

**М.С. Попова**, канд. тех. наук

*Сибирский федеральный университет, пр. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 95,  
660095, г. Красноярск, Россия, e-mail: alleniram83@mail.ru*

## **ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЛМАЗНОГО РЕЗЦА БУРОВОГО ПОРОДРАЗРУШАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ГОРНОЙ ПОРОДОЙ**

*Основными требованиями к бурению выступают высокая скорость и качество, а также низкая стоимость работ. Наиболее востребованным и перспективным на сегодняшний день является алмазный тип породоразрушающего инструмента. Полевые условия работ предполагают вынужденные ограничения в наличии инструмента. Поэтому при конструировании бурового алмазного породоразрушающего инструмента следует учитывать возможность использования его в неоднородных горно-геологических условиях. Для создания эффективного бурового породоразрушающего инструмента с учетом всех требований и условий необходимы знания об особенностях взаимодействия алмазных резцов с горной породой.*

*Цель исследований: определение особенностей взаимодействия алмазных резцов различного типа с горной породой. Методы исследований: аналитические исследования, анализ. Результаты исследований: механизм разрушения горной породы овализированным алмазным монокристаллом и резцом PDC различен. Сведения об особенностях взаимодействия алмазного резца с горной породой позволяют осуществлять армирование бурового породоразрушающего инструмента с возможностью использования его в изменяющихся геологических условиях. Практическое значение: конструкция алмазного породоразрушающего инструмента, учитывающая особенности сменяющихся условий взаимодействия алмазного резца с породой, при правильной технологии его применения позволит сократить расходы на приобретение дополнительного оборудования.*

***Ключевые слова:** бурение, породоразрушающий инструмент, механизм разрушения, алмазный резец, сопротивление породы.*

**Постановка проблемы.** Ограничения в наличии инструмента при сооружении скважин зачастую связаны с полевыми условиями проведения буровых работ. Как правило, на производстве имеется однотипный породоразрушающий инструмент, подобранный по усредненным показателям геологических условий. При этом стоит задача использовать имеющееся оборудование с достижением наилучших результатов. Геологический разрез земной коры неоднороден, известны случаи, когда породы средней твердости перемежаются с твердыми и очень твердыми породами. Частая смена бурового инструмента не рентабельна, и подобные разрезы приходится проводить однотипным инструментом. Однако, изменение свойств вскрываемых горных пород влечет необходимость изменения механизма воздействия на нее режущего элемента, который, в свою очередь, претерпевает изменения в процессе эксплуатации. Наиболее востребованным в буровом деле является алмазный тип породоразрушающего инструмента. Он обладает высоким ресурсом, но при этом армирован самым мелким резцом – синтетическим алмазом. К тому же известный алмазный породоразрушающий инструмент имеет обширную область применения. Он используется в породах от средней твердости до очень твердых (V–XII категория по буримости). Современные производители классифицируют буровой породоразрушающий инструмент опираясь преимущественно на твердость пород, их абразивность и трещиноватость. Так, например, компания *Atlas Copco* маркирует синим цветом алмазные коронки, которые, согласно классификации производителя, могут проходить породы «средней твердости и

твердые горные породы от малоабразивных и слаботрещиноватых до монолитных», что указывает на возможность использования одной коронки в широких пределах [1].

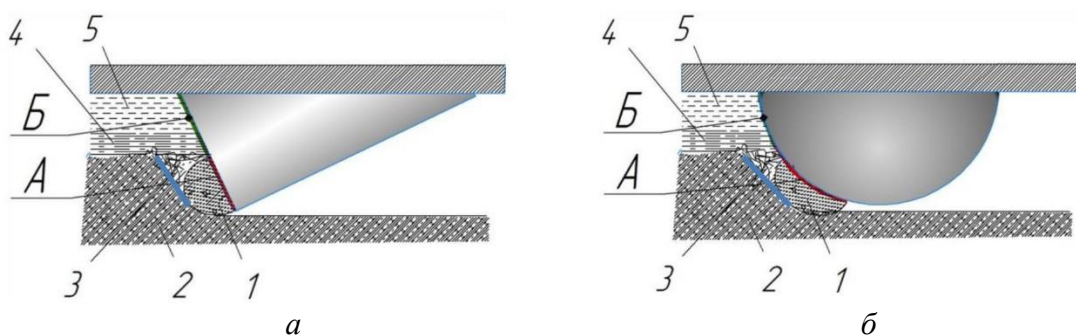
Основной целью работы является изучение особенностей взаимодействия алмазных резцов разного типа с горной породой.

