

### Литература

1. Масленников И.К. Инструмент для бурения скважин / И.К. Масленников, Г. И. Матвеев. – М.: Недра, 1981. – 336 с.
2. Пат. 95202 № а201009658 Україна, МПК Е 21 В 10/46 (2006.01). Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Заявл. 02.08.2010; Опубл. 11.07.2011; Бюл. № 13.
3. 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.
4. Гавриленко Н.М. Поверхностно-активные антифрикционные добавки при бурении скважин / Н.М. Гавриленко, А.Н. Давиденко, Н.А. Дудля. – К.: Наукова думка, 1990. – 104 с.
5. Эпштейн Е.Ф. Износ твердых сплавов при трении по горным породам при колонковом разведочном бурении / Е.Ф. Эпштейн. – М.: Гостоптехиздат, 1952. – 172 с.
6. Боуден Ф.П., Тейбор Д. Трение и смазка / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машгиз, 1960. – 151 с.

Поступила 18.05.15

УДК 622.24

**А. А. Пашенко**, канд. техн. наук, **А. А. Игнатов**

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

### ОСОБЕННОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО СНАРЯДА ДЛЯ БУРЕНИЯ НАПРАВЛЕННЫХ СКВАЖИН

*Рассмотрены основные конструктивные и технологические особенности специализированного гидромеханического снаряда для бурения направленных скважин. Показаны перспективность и обоснованность его внедрения в практику буровых работ. Изучены вопросы механики разрушения породного массива с помощью спроектированного снаряда.*

**Ключевые слова:** струйный аппарат, гидромеханический способ бурения, шары, забой скважины, рейс, механизм разрушения.

Последние годы ознаменовались значительным увеличением объемов бурения наклоннонаправленных скважин, что связано как с расширением спектра технологических задач, решаемых с помощью отмеченных объектов, так и требованиями к экономичности геологоразведочных и прочих работ соответствующего профиля.

В отличие от вертикальных наклонно-направленные скважины требуют выполнения дополнительных операций, номенклатура которых определяется целью бурения.

В настоящее время наклонное и горизонтальное бурение наиболее широко применяется в практике строительства нефтегазовых скважин.

В связи с тем, что условия применения и требования к результатам работ по искривлению скважин значительно изменились, применявшиеся ранее оборудование и технологии по характеристикам зачастую не соответствуют задачам, геолого-технических проектов бурения. Это обусловило разработку новых устройств наклонно-направленного бурения и сопутствующих технологий. Последнее определило направленность в модернизации снаряда гидромеханического бурения.

Цель настоящей работы – изучить особенности специализированного гидромеханического снаряда для бурения направленных скважин и технологию его применения.

#### Методика исследований

Указанные основные принципы модернизации трансформировались в постановку задачи усовершенствования шароструйного устройства, принципиально новое конструктивное исполнение механического породоразрушающего органа и схемы бурения которого обеспечивает значительное снижение мощности для создания нагрузки на механический породоразрушающий орган аппарата, прежде всего в скважинах с интенсивной кривизной. При этом реализуется вращательный метод формирования периферийной зоны забоя с использованием обломков шариков и продуктов разрушения горных пород.

Специалисты кафедры техники разведки месторождений полезных ископаемых Государственного ВУЗа «НГУ» предлагают следующий вариант решения сформулированной задачи [1]: в известный гидромеханический снаряд, включающий корпус со струйным аппаратом, породоразрушающий башмак и шарики, согласно разработке дополнительно ввести винтовой двигатель, соединенный с колонной бурильных труб и корпусом струйного аппарата, механический породоразрушающий орган которого выполнен в виде матрицы, причем её верхняя часть жестко соединена с корпусом струйного аппарата, нижняя пористая.

