

*the annular and central channels. By using and solving the differential equation of the process of removal of drilling products from the bottomhole zone with drilling fluid, dependencies are obtained to determine the the speed and required amount of fluid supplied to the drilling zone and speed of the rock cutting tool, which ensure a qualitative cleaning of the bottomhole zone in the drilling process.*

**Key words:** *bottom zone, washing, assembling, removal of drilling products, regulations, regime-technological factors*

### **Литература**

1. Пат. 99/00192 Аз. Р. Компонировка для разрушения и очистки пород призабойной зоны / Р. А. Гасанов, О. К. Мамедов, Г.Н. Меджидов и др. ГКНТ. – 2001. – № 1. – С. 12.
2. Байдюк Б. В. Физико-механические основы процессов бурения скважин. Обзорная информация. Сер. «Бурение газовых и газоконденсатных скважин». – М.: ИРЦ Газпром, 1993. – 77 с.
3. Басарыгин Ю. М., Булатов А. И., Проселков Ю. М. Технология бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Недра, 2001 – 680 с.
4. Бревдо Г. Д., Гериш К. Оптимизация параметров режима бурения. – М.: ВНИИОЭНГ, 1980. – 60 с.

*Поступила 12.06.17*

УДК 622.24

**А. Н. Давиденко, д-р техн. наук, А. А. Игнатов, П. П. Полищук**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОПРОСОВ МЕХАНИКИ ДРОБОВОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН**

*Проанализированы состояние и перспективы развития техники и технологии дробового бурения. Рассмотрены особенности конструкции и принцип действия усовершенствованного дробового снаряда. Изучены вопросы механики разрушения горных пород дробовым буровым снарядом и влияния на него поверхностно-активных веществ, содержащихся в буровом растворе.*

**Ключевые слова:** *дробовой способ бурения, забой скважины, механизм разрушения, буровой раствор, поверхностно-активное вещество.*

### **Введение**

Дробовое бурение как разновидность вращательного метода исследовали в связи с необходимостью разрушения крепких горных пород высших категорий по буримости [1]. Дробовое бурение скважин во многом специфично, как относительно необходимых инструментов, так и технологии. Многие специалисты считают дробовое бурение устаревшей технологией, которую сменили более совершенные методы, в частности алмазное бурение. Вместе с тем конструктивные и технологические изыскания в указанной области позволяют утверждать, что при некотором усовершенствовании инструмента и режимных параметров перед дробовым способом открываются новые перспективы.

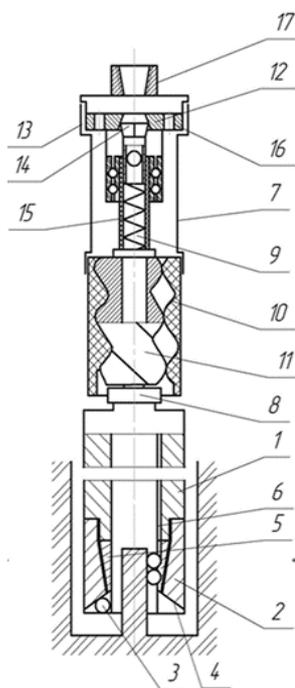
В соответствии с обозначенными условиями на кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета разработали конструкцию, содержащую, как и базовая [2], коронку (видоизмененную), керноприемник и переходник.

Для обеспечения эффективной работы проектируемого снаряда дробового бурения необходимы дополнительные исследования вопросов механики разрушения горных пород под торцом породоразрушающего инструмента [3].

Цель настоящей статьи – изучить механику разрушения горных пород усовершенствованным снарядом дробового способа бурения при обеспечении значительного повышения производительности и экономичности геологоразведочных работ.

### Основной материал

Снаряд дробового способа бурения представляет собой следующую конструкцию. В породоразрушающем кольце 2 выполнены сквозные гнезда переменной высоты для размещения дроби 3 (см. рисунок). Кроме того, кольцо и керноприемник 1 установлены в корпусе соосно с обязательным совмещением соответствующих коллекторных пазов. Во внутренней полости породоразрушающего кольца расположено рвательное устройство для срыва и дальнейшего удержания керна. Верхняя часть керноприемника через переходник соединена с полым ротором забойного винтового двигателя, служащего приводом для снаряда.