**Методика.** Основой процесса бурения любого назначения является эффективное разрушение горных пород. Добиться значительных объемов разрушения возможно путем подбора подходящего для разупрочнения породы типа режущего элемента и технологии его воздействия на забой [2–5]. Знания об особенностях механизма разрушения породы тем или иным инструментом позволяют, маневрируя параметрами процесса бурения, получать наиболее высокие для данных условий показатели механической скорости бурения, углубления за оборот и энергоемкости.

Современные достижения материаловедения позволяют получать алмазные резцы разной прочности, размеров, а самое главное – форм. Основными алмазными резцами, применяемыми для армирования бурового инструмента, являются: овализированный алмазный монокристалл и резец типа PDC (аналог АТП).

Эффективность работы породоразрушающего инструмента зависит от объема разрушенной породы каждым его резцом. Согласно ранее проведенным исследованиям [3; 4], при внедрении резца в породу в процессе бурения под ним, по мере углубления, формируется несколько отличающихся по качеству областей разрушенной породы.

Рассмотрим подробнее данное заключение, ссылаясь на схемы, приведенные на рисунке.



*Схема механизма внедрения алмазного резца в горную породу: а – резец типа PDC (АТП); б – овализированный монокристалл (1 – ядро сжатия породы; 2 – неразрушенная горная порода; 3 – трещина отрыва; 4 – зона обильного насыщения промывочной жидкостью шламом; 5 – промывочная жидкость; А – режущая часть резца, внедренная в породу; Б – режущая часть резца, испытывающая сопротивление промывочной жидкости, обогащенной породой)*

За счет приложенной осевой нагрузки и сопротивления горного массива под режущей частью резца, в пределах его контакта с породой, образуется ядро сжатия породы 1, где порода пребывает в уплотненном состоянии. За счет совместного действия осевой нагрузки и тангенциального усилия, приложенных к резцу, от вершины ядра сжатия 1 формируется трещина 3, без образования которой невозможно разрушение породы и дальнейшее углубление породоразрушающего инструмента [3]. Характер формирования данной трещины зависит от величины и соотношения осевого и тангенциального усилий, приложенных к резцу, а также от физико-механических свойств разрушаемой породы. При этом, опираясь на исследования внедрения штампа в породу [3], угол скола породы можно считать не превышающим  $20^\circ$ .

В зависимости от свойств разрушаемой породы и характера нагрузки, прикладываемой к резцу, трещина 3 образуется либо между минеральными зёрнами породы, разрушая их связи,

как трещина скола, либо как трещина отрыва, разрушая минеральные зерна. Именно по плоскости образования данной трещины происходит скол и сдвиг породы перед рабочей гранью резца. Над трещиной в момент ее образования формируется зона разрушенной породы, которая впоследствии насыщается промывочной жидкостью 5, поступающей под торец породоразрушающего инструмента. Таким образом, под рабочей гранью резца образуется некая «среда», состоящая из промывочной жидкости (4, 5), разрушенной (1, 3) и неразрушенной (2) породы. Насыщаясь шламом, промывочная жидкость 4, которая при всем прочем еще и подвержена динамическим процессам, создает дополнительное сопротивление перемещению резца.

Рабочую грань резца можно разделить на две части: режущую, внедренную в породу и испытывающую ее сопротивление (А, рисунок), и ту часть, которая испытывает сопротивление промывочной жидкости, обогащенной породой (Б, рисунок). Причем каждая из них испытывает сопротивление различной степени, величина которой может меняться в процессе бурения в зависимости от множества факторов. Выделим основные из них.

Первый фактор – это физико-механические свойства горной породы. В зависимости от свойств разрушаемой породы, образованная «среда», состоящая из промывочной жидкости и породы, может быть различной степени вязкости и плотности. Характер разрушения породы, крупность и консистенция разрушенных частиц во многом будут влиять на насыщение промывочной жидкости шламом и изменение свойств «среды».

