

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СНАРЯДОВ АБРАЗИВНО-МЕХАНИЧЕСКОГО УДАРНОГО БУРЕНИЯ

А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина

Обобщены основные особенности конструктивных решений в снарядах гидромеханического бурения. Показаны преимущества, области применения и решения геолога – технологических задач бурения скважин при использовании проектируемых устройств. Обоснованы некоторые технологические параметры абразивно-механического ударного способа бурения.

Введение. Главнейшим недостатком всех механических способов разрушения горных пород при бурении является быстрый износ резцов коронок, зубьев долот и прочих истирающих материалов даже при их изготовлении из сверхтвердых сплавов. Кроме того, на собственно разрушение породы затрачивается не более 8 – 10% от всей расходуемой энергии, иными словами коэффициент полезного действия механического разрушения довольно мал [1].

В мировой практике ведутся большие научно-исследовательские работы по изысканию новых высокоэффективных способов бурения, позволяющих с одной стороны сократить затраты энергии, а с другой повысить уровень реализуемой на забое мощности. В качестве альтернативы вращательному механическому способу рассматриваются методы, использующие новейшие достижения физики, химии, геологии и др. К числу таковых, несомненно, можно отнести – гидромеханический, при котором для разрушения горных пород используется энергия большого количества стальных или твердосплавных шаров, многократно соударяющихся с забоем скважины с большой скоростью. Шары приводятся в движение специальным жидкостным инжекторным (струйным) аппаратом [2].

Гидромеханический способ имеет ряд важных преимуществ, среди которых можно выделить: значительность величины мощности, реализуемой на забое; довольно высокая продолжительность рейса, ограничиваемая лишь износостойкостью струйного аппарата и простота его конструкции; возможность эффективного использования понизителей твердости; частичное упрощение и облегчение схемы поверхностного оборудования; надежное управление трассой скважины.

К главным недостаткам следует отнести как технические, а именно необходимость наличия мощного насоса и малая стойкость снаряда для бурения скважины с отбором керна, так и технологические – прямая зависимость возможности углубки от формообразования забоя, отсутствие единой методики определения рациональных параметров процесса.

Как показывает теория, а в большей степени практика бурения, любое из технических решений оказывается технологически и экономически оправданным, если оно отличается сравнительной несложностью [3].

Говоря о шароструйном способе и технологических средствах для его реализации, несомненно, их можно охарактеризовать как достаточно простые, что является одним из главных преимуществ данного метода. Именно названное обстоятельство определяет практически неограниченность рейсов при гидромеханическом бурении, а это ведущий резерв повышения производительности. Выявившейся недостаток шароструйного способа (параболическая форма забоя и вытекающие из этого обстоятельства) предопределил направленность всех последующих конструктивных разработок. Анализ условий формирования профиля скважины позволяет с уверенностью сказать, что образование периферийной части забоя является подчиненным фактором, определяемым самим исполнением снаряда, и не подлежащим корректировке только с помощью конструктивных изменений породоразрушающего органа. Иными словами, эффективное профилообразование возможно только за счет введения в состав снаряда гидромеханического бурения дополнительных узлов, комплексирующих или комбинирующих определенные технологические методы и приемы.

Целью статьи является установление закономерностей формирования скважины несущим шаром потоком жидкости в некоторых его механических аспектах и формулирование на их основе технико-технологических мероприятий бурения скважин гидромеханическими снарядами, обеспечивающими существенное повышение производительности и экономичности буровых работ.

Основной материал. С учетом приведенных выше фактов необходимо отметить, что предложенный в работе [4] подход к конструктивному исполнению породоразрушающего органа импонирует тем, что последнему придали возможность поочередной обработки различных участков забоя. Однако это является и главным недостатком устройства, который заключается в сложности самого механизма привода поворотной камеры смещения, кроме того вызывает сомнения надежность и работоспособность узла регулировки и невозможность оперативного «управления» профилем скважины в зависимости от геолого-технических условий. Совершенно очевидным стает то, что гидравлический принцип обработки периферийной части забоя является неприемлемым, по крайней мере, в предложенном виде.

