  – максимальная температура сектора матрицы;  $t_{пр.ж}$  – температура промывочной жидкости

Таким образом, при контактом взаимодействии инструмента с горной породой на охлажденном участке породы кроме механического воздействия буровых алмазов будет проявляться тепловое воздействие. При вращении коронки данный эффект многократно повторяется, т. е. происходит термоциклическое воздействие, теоретические основы которого изложены в монографии [4]. Изменение температуры горной породы на поверхности забоя при такой схеме воздействия показано на рис. 1.

Как известно [5;6], основная часть механической энергии при работе буровой коронки переходит в теплоту. Эта теплота распределяется

между буровой коронкой (основное количество), горной породой и промывочной жидкостью. Основная часть выделяемой на контакте теплоты распространяется в инструмент и отводится от коронки вследствие конвективного теплообмена с промывочной жидкостью. При бурении с постоянной промывкой, как правило, обеспечивается интенсивный теплоотвод от буровой коронки. При прерывистой промывке конвективный теплообмен между коронкой и промывочной жидкостью ухудшается и температура торца буровой коронки повышается. Таким образом, создаются условия для увеличения доли тепловой энергии, которая может быть использована для разрушения горной породы. В частности в [7] показано, что при прерывистом режиме дополнительная тепловая энергия может способствовать ослаблению горной породы вследствие интенсификации образования и раскрытия микротрещин на забое.

Таким образом, суммарную мощность, реализуемую на забое для разрушения породы, можно представить в виде суммы механической и тепловой компонент:

$$N_{\Sigma} = N_M + N_T, \quad (1)$$

где  $N_M$  – мощность, затрачиваемая на механическое разрушение породы;  $N_T$  – мощность теплообразования.

В свою очередь, генерируемая теплота на контакте распределяется между горной породой и инструментом. Следовательно, можем записать

$$N_T = k_{ГП} N_T + k_{БК} N_T, \quad (2)$$

где  $k_{ГП}$ ,  $k_{БК}$  – коэффициенты распределения теплоты трения соответственно между горной породой и буровой коронкой. Для повышения эффективности бурения желательнее увеличить  $k_{ГП}$  и уменьшить  $k_{БК}$ . Таким образом, мощность, которая, затрачиваемую на разрушение горной породы, можно представить в виде

$$N = N_M + k_{ГП} N_T. \quad (3)$$

Эффективность бурения с прерывистой промывкой относительно бурения с постоянной промывкой может быть оценена критерием эффективности  $K_{эф}$ , который представляет собой отношение механической скорости бурения при прерывистой промывке  $V_{пер}$  к механической скорости бурения с постоянной промывкой  $V_{пост}$

$$K_{эф} = \frac{V_{пер}}{V_{пост}}. \quad (4)$$

Как известно механическая скорость бурения определяется соотношением

$$V = \frac{N}{A \cdot F}, \quad (5)$$

где  $A$  – энергоемкость разрушения горной породы;  $F$  – площадь поверхности разрушения.

Выражение (4) с учетом (5) запишем в виде

$$K_{эф} = \frac{N^{пер}}{A^{пер}} \frac{A^{пост}}{N^{пост}}. \quad (5)$$

Если принять

$$A^{пост} \approx A^{пер},$$

и то, что механическая составляющая мощности, разрушающая породу, постоянна, то при одинаковой забойной мощности для прерывистого и постоянного режимов промывки, коэффициент эффективности с учетом (3) можно записать в виде

$$K_{эф} = \frac{N^{пер}}{N^{пост}} = \frac{N_M + k_{ГП}^{пер} N_T}{N_M + k_{ГП}^{пост} N_T} = \frac{1 + \gamma \cdot k_{ГП}^{пер}}{1 + \gamma \cdot k_{ГП}^{пост}}, \quad (6)$$

где  $\gamma = \frac{N_T}{N_M}$ . Из формулы (6) следует, что увеличение коэффициента эффективности при

бурении с импульсной промывкой, по сравнению с режимом постоянной промывки возможно за счет перераспределения теплового баланса на забое и увеличения количества теплоты, направленной на нагревание горной породы.

### Вывод

Получено выражение для определения энергетического критерия эффективности при алмазном бурении с прерывистой промывкой.

*Запропоновано підхід до визначення ефективності переривчастого промивання при алмазному бурінні, що враховує вплив теплової енергії тертя на вибої свердловини.*

**Ключові слова:** алмазне буріння, енергетичний критерій ефективності, переривчасте промивання.

### ENERGY CRITERIA FOR THE EFFICIENCY OF DIAMOND DRILLING WITH A FLASH WASH

*The approach to determine the effectiveness of intermittent flushing at diamond drilling taking into account the redistribution of heat energy on the friction face is proposed.*

**Key words:** diamond drilling, energy criterion of efficiency, intermittent flushing.

### Литература

1. Кожевников А. А. Структурный критерий эффективности вращательно-ударного бурения // Тр. 2-й науч. техн. конф. «Эпштейновские чтения». – Днепропетровск: НГАУ, – 1998. – С. 41–42.
2. Кожевников А. А. Температурный критерий эффективности вращательно-ударного бурения // Тр. 2-й науч. техн. конф. «Эпштейновские чтения». – Днепропетровск: НГАУ, – 1998. – С. 37–38.
3. Кожевников А. А., Филимоненко Н. Т., Жикаляк Н. В. Импульсная промывка скважин – Донецк: «Ноулидж» (Донецк. отд.), 2010. – 275 с.
4. Разрушение горных пород при термоциклическом воздействии / А. Н.Москалев, Е. Ю.Пигида, Л. Г. Керекелица и др. – К.: Наук. думка, 1987. – 248 с.
5. Кожевников А. А., Вырвинский П. П. Термомеханическое разрушение горных пород при разведочном бурении с генерирование тепловой энергии // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства: Обзор ВНИИ ЭМС. – М., 1985. – 36 с.
6. Разрушение горных пород при резком охлаждении / А. А. Кожевников, В. В. Крысан, Ю. Н. Вахалин, и др. – Д.: ЛизуновПрес., 2011. – 152 с.
7. Dreus A. Yu., Sudakov A. K., Kozhevnikov A. A. et. Rock formation thermal strength reduction study in the course of diamond core drilling using pulse flushing mode // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2016.– N. 3. –P. 5–10.

*Поступила 08.06.17*