Общая схема снаряда для дробового бурения

Керноприемник 1 с вертикальными коллекторными пазами 6 в нижней части оснащен породоразрушающим кольцом 2 со специальными посадочными сквозными гнездами переменной высоты 4. Кольцо 2 концентрично и скользяще соединено с кернорвателем 5, в котором также выполнены внутренние коллекторные пазы 6 для размещения дроби 3. При этом сквозные гнезда 4 и коллекторные пазы 6 кернорвателя 5 и керноприемника 1 соответственно соединены. Верхняя часть керноприемника 1 сообщена с винтовым двигателем 7, служащим источником создания крутящего момента, через переводник 8 передающегося на керноприемник 1 и породоразрушающее кольцо 2. Привод винтового двигателя, который состоит из следующих основных конструктивных узлов: гибкого полого вала 9, металлорезинового статора 10 и полого ротора 11, фланца 12, шлицевых разъемов 13, цангового клапана 14, пружины 15, циркуляционных каналов 16, ниппеля 17, осуществляется с помощью промывочной жидкости, циркулирующей по бурильной колонне.

При возникновении циркуляции промывочной жидкости в бурильных трубах начинается вращательное движение винтового двигателя 7, крутящий момент которого через переходник 8 и соответственно корпус керноприемника 1 и породоразрушающее кольцо 2 передается дробинкам 3, взаимодействующим с породой забоя и разрушающим ее. Специальные сквозные гнезда 4 переменной высоты необходимы для размещения и устойчивого удержания дробинки 3 и надежной передачи на них крутящего момента. Вследствие постоянного вращения и создания осевой нагрузки на дробинки 3 порода на забое разрушается. При этом дробинки изнашиваются и постепенно удаляются из гнезд 4. На место изношенных дробинки из вертикальных коллекторных пазов 6 поступают более крупные и работоспособные.

Механическому разрушению твердого тела, т.е. образованию новой свободной поверхности под воздействием приложенных внешних нагрузок, всегда предшествует этап нагружения сосредоточенной нагрузкой [4]. Этот процесс при заданном характере распределения системы внешних сил характеризуется определенным распределением

внутреннего напряжения и связанной с ним деформации, описывающиеся известными соотношениями теории упругости. Дальнейшее развитие разрушения во многом определяется характером и интенсивностью этого напряжения (деформации). Исследуя механику взаимодействия среды и твердого тела при разрушении, важно определить влияние каждого фактора на распределение напряжения в этих телах. В частности, важно установить, как влияет на распределение напряжения среда на поверхности нагружения.

В механике образования и развития трещин рассматривают три типа: отрыв, сдвиг и срез [5]. При разрушении горных пород в процессе бурения скважин наблюдаются все типы трещинообразования, однако преобладают трещины отрыва и сдвига. В соответствии с обозначенным были проведены эксперименты по исследованию влияния среды на процесс зарождения и развития трещин отрыва и сдвига.

В качестве критерия для оценивания влияния среды на трещинообразование использовали критическое значение коэффициента интенсивности напряжения при вершине трещины ( $K_{Ic}$ ), зависящего от прочностных и упругих характеристик материала, начальных размеров трещин и на который влияет среда. Вязкость разрушения для трещин отрыва в бесконечных пластинах определяется выражением

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a}, \quad (1)$$

где  $\sigma_c$  – разрушающее нормальное напряжение;  $a$  – линейный размер трещины.

Для пластин конечных размеров

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a} f\left(\frac{a}{W}\right), \quad (2)$$

где  $W$  – ширина пластины.

В основу эксперимента был положен известный способ определения вязкости разрушения при трехточечном изгибе.

Для такой схемы нагружения

$$K_{Ic} = \frac{P_c S}{BW^{3/2}} \left[ 2,9 \left(\frac{a}{W}\right)^{1/2} - 4,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{3/2} + 21,8 \left(\frac{a}{W}\right)^{5/2} - 37,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{7/2} \right], \quad (3)$$

где  $P_c$  – разрушающее усилие,  $B$  – высота образца,  $S$  – длина участка нагружения.

При  $a \ll W$  членами полинома (3) высших степеней можно пренебречь:

$$K_{Ic} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} \sqrt{a}. \quad (4)$$

Если величина  $K_{Ic}$  является мерой трещиностойкости материала, величина  $\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}}$

может характеризовать трещиностойкость конкретного образца из определенного материала

$$\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} = \alpha P_c, \quad (5)$$

где  $\alpha = 2,9 \frac{S}{BW^2}$  – коэффициент, характеризующий геометрические размеры образца.