Переходя к устройству с механическим органом формирования стенок скважины обратимся к основам физики горных пород [5]. Пределом прочности или разрушающим напряжением горной породы называется величина напряжения, при котором порода разрушается при данном виде деформации (сжатии, растяжении, изгибе, сдвиге). При этом прочность пород на скалывание и разрыв значительно меньше, чем на сжатие; сказанное является основным критерием определения конструктивных параметров как породоразрушающего инструмента, так и специальных забойных снарядов и двигателей. Поэтому, любые технические решения, игнорирующие указанные обстоятельства можно заведомо считать малоэффективными и эксплуатационно непригодными. Именно это было подтверждено при использовании шароструйного снаряда со специальным опорным башмаком [6]. Последний практически не справлялся с возложенными на него функциями по формированию периферийной зоны забоя, что приводило к постоянной его заклинке в массиве пород; вместе с тем данные факты вовсе не отменяют, а лишь позволяют корректировать технологические подходы к формированию забоя все же механическим способом. В свете сказанного работа механического породоразрушающего органа шароструйного снаряда должна реализовать принципы наименее энергоемких и эффективных способов разрушения массива. Руководясь тем, что любое конструктивное усовершенствование шароструйного снаряда не должно привести к существенному усложнению его гидравлической и механической частей, можно наметить несколько возможных схем разрушения породы забоя.

1. Обработка периферийной зоны забоя непосредственно стальными породоразрушающими шариками.
2. Формирование профиля скважины за счет воздействия на массив осколков породоразрушающих шаров и даже самих пород.
3. Комбинированная схема разрушения, включающая в той или иной мере принципы первых двух.

Предложенные схемы формирования забоя скважины требуют определенных как конструктивных, так и технологических изменений; причем они должны быть комплексными, иными словами выполнять не только непосредственно возложенные на них функции, но и по возможности способствовать достижению прочими сопутствующими процессами своих максимальных технико-экономических показателей.

Сформулированные концептуальные положения о конструктивном исполнении и технологических основах работы модернизированного шароструйного снаряда позволило четко выделить условия, которые необходимо создать для повышения технико-экономических показателей процесса бурения. Такие условия, бесспорно, являются функциональными и зависят как от модели устройства шароструйного снаряда, так и технологического режима использования.

В основу модернизации шароструйного снаряда [7] положена задача усовершенствования последнего, за счет иного конструктивного исполнения механического породоразрушающего органа и технологической схемы устройства, что обеспечивает: значительное снижение затрат мощности для создания статической нагрузки на механический породоразрушающий орган устройства, реализацию наиболее эффективного механизма создания периферийной зоны забоя, а именно вращательного способа с использованием породоразрушающих шаров, создание условий для значительного повышения интенсивности ведения работ; за счет этого становится невозможным остановка процесса углубки из-за наличия параболической формы забоя скважины, увеличивается рейсовая скорость бурения, уменьшается амортизация самого устройства и бурильных труб.

Поставленную задачу специалисты кафедры ТРМПИ (техники разведки месторождений полезных ископаемых) НГУ решили следующим образом [8 – 9]: в известной конструкции шароструйного снаряда, которая включает в себя полый корпус, породоразрушающие шарики и концентрически размещенный в корпусе струйный аппарат, согласно техническому решению, размещается породоразрушающее кольцо, в котором с одной стороны выполнена резьба, для соединения с нижней частью корпуса снаряда, а с другой – ряд специальных посадочных гнезд для размещения породоразрушающих шариков, при этом породоразрушающее кольцо устанавливается с возможностью вращения вместе с корпусом, который в верхней части, для создания крутящего момента с помощью потока промывочной жидкости, жестко связан с турбинным аппаратом, статорный вал которого резьбовым соединением связан с колонной бурильных труб.

На рис. 1 приведена общая схема шароструйного устройства, где 1 – корпус, 2 – струйный аппарат, 3 – породоразрушающие шарики. Корпус 1 в нижней части оснащен специальным породоразрушающим кольцом 4, которое имеет некоторое количество специальных посадочных гнезд 5, предназначенных для размещения породоразрушающих шариков 3. Верхняя часть корпуса 1 соединена с турбинным аппаратом 6, в функции которого входит создание крутящего момента, который через корпус 1 передается породоразрушающему кольцу 4. Привод турбинного аппарата 6 осуществляется за счет промывочной жидкости, которая циркулирует по колонне бурильных труб 7.