Указанное устройство (рис. 1) работает следующим образом: при возникновении циркуляции промывочной жидкости во внутренней части корпуса 1 устройства, начинают активное движение породоразрушающие шарики 3, которые, взаимодействуя с породой забоя, разрушают ее и разрушаются сами. В призабойной зоне поток промывочной жидкости разделяется на две составляющие, одна из которых с породоразрушающими шариками поднимается к струйному аппарату 2, а другая, обогащенная продуктами разрушения, выходит в затрубное пространство между торцом и корпусом матрицы 4 и забоем и стенками скважины соответственно. Породоразрушающая матрица 4 в нижней части устройства необходима для формирования прямоугольного профиля забоя скважины за счет реализации вращательного разрушения его криволинейных стенок, возникновение которых обусловлено технологической схемой бурения и приводит к снижению механической скорости бурения или полной остановке углубления. Этот механизм разрушения характеризуется следующей схемой. Породоразрушающие шарики 3, которые циркулируют вместе с промывочной жидкостью в интервале от плоскости забоя до струйного аппарата 2, вследствие взаимодействия с горной породой непрерывно разрушаются. При этом обломки шариков и горной породы потоком промывочной жидкости размещаются и удерживаются в пористой структуре 5 нижней части матрицы. Вследствие постоянного вращения и создания осевой нагрузки на обломки путем абразивного износа они разрушают породу на забое и формируют его периферийную зону. При этом продолжают истираться продукты разрушения шариков и горной породы, и они удаляются из пористой структуры. На место изношенных обломков поступают более работоспособные.

Постоянное вращение матрицы 4 обусловлено наличием в верхней части корпуса винтового двигателя 8, основным преимуществом которого является относительно небольшие габаритные размеры, позволяющие ему беспрепятственно перемещаться в скважине с интенсивной степенью кривизны и большими зенитными углами. Винтовой двигатель приводится в движение промывочной жидкостью.

Механику разрушения породного массива с помощью спроектированного снаряда можно быть пояснить на основе следующих выкладок. Пусть на тело действует некоторая система объемных и поверхностных сил, статически эквивалентная нулю. В этом случае тело находится в равновесии и, следовательно, все элементарные области. Для простоты анализа обычно в качестве подобного тела принимают параллелепипед. Взаимодействие этого элемента с остальной средой приводит к появлению на его гранях усилий, которые ввиду малости сторон считаются равномерно распределенными. Напряжения на сторонах символически сводятся к силам, приложенным к центральной точке каждой грани (рис. 2) [2].

Система сил, действующих на элементарный параллелепипед, описывается уравнениями равновесия [3]

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + P_x &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + P_y &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + P_z &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, для определения напряжения на любой площадке, проходящей через выбранную точку, необходимо знать девять компонент напряжения  $\sigma_x, \tau_{xy}, \dots, \tau_{zy}$ .

Для рассмотрения поставленной задачи – распределение напряжений в некотором объеме породы при нагружении ее гладким плоским штампом, упрощаем систему сил и координат. Условно принимаем, что разрушение происходит по некоторой плоскости и отрываемый элемент имеет симметричное сечение по плоскости оси  $z$  (рис. 3, 4). Это позволяет свести систему координат к двум осям и решать задачу для области  $-\infty < x < +\infty, |y| \leq h$  [3]. В этой области требуется определить напряжения  $\sigma_x, \tau_{xy}$ , возникающие от действия силы  $F_o$ , удовлетворяющие уравнению равновесия