Второй – форма и размеры рабочей грани резца. Согласно анализу схемы, представленной на рисунке, и выражений, полученных из зависимостей Бернулли и Навье-Стокса [5], степень влияния образованной «среды» зависит от площади ее воздействия на резец.

Стандартный резец типа *PDC* имеет цилиндрическую форму. Основание такого цилиндра и является рабочей гранью, которая, согласно схеме (рисунок, а), испытывает сопротивление разной локации. Условно, площадь этой грани, непрерывно контактирующей со «средой», можно определить по формуле:

$$S = \pi r^2, \quad (1)$$

откуда видно, что сопротивление «среды» такому резцу тем больше, чем больше диаметр его рабочей грани.

Для овализированного алмазного монокристалла рабочей гранью является сфера (рисунок, б), площадь поверхности которой можно найти по формуле:

$$S = 0,125\pi dH. \quad (2)$$

Анализ формулы (2) показывает, что на степень сопротивления «среды» оказывает влияние диаметр и выпуск резца.

При этом следует помнить, что в процессе бурения резец изнашивается и его рабочая поверхность претерпевает изменения.

Третий фактор – режимы бурения. Большое значение на изменение положения ядра сжатия оказывают осевая нагрузка и тангенциальное усилие, приложенные к резцу [3, 6]. А положение ядра сжатия, в свою очередь, влияет на характер формирования и распространения трещины отрыва и, как следствие, на перераспределение описанных зон под резцом. К тому же оптимальная подача промывочной жидкости способствует эффективной очистке торцевой части породоразрушающего инструмента от шлама, что снижает время воздействия «среды» на торцевую часть резца.

Таким образом, на протяжении всего процесса взаимодействия резца с породой на него оказывает выталкивающее действие сопротивление со стороны забоя. Коэффициент сопротивления можно рассчитать по формуле [6]:

$$\mu_k = \frac{N_c h \left( \sqrt{\frac{h}{d}} - \frac{R_c}{P_{oc}} \right)}{h_{pl}} + f \quad (3)$$

Из формулы (3) видно, что помимо динамической составляющей работы бурового инструмента  $R_c$ , которая и будет зависеть от свойств «среды», значение величины сопротивления зависит и от других параметров. Величина сопротивления тем больше, чем больше глубина внедрения резца в породу  $h$ , а также чем больше количество резцов на торце породоразрушающего инструмента  $N_c$  и значение коэффициента трения резца о горную породу  $f$ .

Очевиден факт того, что при прочих равных условиях коэффициент трения овалезированного алмаза о породу меньше, чем у резца PDC.

### Выводы

Согласно анализу схемы взаимодействия алмазного резца с породой (рис.1) в процессе бурения, перед передней гранью алмазного резца возникает некая «среда», оказывающая сопротивление его перемещению.

При условии бурения в одинаковых геологических условиях, согласно проведенному анализу, возникновение повышенных сопротивлений образованной на забое среды во многом зависит от свойств перебуриваемой породы, технологии разрушения забоя и формы резца породоразрушающего инструмента.

Овалезированная форма резца больше защищена от воздействия сопротивления «среды» и имеет существенные преимущества использования в вязких, плотных породах. Учитывая современные возможности синтеза, изготовление крупного овалезированного алмаза является перспективным направлением в разработке породоразрушающего инструмента нового поколения.

**М.С. Попова**

*Сибірський федеральний університет, пр. ім. газети «Красноярський робітник», д. 95, 660 095,  
м. Красноярськ, Росія, e-mail: alleniram83@mail.ru*

### ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ АЛМАЗНОГО РІЗЦЯ БУРОВОГО ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ З ГІРСЬКОЮ ПОРОДОЮ

*Основними вимогами до буріння виступають висока швидкість і якість, а також низька вартість робіт. Найбільш затребуваним і перспективним на сьогоднішній день є алмазний тип породоруйнівного інструменту. Польові умови робіт припускають вимушені обмеження в наявності інструменту. Тому при конструюванні бурового алмазного породоруйнівного інструменту слід враховувати можливість використання його в неоднорідних гірничо-геологічних умовах. Для створення ефективного бурового породоруйнівного інструменту з урахуванням всіх вимог і умов необхідні знання про особливості взаємодії алмазних різців з гірською породою.*