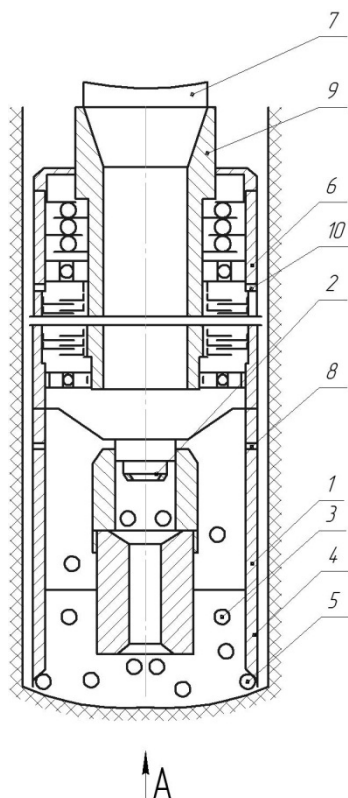


Рис. 1 Схема модернизированного шароструйного снаряда

На рис. 2 приведен вид снизу породоразрушающего кольца 4 по направлению А, где показаны специальные посадочные гнезда 5 с шариками 3.

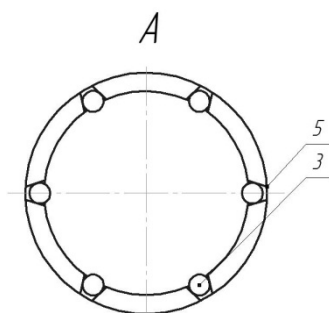


Рис. 2 Породоразрушающее кольцо

Устройство работает следующим образом: при создании циркуляции промывочной жидкости во внутренней части корпуса 1 устройства начинается активное движение породоразрушающих шариков 3, которые взаимодействуют с породой забоя и разрушают ее. В призабойной зоне поток промывочной жидкости разделяется на две составляющие, одна из которых вместе с породоразрушающими шариками поднимается вверх к струйному аппарату 2, а другая, обогащенная продуктами разрушения, выходит в затрубное пространство между торцом и корпусом породоразрушающего кольца 4 и забоем и стенками скважины соответственно. Частично разрушенная порода также удаляется через специальные промывочные окна 8. Наличие породоразрушающего кольца 4 в нижней части устройства продиктовано необходимостью формирования прямоугольного профиля забоя скважины за счет реализации наиболее эффективного механизма разрушения его криволинейных стенок, возникновение которых обусловлено технологической схемой бурения и приводит к уменьшению механической скорости бурения вплоть до полной остановки процесса углубки. Этот механизм разрушения характеризуется следующей схемой. Породоразрушающие шарики 3, циркулирующие вместе с промывочной жидкостью в интервале от плоскости забоя до струйного аппарата 2, в ходе взаимодействия с горной породой постоянно уменьшаются по внешнему диаметру и массе. При достижении этими параметрами некоторых значений, шарики 3 потоком промывочной жидкости размещаются и удерживаются в посадочных гнездах 5, которые содержит в нижней части породоразрушающее кольцо 4. За счет постоянного вращения и создания осевой нагрузки на шарики, они разрушают породу на забое и формируют его периферийную зону. При этом происходит дальнейшее истирание шариков, что приводит к их удалению из посадочных гнезд 5. Вместо износившихся шариков на их место поступают более крупные и работоспособные. Постоянное вращение породоразрушающего кольца 4 обусловлено наличием в верхней части корпуса снаряда турбинного аппарата, привод которого осуществляется промывочной жидкостью, поток которой при выходе из вала 9 разделяется на два: один направляется к струйному аппарату, а другой, поворачивая на 180° , идет к турбине, а потом через отверстия 10 в пространство между стенками скважины и корпусом устройства.

Для доказательства обоснованности некоторых конструктивных решений в модели снаряда необходимо на них остановиться более подробно.

Вращение породоразрушающего кольца обуславливается наличием забойного двигателя, в данном случае турбобура; включение его в снаряд связано с несколькими взаимосвязанными обстоятельствами: снижение затрат мощности на вращение за счет непосредственного подвода крутящего момента к исполнительному органу – кольцу, достижение рациональных частот вращения в отношении пары «шарик – горная порода», упрощение поверхностной схемы оборудования. Турбобур позволяет более эффективно использовать энергию потока промывочной жидкости, которая в этом случае осуществляет привод не только породоразрушающих шаров но и самого вала турбобура, причем, что очень важно, допустимо приме-

нение того же насосного агрегата, используемого и в случае обычного шароструйного бурения. Это обстоятельство обеспечивается как технологическим режимом бурения, так и конструкцией турбобура.