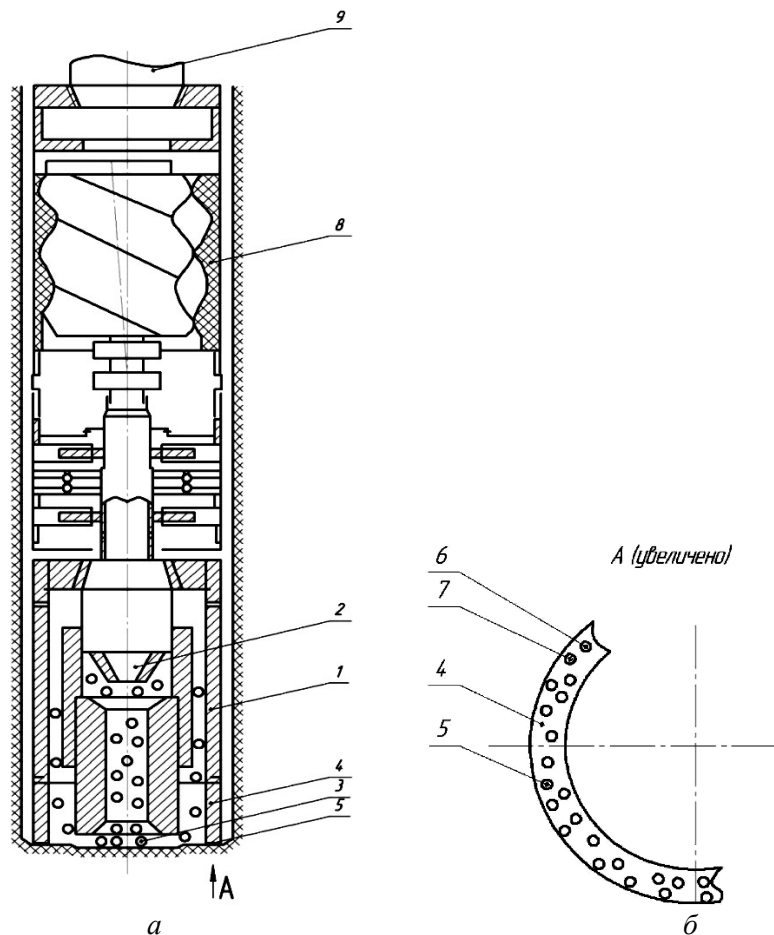


Рис. 1. Общая схема снаряда шароструйно-абразивного бурения: а – общий вид снаряда; б – вид забоя с породоразрушающими элементами.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_o = 0 \quad (2)$$

и принимающие на границе заданные значения

$$\sigma_x(x)|_{x=\pm D_{\text{перед}}} = f(y), \quad (3)$$

$$\tau_{xy}(x,y)|_{y=\pm h} = \pm g(x). \quad (4)$$

В свою очередь касательные и нормальные напряжения при отрыве симметричного конусообразного элемента по элементарным площадкам

$$\sigma_y(x)|_{x=\pm D_{\text{перед}}} = \frac{4F_o}{\pi(D_{\text{перед}}^2 - d_n^2)}, \quad (5)$$

$$\tau_{xy}(x,y)|_{y=\pm h} = F_o/S_{xy} = \frac{4F_o}{\pi x(\pm h)}. \quad (6)$$

Пусть сила на пуансоне уравновешивается силой реакции породы, начало координат - из середины вершины усеченного конуса отрыва (рис. 2). Тогда уравнение равновесия принимает вид:

$$F_o^2 = (F_y)^2 + (F_x)^2 = (\tau_{xy} S_y)^2 + (\sigma_y S_x)^2. \quad (7)$$

Подставляя в уравнение (7) значения  $\sigma_p$  и  $\tau$  из уравнений

$$F_o^2 = \left( [\sigma_p] \frac{\pi(D_{\text{перед}}^2 - d_n^2)}{4} \right)^2 + ([\tau] \pi D_{\text{перед}} h)^2. \quad (8)$$

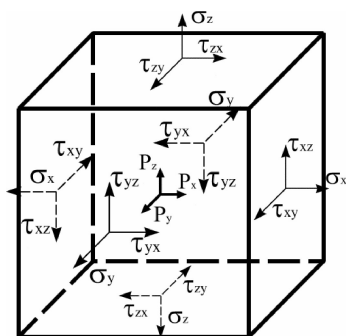


Рис. 2. Элементарный параллелепипед

(5), (6), получаем

Отсюда

$$h = \sqrt{\left(\frac{F_o}{\pi[\tau]\partial D}\right)^2 - \left(\frac{[\sigma_p](\partial D^2 - d_n^2)}{4\pi[\tau]\partial D}\right)^2}, \quad (9)$$