*Мета досліджень: визначення особливостей взаємодії алмазних різців різного типу з гірською породою. Методи досліджень: аналітичні дослідження, аналіз. Результати досліджень: механізм руйнування гірської породи овалізованим алмазним монокристалом і різцем PDC різний. Відомості про особливості взаємодії алмазного різця з гірською породою дозволяють здійснювати армування бурового породоруйнівного інструменту з можливістю використання його в геологічних умовах, що змінюються. Практичне значення: конструкція алмазного породоруйнівного інструменту, що враховує особливості перемінних умов взаємодії алмазного різця з породою, при правильній технології його застосування дозволить скоротити витрати на придбання додаткового обладнання.*

**Ключові слова:** буріння, породоруйнівний інструмент, механізм руйнування, алмазний різець, опір породи.

**M. S. Popova**

*Siberian Federal University, 95, Krasnojarskiy rabochiy Avenue, Krasnoyarsk, 660095, Russia,  
e-mail: alleniram83@mail.ru*

### **SPECIFIC FEATURES OF INTERACTION OF DIAMOND CUTTER OF ROCK-DESTROYING TOOL WITH ROCK**

*The main requirements for drilling are high speed and quality, as well as low cost of work. The most popular and promising today is the diamond type of rock cutting tool. Field work conditions imply forced restrictions on the availability of tools. Therefore, when designing a drilling diamond rock cutting tool, it is necessary to take into account the possibility of using it in heterogeneous mining and geological conditions. To create an effective drilling rock cutting tool, taking into account all the requirements and conditions, as well as knowledge about the peculiarities of the interaction of diamond cutters with rocks are required.*

*Purpose of research: to determine the features of the interaction of different types of diamond cutters with rocks. Research methods: analytical research, analysis, computer modeling method. Research results: the mechanisms of destruction of rocks by an ovalized, sharpened diamond and by a PDC cutter are different. Knowledge about the peculiarities of the interaction of a diamond cutter with a rock makes it possible to reinforce a drilling rock-cutting tool with the possibility of using it in changing geological conditions. Practical value: the design of the diamond rock cutting tool, taking into account the peculiarities of the changing conditions of the interaction of the diamond cutter with the rock, and in case technology of its application is correct, will reduce the cost of purchasing additional equipment.*

**Key words:** *drilling, rock cutting tool, destruction mechanism, diamond cutter, rock resistance.*

#### **Литература**

1. Каталог буровых коронок. Продукция для разведочного бурения *Atlas Copco* Онтарио, Канада [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://miningcomp.ru/generic/uploaded/katalog\\_excove\\_koronok\\_2014\\_6991\\_1794\\_01\\_1\\_rus\\_korrektir\\_.pdf](http://miningcomp.ru/generic/uploaded/katalog_excove_koronok_2014_6991_1794_01_1_rus_korrektir_.pdf) (дата обращения 04.03.2021).
2. Будюков Ю.Е., Власюк В.И., Спиринов В.И. Алмазный породоразрушающий инструмент. – Тула: ИПП «Гриф и К<sup>о</sup>», 2005. – 288 с.
3. Нескоромных В.В. Разрушение горных пород при бурении скважин: учебное пособие. – М.: ИНФРА-М; Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. – 336 с.
4. Соловьев Н.В., Исонкин А.М., Богданов Р.К., Шестаков С.И. Механизм разрушения горной породы и определение составляющих сил ее резания буровым инструментом, оснащенным алмазно-твердосплавными пластинами // Инженер-нефтяник. – 2010. – № 1. – С. 33–36.
5. Нескоромных В.В., Попова М.С., Чихоткин А.В., Головченко А.Е., Шубенина Е.Е. Анализ влияния сил сопротивления на эффективность бурения инструментом типа PDC // Инженер-нефтяник. – 2020. – № 1. – С. 16–23.
6. Нескоромных В.В., Попова М.С., Баочанг Л. Сопротивление породы при бурении мелкорезцовым алмазным инструментом // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 6. – С. 167–177.