Значительные частоты вращения, создаваемые турбинным двигателем, позволяют достигнуть высоких механических скоростей разрушения. Последнее было доказано исследованиями, направленными на выяснения влияния частотности вращения на скорость разрушения породы под сферическим индентором. В результате чего был показан непрерывный прирост скорости разрушения до частоты вращения $3000 - 3500 \text{ мин}^{-1}$.

Породоразрушающее кольцо и само исполнение посадочных гнезд последнего, а также особенность внутриснарядных циркуляционных процессов позволяют прочно удерживать породоразрушающие шары. В дробовом же способе бурения, как известно, наблюдается вредное накопление дроби и внутри коронки и в закороночном пространстве, что ведет к износу породоразрушающего инструмента, разработке ствола скважины и его искривлению. Накопление изношенных шаров в модернизированном снаряде невозможно по причине их практически мгновенного удаления из призабойной зоны и транспортировки на поверхность потоком жидкости.

Развивая мысль о необходимости сокращения времени на вспомогательные операции и прежде всего спускоподъемные необходимо отметить, что в этой плоскости лежат, по крайней мере, две задачи, решение которых позволит достигнуть обозначенной цели. Первая – это возможно больший период работы снаряда (инструмента) на забое скважины без необходимости его извлечения на поверхность. Вторая – обеспечение одинаковой эффективности бурения как вертикальных, так и наклонных участков скважины, исключая замену снаряда. Последнее обстоятельство обусловило направленность в разработке следующей модели гидромеханического снаряда. Описанную выше конструкцию можно признать вполне пригодной для проходки вертикальных скважин и таковых имеющих небольшие зенитные углы. Применение же такого снаряда для проходки скважин со значительными зенитными углами и интенсивной кривизной исключается целым рядом факторов, среди которых: сложность удержания породоразрушающих шаров в посадочных гнездах; необходимость создания значительных осевых нагрузок на шары, что практически невозможно в отмеченных скважинах; существенные продольные и поперечные габаритные размеры турбинного двигателя, препятствующие его свободному перемещению в стволе скважины.

Выдвинутые ограничительные условия трансформировались в постановку задачи усовершенствования шароструйного устройства, в котором принципиально иное конструктивное исполнение механического породоразрушающего органа и схемы бурения обеспечивает: значительное снижение затрат мощности для создания нагрузки на механический породоразрушающий орган аппарата, в первую очередь в скважинах с интенсивной кривизной, реализацию вращательного метода формирования периферийной зоны забоя с использованием обломков шариков и продуктов разрушения горных пород, создание условий для значительного увеличения интенсивности ведения работ; за счет этого исключается остановка процесса углубки вследствие наличия параболической формы забоя скважины и значительных зенитных углов.

Специалисты кафедры ТРМПИ НГУ предлагают следующий вариант решения сформулированной задачи [10 – 11]: в известный гидромеханический снаряд, содержащий корпус со струйным аппаратом, породоразрушающий башмак и шарики, согласно разработке, включен винтовой двигатель, соединенный с колонной бурильных труб и корпусом струйного аппарата, механический породоразрушающий орган которого выполнен в виде матрицы, верхняя часть её жестко соединена с корпусом струйного аппарата, а нижняя является пористой.

На рис. 3 приведена общая схема проектируемого снаряда, где 1 – корпус, 2 – струйный аппарат, 3 – породоразрушающие шарики. Корпус 1 в нижней части оснащен породоразрушающей матрицей 4 с пористой структурой 5, предназначенной для размещения обломков шариков 6 и горной породы 7. Верхняя часть корпуса 1 соединена с винтовым двигателем 8, предназначенным для создания вращения, которое через корпус 1 передается на матрицу 4.

Привод винтового двигателя 8 осуществляется промывочной жидкостью, циркулирующей по колонне бурильных труб 9.

На рис. 3 также представлен вид снизу породоразрушающей матрицы 4 по направлению А, где показано специальную пористую структуру 5 с размещенными в ней обломками шариков 6 и горной породы 7.