дифференцируя по  $h$ , изменение высоты  $\partial h$  от диаметра  $\partial D$  (рис. 4) будет составлять:

$$\partial h = \sqrt{\left(\frac{F_o}{\pi[\tau]\partial D}\right)^2 - \left(\frac{[\sigma_p](\partial D^2 - d_n^2)}{4\pi[\tau]\partial D}\right)^2}. \quad (10)$$

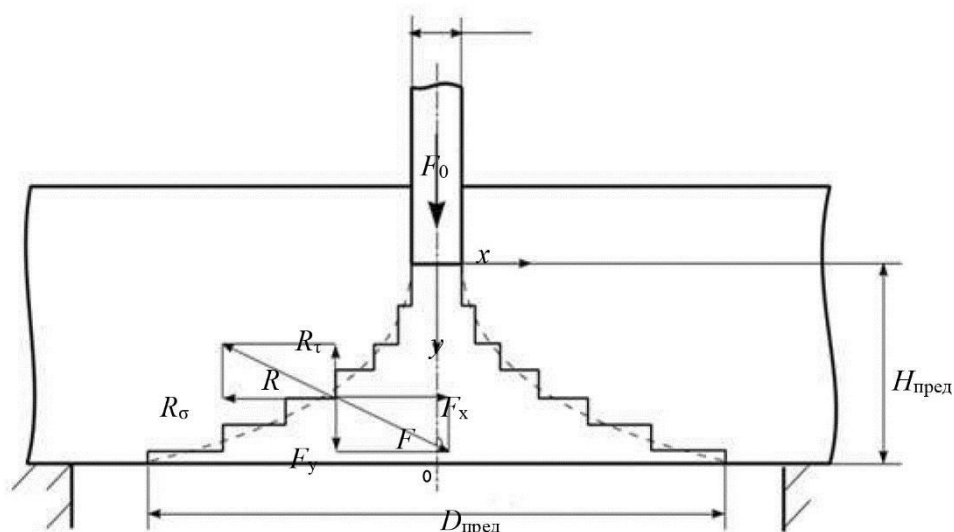


Рис. 3. Распределение усилий при отрыве элемента от массива

С учетом рассчитанного усилия отрыва для обоих образующих элемента и того, что кривая описывает только одну сторону элемента, получим:

$$\partial h = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{F_o}{\pi[\tau]\partial D}\right)^2 - \left(\frac{[\sigma_p](\partial D^2 - d_n^2)}{4\pi[\tau]\partial D}\right)^2}. \quad (11)$$

В интегральном выражении это уравнение имеет вид:

$$h = \frac{1}{2} \int_{D_n}^{d_n} \sqrt{\left(\frac{F_o}{\pi[\tau]D}\right)^2 - \left(\frac{[\sigma_p](D^2 - d_n^2)}{4[\tau]D}\right)^2} dD. \quad (12)$$