*Поступила 24.06.21*

#### **References**

1. Catalog of drill bits. Exploration Drilling Products *Atlas Copco* Ontario, Canada. (n.d.). *miningcomp.ru*. Retrieved from [http://miningcomp.ru/generic/uploaded/katalog\\_excove\\_koronok\\_2014\\_6991\\_1794\\_01\\_1\\_rus\\_korrektir\\_.pdf](http://miningcomp.ru/generic/uploaded/katalog_excove_koronok_2014_6991_1794_01_1_rus_korrektir_.pdf).
2. Budyukov, Yu.E., Vlasyuk, V.I., & Spirin, V.I. (2005). *Almaznyi porodorazrushaiushchii instrument [Diamond rock cutting tool]*. Tula: IPP «Vulture and K<sup>o</sup>» [in Russian].

3. 3. Neskromnih, V.V. (2015). *Razrushenie gornyh porod pri burenii skvazhin [Destruction of rocks during drilling]*. Moscow: INFRA-M; Krasnoyarsk: SFU [in Russian].
4. 4. Soloviev, N.V., Isonkin, A.M., Bogdanov, R.K., & Shestakov, S.I. (2010). *Mekhanizm razrusheniia gornoj porody i opredelenie sostavliaiushchikh sil ee rezaniia burovym instrumentom, osnashchennym almazno-tverdosplavnymi plastinami [The mechanism of rock destruction and determination of the components of its cutting forces with a drilling tool equipped with diamond carbide inserts]*. *Inzhener-neftjannik – Petroleum Engineer, 1*, 33–36 [in Russian].
5. 5. Neskromnykh, V.V., Chikhotkin, A.V., et al. (2020). *Analiz vliyaniya sil soprotivleniya na effektivnost' bureniya instrumentom tipa PDC [Analysis of the influence of resistance forces on drilling efficiency with a PDC tool]*. *Inzhener-neftjannik – Petroleum Engineer, 1*, 16-23 [in Russian].
6. 6. Neskromnykh V.V. Popova, M.S., & Baochanh, L. (2021). *Soprotivlenie porody pri burei melkoreztsovim almaznym instrumentom [Rock resistance when drilling with small cutting diamond tools]*. *Izvestiia Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhenerinzh heoresursos – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 332*, 6, 167–177 [in Russian].

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2708-731X-24-1-62-76

**О.М. Давиденко**, д-р техн. наук; **В.О. Расцветаев**, канд. техн. наук;  
**О.О. Дмитрук**, **В.Є. Коровяка**

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,  
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: davidenko.a.n@ntu.one*

### **ОСОБЛИВОСТІ ДЕЯКИХ ВЗАЄМОДІЙ, СУПРОВОДЖУЮЧИХ ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В БУРОВИХ СВЕРДЛОВИНАХ**

*Мета роботи – дослідження сутності ключових фізико-хімічних і механічних процесів, що протікають при виконанні основних свердловинних і допоміжних операцій бурового циклу та визначення на їх основі змісту і послідовності виконання певних технологічних заходів гідравлічної програми промивання свердловин.*

*Методика – визначення змісту завдання та складання і формалізація розрахункової схеми досліджуваного об'єкту; розробка фізико-хімічної і механічної моделей, що описують характер відповідних технологічних процесів; вибір способу рішення поставлених завдань; рішення основних математичних залежностей процесу з максимальним використанням обчислювального експерименту; аналіз отриманих результатів; формулювання адекватних висновків та рекомендацій.*

*Проведеними дослідженнями послідовно проаналізовано вплив параметрів очисного агента на вибійні процеси руйнування порід та підтримки стійкості стінок стовбура свердловини. Показано наявність взаємозв'язку між фізико-геометричними і механічними характеристиками продуктів руйнування та дисперсної фази бурових розчинів, а також циркуляційними свердловинними та допоміжними процесами реалізації гідравлічної програми промивання свердловини, що знаходяться в прямій залежності від різноманіття геолого-технічних факторів. Здійснено експериментально-теоретичні дослідження кінетики подрібнювання гірських порід (компонентів складного бурового розчину), з урахуванням впливу на цей процес робочого середовища. Проведено лабораторні дослідження впливу середовища, до складу якого входять речовини, що вибірково хемосорбуються на поверхні розділу фаз, на процес руйнування матеріалів у кульовому, газоструменевому і вібраційному подрібнювачах. Аналіз механізмів руйнування гірських порід при бурінні свердловин показав, що в їхній основі лежать хвильові процеси, вплив на які мають промивні рідини.*