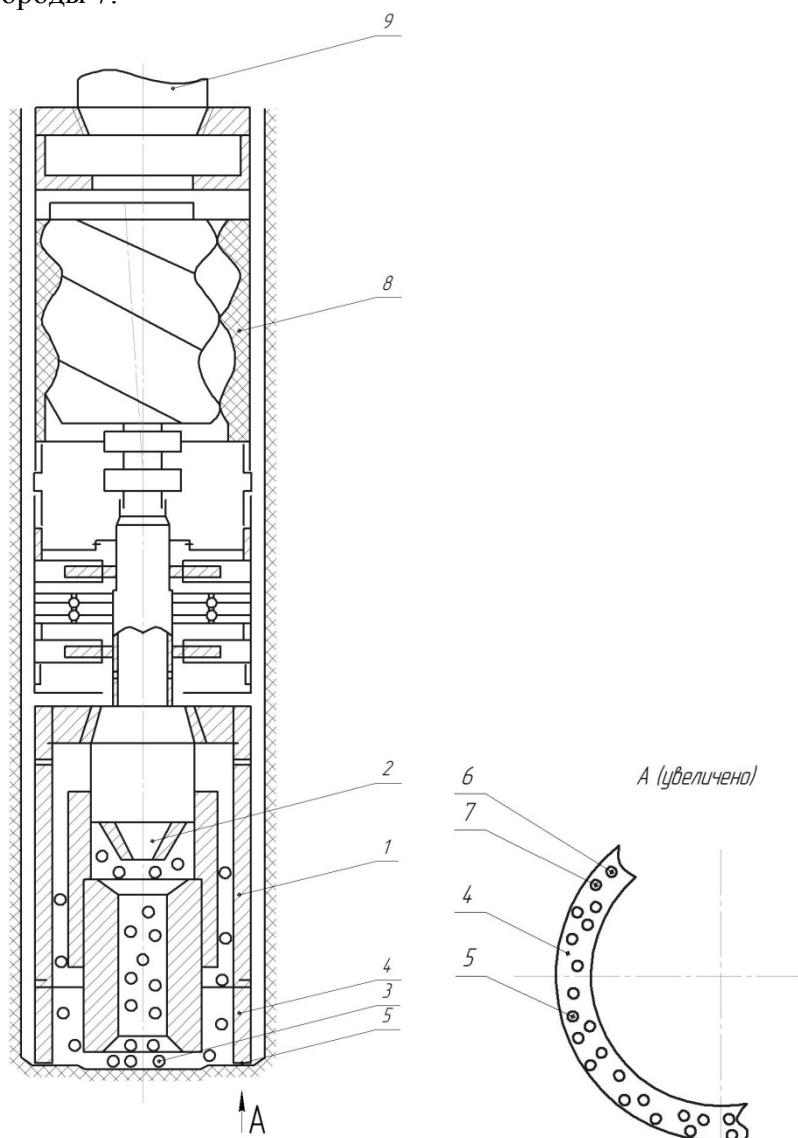


Рис. 3 Общая схема прибора шароструйно-абразивного бурения

Устройство работает следующим образом: при возникновении циркуляции промывочной жидкости во внутренней части корпуса 1 устройства начинается активное движение породоразрушающих шариков 3, которые взаимодействуют 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 вверх 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. Наличие породоразрушающей матрицы 4 в нижней части устройства необходимо для формирования прямоугольного профиля забоя скважины за счет реализации вращательного метода разрушения его криволинейных стенок. 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 самой горной породы потоком промывочной жидкости размещаются и удерживают-

ся в пористой структуре 5 нижней части матрицы. За счет постоянного вращения и создания осевой нагрузки на обломки, они путем абразивного износа разрушают породу на забое и формируют его периферийную зону. При этом происходит дальнейшее истирание продуктов разрушения шариков и горной породы, что приводит к их удалению из пористой структуры. Вместо изношенных обломков на их место поступают более работоспособные. Постоянное вращение матрицы 4 обусловлено наличием в верхней части корпуса винтового двигателя 8, основным преимуществом которого является относительно небольшие габаритные размеры, которые позволяют ему беспрепятственно перемещаться в скважине с интенсивной степенью кривизны и большими зенитными углами.

Включение в состав конструкции (в верхнюю её часть) именно винтового двигателя обусловлено, прежде всего, габаритными параметрами самого двигателя, которые позволяют ему свободно преодолевать дуги значительной кривизны. Согласно предварительным расчетам, данную модель снаряда можно рекомендовать для бурения горизонтальных участков скважин. Кроме того, выходные характеристики винтового двигателя являются приемлемыми для реализации, заложенного в конструктивное решение матрицы снаряда, механизма разрушения горных пород на забое.