Как следует из (5),  $\psi(a)$  является линейной функцией разрушающей нагрузки  $P_c$ . При этом для образцов из одного материала концентраторов напряжения (трещин) одинакового начального размера справедлива зависимость

$$\psi(a_1) = \psi(a_2) = \psi(a_3) = \dots, \quad (6)$$

Линейный характер выражения (5) позволяет использовать для характеристики прочностных свойств образцов разрушающую нагрузку, а по зависимости (6) сравнивать образцы различных геометрических размеров.

Действительно, на основании (6) можно записать

$$\alpha^* P_c^* = \alpha_1 P_{c1} = \alpha_2 P_{c2} = \dots, \quad (7)$$

где  $\alpha^*$  – некоторое приведенное значение коэффициента, характеризующего геометрические размеры образца;  $P_c^*$  – соответствующая этим размерам приведенная нагрузка.

Из (7) имеем

$$P_c^* = P_{c1} \frac{\alpha_1}{\alpha^*} = P_{c2} \frac{\alpha_2}{\alpha^*} = \dots \quad (8)$$

или

$$P_c^* = P_{ic} K_i, \quad (9)$$

где  $K_i = \frac{\alpha_i}{\alpha^*} = \frac{B^* W^{*2}}{B_i W_i^2}$  – коэффициент приведения;  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  – номер опыта;  $n$  – количество опытов в эксперименте.

Если среда влияет на зарождение и развитие трещины, то для образцов с одинаковыми размерами трещин, разрушаемых в различных средах, зависимость (6) выполняться не будет, т.е.

$$\psi'(a) \neq \psi''(a), \quad (10)$$

$$P_c^{*'} \neq P_c^{*''}. \quad (11)$$

В результате исследований установлено, что среда влияет на развитие трещин отрыва. Трещины сдвига встречаются в процессе бурения чаще (особенно это касается дробового способа бурения), чем трещины отрыва.

Коэффициент интенсивности напряжения при сдвиге

$$K_{IIc} = \tau_c \sqrt{\pi a}, \quad (12)$$

где  $\tau_c$  – разрушающее касательное напряжение.

При этом вязкость разрушения

$$K_{IIc} = \frac{P_c}{2BW} \sqrt{\pi a}. \quad (13)$$

В рассмотрение введем функцию

$$\psi_{\tau}(a) = \frac{K_{IIc}}{\sqrt{a}} = \frac{\sqrt{\pi}}{2BW} P_c, \quad (14)$$

и соответствующую ей приведенную разрушающую нагрузку

$$P_c^* = K_i P_c \quad (15)$$

и коэффициент приведения

$$K_i = \frac{B^* W^*}{B_i W_i}. \quad (16)$$

Приведенная нагрузка характеризует разрушение образца при одноосном сжатии. Условия проведения экспериментов и их результаты приведены в таблице.

**Условия проведения и результаты экспериментов по определению влияния среды на зарождение и развитие трещин сдвига**

Номер эксперимента	Средняя скорость нагружения, (Н/с)	Среда	Продолжительность травления, мин	Количество опытов	Среднее значение разрушающей нагрузки, Н
1	78	Воздух	8	20	3582,5
2	78	Дистиллированная вода	8	20	3497,4
3	78	Синтанол	8	20	2759,9
4	78	Неонол	8	20	3597,9

Проанализировав полученные данные, приходим к выводу, что вещества, адсорбирующиеся на поверхности горных пород [6], могут интенсифицировать зарождение и развитие трещин сдвига и, следовательно, их применение позволит повысить эффективность процесса бурения проектируемым снарядом.

**Выводы**

1. Приведены общие сведения о дробовом способе бурения.
2. Рассмотрена принципиальная конструктивно-технологическая схема проектируемого снаряда дробового бурения.
3. Изучены вопросы механики разрушения горных пород под торцом породоразрушающего инструмента бурового снаряда и влияния на него содержащихся в буровом растворе поверхностно-активных веществ.