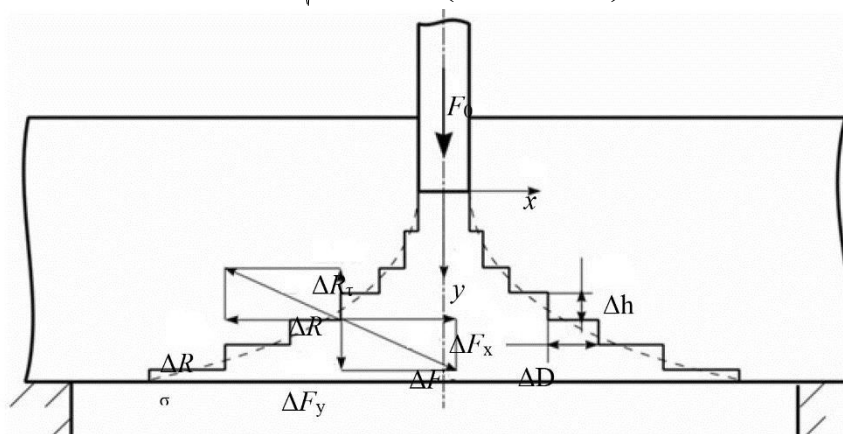


Рис. 4. Приращение усилий в отрываемом элементе

При интегрировании на ЭВМ численными методами (секущих кривых) по уравнению (12) можно рассчитать криволинейную образующую отрываемого элемента, близкую к экспериментальной. Сравнив геометрические размеры отрываемого элемента, полученные согласно такой математической модели, с экспериментальными значениями и положением что криволинейная образующая описывается уравнением эллипса, можно судить о правомерности использования в расчетах математической модели.

### **Выводы**

Детально рассмотрена технологическая схема модернизированного гидромеханического снаряда вращательного типа с указанием направленности разработки и формулированием ограничительных условий. Приведена фундаментальная инженерная методика расчета основных параметров механизма формирования забойной зоны скважины при работе спроектированного снаряда.

*The basic structural and technological features of the specialized hydromechanical device are considered for the boring drilling of the directed bore holes. Perspective and validity of his introduction is shown in practice of borings works. The questions of mechanics of destruction of rock array are studied by means of the designed device.*

**Keywords:** streaming apparatus, hydromechanical method of the drilling, balls, well face of bore hole, trip, mechanism of destruction

*Розглянуто основні конструктивні та технологічні особливості спеціалізованого гідромеханічного приладу для буріння спрямованих свердловин. Показано перспективність і обґрунтованість його впровадження у практику бурових робіт. Вивчено питання механіки руйнування масиву гірських порід за допомогою спроектированого пристрою.*

**Ключові слова:** струминний апарат, гідромеханічний спосіб буріння, кульки, забій свердловини, рейс, механізм руйнування.

### **Литература**

1. Пат. 102708 № а201107452 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструминний пристрій для буріння свердловин / А.О. Ігнатів, С.С. Вяткін. - Заявл. 14.06.2011; Опубл. 12.08.2013; Бюл. № 15.
2. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород / Л.А. Шрейнер – М.: Гостоптехиздат, 1950. – 58 с.
3. Ефремов Э.И. Разрушение горных пород при статическом и динамическом нагружении / Э.И. Ефремов Э.И. – К.: Наук. думка, 1990. – 132 с.

Поступила 28.08.15

УДК 622.233

**Б. Т. Ратов, Б. В. Федоров, доктора технических наук, Д. Р. Коргасбеков, З. Г. Утепов**

*НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет  
им. К. И. Сатпаева» г. Алматы*

### **ПАРАМЕТРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ДОЛОТА ШАРОШЕЧНОГО ТИПА НЕТРАДИЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ**

*Предложено запатентованное шарошечное долото нетрадиционной конструкции, взаимодействующее с гидроударником. Основные отличия долота заключается в расположении цапфы со съёмным долотом по оси, составляющий малой острый угол ( $\alpha \approx 15^\circ$ ) с осью скважины, а образующая шарошек параллельна стенкам скважины. Проведенные прочностные расчеты показали более рациональное распределение нагрузок, действующих на элементы долота, по сравнению с долотами традиционной конструкции.*

**Ключевые слова:** бурение, комбинированное шарошечное долото, забой скважины, гидроударник.

Сотрудники кафедры технологии и техники бурения скважин КазННТУ им. К. И. Сатпаева предложили комбинированный породоразрушающий инструмент, состоящий из шарошечного долота нетрадиционной конструкции и гидроударной машины [1]. Основное конструктивное отличие от обычных долот заключается в следующем (рис.1).