Как и в снаряде с породоразрушающим органом в виде кольца, так и в таковом с матрицей, основным, формирующим центральную часть забоя, является гидродинамический способ разрушения. Принципиально отличным можно считать механизм обработки периферийной зоны забоя.

Вовлекаемые во вращение и абразивно-силовое взаимодействие обломки горных пород и шаров совершают некоторую работу разрушения, аналитически обосновать которую можно следующим образом. Само исполнение пористой структуры матрицы и довольно неправильная форма, как обломков шаров, так и горной породы практически исключает их перекатывание по забою. В этом случае единственно осуществимым механизмом будет волочение частиц, а процесс разрушения сведется в конечном итоге к истиранию породы.

Несмотря на явные достоинства модернизированных снарядов вращательного действия им все же присущ недостаток – довольно низкая эффективность работы в крепких породах по обработке периферийной зоны забоя скважины и невозможность создания комбинированного механизма разрушения кольцом при существующей схеме бурения.

В связи с этим в основу следующей конструкции была поставлена задача усовершенствования устройства, в котором иное конструктивное исполнение схемы привода и механического породоразрушающего органа обеспечивает: расширение диапазона применения снаряда, даже в сверхкрепких породах, создание условий для осуществления производительного механизма формирования периферийной зоны забоя, а именно ударно-вращательного метода с применением породоразрушающих шариков.

Задача решена тем, что в известный шароструйный снаряд включена коронка специальной конструкции, которая жестко соединена с корпусом устройства, а в нижней части содержит специальные сквозные пазы для захвата и удержания породоразрушающих шаров, при этом верхняя часть корпуса струйного аппарата связана с гидроударником, с соответствующим соединением циркуляционных каналов и возможностью вращения с помощью колонны бурильных труб.

На рис. 4 приведена общая схема устройства [12], где 1 – корпус, 2 – струйный аппарат, 3 – породоразрушающие шарики. Корпус 1 в нижней части соединен со специальной коронкой 4, которая имеет некоторое количество сквозных пазов 5, которые предназначены для захвата и удержания породоразрушающих шариков 3. Верхняя часть корпуса 1, жестко соединенная с гидроударником 6, содержащим наковальню 7, шлицевые разъемы 8, клапан 9, поршень 10, силовые пружины 11 и 12 и предназначенным для создания ударных импульсов, которые через корпус 1 передаются на коронку 4. Привод гидроударника 6 осуществляется промывочной жидкостью, которая циркулирует по колонне бурильных труб.

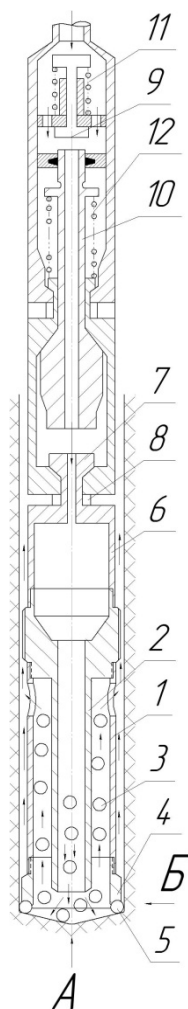


Рис. 4 Общая схема шароструйного снаряда с гидроударным приводом

На рис. 5 приведен вид снизу коронки 4 по направлению А, где показаны сквозные пазы 5 с шариками 3.

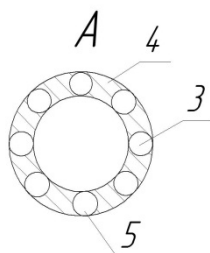


Рис. 5 Вид снизу коронки 4 по направлению А

На рис. 6 приведен вид сбоку коронки 4 по направлению Б, где показана профильная часть коронки со сквозными пазами 5.