*Розглянуто особливості конструкції та принцип дії вдосконаленого дробового пристрою. Вивчено питання механіки руйнування гірських порід дробовим буровим пристроєм і впливу на нього поверхнево-активних речовин, що містяться в буровому розчині.*

**Ключові слова:** дробовий спосіб буріння, забій свердловини, механізм руйнування, буровий розчин, поверхнево-активна речовина.

**RESEARCH OF QUESTIONS OF MECHANICS OF SHOT WELL-DRILLING**

*The state and prospects of development of technique and technology of the chilled-shot drilling is analysed. The features of construction and principle of action of the improved chilled-shot device are considered. The questions of mechanics of destruction of mountain breeds and influence a chilled-shot boring projectile are studied on it the surface-active substances contained in boring solution.*

**Key words:** chilled-shot method of the boring drilling, well face of bore hole, mechanism of destruction, cleaning agent, surface-active substances.

*Проаналізовано стан і перспективи розвитку техніки та технології дробового буріння.*

**Литература**

1. Остроушко И. А. Забойные процессы и инструменты при бурении горных пород – М.: Госгортехиздат, 1962. – 272 с.
2. Пат. 111350 № а201311764 Україна, МПК Е 21 В 7/16. Пристрій для дробового буріння / А. О. Ігнатов. – Заявл. 07.10.13; Опубл. 25.04.16; Бюл. № 8.
3. Давиденко А. Н., Ігнатов А. А. Некоторые вопросы дробового бурения скважин // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2015.– Вып. 18. – С. 66–69.

4. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.
5. Павлова Н. Н., Шрейнер Л.А. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. – М.: Недра, 1964. – 160 с.
6. Давиденко А.Н., Игнатов А. А., Полищук П. П. Транспортировка продуктов разрушения при бурении скважин. – Д.: Изд-во РВК НГУ, 2016. – 116 с.

*Поступила 16.06.17*

**А. О. Игнатов**

*Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпро, Україна*

## **ОСОБЛИВОСТИ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРОБКИ СТОВБУРА СВЕРДЛОВИНИ**

*Проаналізовано ключові питання підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони і тампонування. Вивчено особливості виконання та механізм дії пристрою для обробки стовбура свердловини на глинисто-шламові утворення. Показано, що проєктований пристрій дає змогу значно прискорювати та спрямовувати потік промивальної рідини на об'єкти оброблення.*

**Ключові слова:** *Свердловина, каверна, глинисто-шламові скупчення, пристрій для обробки, очисної агент.*

### **Вступ**

Практика бурових робіт показує, що в умовах виробничого циклу етапу підготовки стовбура свердловини до спуску обсадних колон, і особливо в складних горно-геологічних умовах, уваги приділяється абсолютно недостатньо. Аналіз існуючих технологічних методів підготовки стовбура свердловини до спуску обсадної колони і тампонування свідчить про їх низьку ефективність через відсутність науково обґрунтованих підходів [1]. Тільки на основі глибоких якісних і кількісних досліджень можливе корінне підвищення показників будівництва свердловин, за наявності в їх розрізі кавернозних інтервалів. Підготовчі заходи мають бути підпорядковані головній меті – видаленню із стовбура свердловини агентів, здатних змішуватися з тампонажним розчином.

Саме цими обставинами була викликана необхідність розробки спеціальних прийомів і методів підготовки стовбура свердловини до кріплення і як наслідок створення принципово інших технічних засобів, покликаних в комплексі забезпечити підвищення якості видалення глинисто-шламових паст з кавернозних інтервалів [2].

Метою цієї статті є вирішення задачі створення конструкції пристрою для обробки стовбура свердловини, в якому конструктивні особливості виконання та функціонування робочого органу забезпечують виконання вимог щодо якості очищення кавернозних інтервалів.

### **Основний матеріал**

З метою вирішення поставленої задачі створення конструкції пристрою для обробки стовбура свердловини на кафедрі техніки розвідки РКК Національного гірничого університету розроблено конструкцію [3], в якій особливості виконання та механізм дії на глинисто-шламові утворення дає змогу значно прискорювати та спрямовувати потік промивальної рідини на об'єкти оброблення, зокрема глинисто-шламові пасти, що істотно збільшить якість очищення кавернозних інтервалів, а отже і тампонування стовбура свердловини, а за рахунок цього скоротяться грошові витрати і час на ліквідацію ускладнень та аварій пов'язаних з