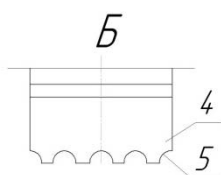


Рис. 6 Вид сбоку коронки 4 по направлению Б

Устройство работает следующим образом: при возникновении циркуляции промывочной жидкости во внутренней части корпуса 1 прибора начинается активное движение породораз-

рушающих шариков 3, которые взаимодействуют с породой забоя и разрушают ее. В этом отношении модернизированный снаряд полностью работает по принципу таковых вращательно-го действия, отличительным является механизм формирования периферийной зоны. При прямоугольной форме забоя скважины разрушение горного массива осуществляется исключительно шароструйным способом, а гидроударник 6 находится в нерабочем состоянии; промывочная жидкость, которая подается насосом, свободно проходит через него, попадая к струйному аппарату 2. Однако с увеличением кривизны забоя в контакт вступает специальная коронка 4, которая за счет такого взаимодействия вместе с корпусом 1 аппарата перемещается вверх. Это в свою очередь приводит к смыканию шлицевых разъемов 8 и перекрытию клапаном 9 отверстия в поршне 10. Таким образом, гидроударник 6 включается в работу. Под действием мгновенного роста давления клапан 9 вместе с поршнем-ударником 10 с большой скоростью движется вниз, сжимая силовые пружины 11 и 12. Поршень-ударник 10 под действием приобретенной кинетической энергии в конце хода осуществляет удар по наковальне 7 - дополнительного конструктивного элемента корпуса 1 струйного аппарата 2. Ударные импульсы передаются корпусом 1 и специальной коронкой на породоразрушающие шарики 3, которые удерживаются в сквозных пазах 5. Достаточно большое количество пазов необходимо для удержания породоразрушающих шариков 3 и надежной передачи на них ударных нагрузок. За счет получения постоянных ударных импульсов породоразрушающими шариками, вращения и осевой нагрузки на забое скважины реализуется наиболее эффективный механизм разрушения крепких пород, а именно ударно-вращательный; при этом шарики 3 разрушают породу на забое и формируют его периферийную зону.

Выводы. Приведены краткие сведения по основным конструктивным особенностям новых гидромеханических снарядов. Изложены практические аспекты использования отличительных признаков разработанных моделей устройств. Доказана перспективность предложенных конструктивных подходов к совершенствованию снарядов шароструйного бурения. Авторские права на представленные конструкции устройств защищены патентами Украины.

Список литературы

1. Разведочное бурение / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский и др. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 748 с.
2. Уваков А. Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207 с.
3. Braithwaite Richard, Exploration drilling 2000, MINING Magazine, July 2000, pp. 6 – 10.
4. А.с. 1120733 СССР, МПК Е 21 В 7/18. Устройство для шароструйного бурения скважин / Дугарцыренов А. В., Ларин О. Р., Потехин Е. А. и др. № 3597561; Заявлено 31.05.83; Оpubл. 15.08.86; Бюл. № 30. – 3 с.
5. Шрейнер Л.А. Физические основы механики горных пород. – М. – Л. Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.
6. А.с. 417599 СССР, МПК Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / Уваков А. Б., Штрассер В. В. № 1451266; Заявлено 15.06.70; Оpubл. 28.11.74; Бюл. № 8. – 2 с.
7. Игнатов А. А., Вяткин С. С. Конструктивное исполнение снарядов гидромеханического бурения // Науч. труды ПолтНТУ. Серия Отраслевое машиностроение, строительство. – 2012. - №2(32) – С. 145 – 152.
8. Пат. 67845 № u201108906 Украина, МПК Е 21 В 7/18. Кулькоструминный прилад /А. О. Игнатов, С. С. Вяткин. Заявл. 15.07.2011; Оpubл. 12.03.2012; Бюл. № 5.
9. Пат. 102707 № a201107407 Украина, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструминний пристрій для буріння свердловин /А. О. Ігнатов, С. С. Вяткин. Заявл. 14.06.2011; Оpubл. 12.08.2013; Бюл. № 15.
10. Пат. 68322 № u201109643 Украина, МПК Е 21 В 7/18. Кулькоструминний прилад /А. О. Ігнатов, С. С. Вяткин. Заявл. 02.08.2011; Оpubл. 26.03.2012; Бюл. № 6.
11. Пат. 102708 № a201107452 Украина, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструминний пристрій для буріння свердловин /А. О. Ігнатов, С. С. Вяткин. Заявл. 14.06.2011; Оpubл. 12.08.2013; Бюл. № 15.
12. Пат. 81068 № u201212576 Украина, МПК Е 21В 7/00. Пристрій для буріння /А. О. Ігнатов. Заявл. 05.11.2012; Оpubл. 25.06.2013; Бюл. № 12.