

УДК 622.233.4

А. А. Игнатов

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

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО СНАРЯДА

Рассмотрены особенности конструкции и принцип действия усовершенствованного снаряда для гидромеханического бурения. Проанализированы основные вопросы механики разрушения горных пород на забое скважины при использовании усовершенствованного снаряда.

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

Введение

Как показывают теория и в большей степени практика бурения, любое техническое решение технологически и экономически оправдано, если сравнительно несложное [1].

Шароструйный способ и технические средства его реализации, довольно простые, что является одним из главных их преимуществ. Именно указанное обстоятельство определяет неограниченность рейсов при гидромеханическом бурении, а это главный резерв повышения производительности. Выявившийся недостаток шароструйного способа (параболическая форма забоя) предопределил направленность последующих конструктивных разработок. Результат анализа условий формирования профиля скважины позволяют с уверенностью сказать, что образование периферийной части забоя является подчиненным фактором, определяемым самим исполнением снаряда и не подлежащим корректировке только с помощью технологических изменений. Другими словами, эффективное профилообразование возможно только за счет введения в состав снаряда гидромеханического бурения дополнительных узлов, комплексирующих или комбинирующих определенные технологические методы и приемы.

Цель настоящей работы – рассмотреть теоретические аспекты взаимодействия пары «снаряд – горная порода» и сформулировать на их основе адекватную модель механизма разрушения.

Основной материал

Предложенный в [2] подход импонирует тем, что органу формирования профиля скважины придали возможность поочередной обработки различных участков забоя. Последнее является также главным недостатком устройства, который заключается в сложности механизма привода поворотной камеры смещения, кроме того, вызывают сомнение узел регулировки и невозможность оперативного «управления» профилем скважины в зависимости от геолого-технических условий. Совершенно очевидно, что гидравлический принцип обработки периферийной части забоя неприемлем, по крайней мере, в предложенном виде.

Переходя к устройству с механическим органом формирования стенок скважины, рассмотрим основы физики горных пород [3]. Пределом прочности, или разрушающим напряжением горной породы, называется напряжение (деформация), при котором порода разрушается (сжатие, растяжение, изгиб, сдвиг).

Относительная прочность пород к различным видам деформации различна (см. таблицу).

Данные таблицы свидетельствуют о важном относительно механики разрушения факте: 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. В этой связи технические решения, игнорирующие указанные обстоятельства, малоэффективны и эксплуатационно непригодны. Именно это было подтверждено при использовании шароструйного снаряда со специальным опорным башмаком [4]. Последний не формировал периферийную зону забоя, что постоянно приводило к его заклиниванию в массиве пород; вместе с тем этот факт не отменяет, а позволяет корректировать технологические подходы к формированию забоя механическим способом. В этой связи работа механического породоразрушающего органа шароструйного снаряда должна реализовать принципы наименее энергоемких и эффективных способов разрушения массива (см. таблицу). Руководствуясь тем, что любое конструктивное усовершенствование шароструйного снаряда не должна существенно усложнять его гидравлическую и механическую часть, 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 пород.
3. Комбинированная схема разрушения, включающая в той или иной мере принципы двух первых.

Основные механические закономерности деформации горных пород

Горные породы	Относительная прочность пород при деформации			
	Одноосное сжатие	Растяжение	Изгиб	Сдвиг
Магматические	1,0	0,02–0,04	0,08	0,09
Метаморфические	1,0	0,02–0,1	0,06–0,1	0,1–0,15

Необходимо отметить, что предложенные схемы формирования забоя скважины требуют определенных конструктивных и технологических изменений, причем они должны быть комплексными, другими словами, выполнять не только непосредственно возложенные на них функции, но и по возможности способствовать достижению прочими сопутствующими процессами максимальных технико-экономических показателей. Все это требует всестороннего изучения и анализа технико-экономических аспектов механики разрушения пород и работы забойных машин.

В конструкции снаряда с эффектом механического разрушения осуществлена комбинация двух способов бурения [5; 6]. Один из них – так называемый ударно-дробовой, или шароструйный, другой – классический дробовой способ бурения (с некоторыми, во многом принципиальными, изменениями конструкции породоразрушающего инструмента и забойных процессов), который ранее широко применялся в практике геологоразведочных работ, но впоследствии был вытеснен более эффективным алмазным бурением. Однако не изменилось одно из главных преимуществ дробового способа – низкая стоимость породоразрушающего инструмента (в сравнении с твердосплавным и алмазным) и дробы и простота их изготовления.

Важно и то, что заменять породоразрушающие «элементы» (дробь) можно без поднятия бурового снаряда их вбрасыванием через устье скважины, что сокращает длительность спускоподъемных операций.

Хотя в работе кольца и использованы некоторые принципы дробового бурения, однако просто перенесение закономерностей последнего на механизм взаимодействия в паре «кольцо – горная порода» невозможно. Это связано как с особенностями конструкции породоразрушающего кольца, так и забойными процессами разрушения собственно гидромеханическим способом.

Правильное и четкое представление о механизме разрушения горных пород с помощью кольца является необходимым условием дальнейших технико-технологических разработок гидромеханического бурения.

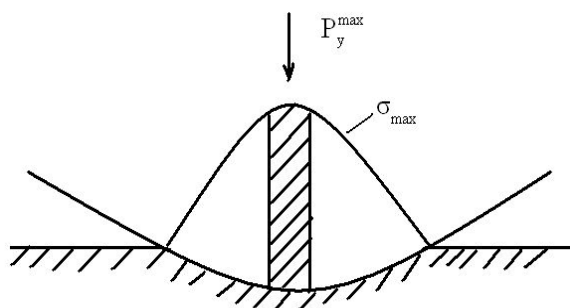


Рис. 1. Распределение напряжений на поверхности контакта под давлением максимального осевого усилия P_y^{max}

В целом механизм разрушения горных пород при статической и динамической нагрузках отдельными шариками, находящимися в посадочных гнездах кольца, условно можно разделить на несколько стадий [7]. Прежде всего следует отметить, что согласно общепринятым представлениям Геруа распределение напряжений при контакте плоской поверхности со сферой имеет вид отраженной кривой (рис. 1). Наибольшие напряжения около центра поверхности контакта, а к периферии снижаются до нуля.

Неравномерность разрушающих напряжений вызывает в теле так называемые касательные напряжения, которые приводят к мелким сколам и сдвигам (рис. 2, а). С увеличением внешней силы P_y увеличивается площадь поверхности контакта и возникает новая система трещин параллельно первым, а ранее образовавшиеся попадают в зоны с меньшими возможностями для развития и затухают (рис. 2, б); кроме того, в зоне контакта материал под площадкой соприкосновения уменьшается до объема, близкого к объему опрокинутого конуса, основанием которого и служит площадка контакта. Дальнейшее увеличение давления на шарик приводит к скалыванию краев конуса смятия в объеме, также тяготеющему к форме опрокинутого конуса (рис. 2, в).

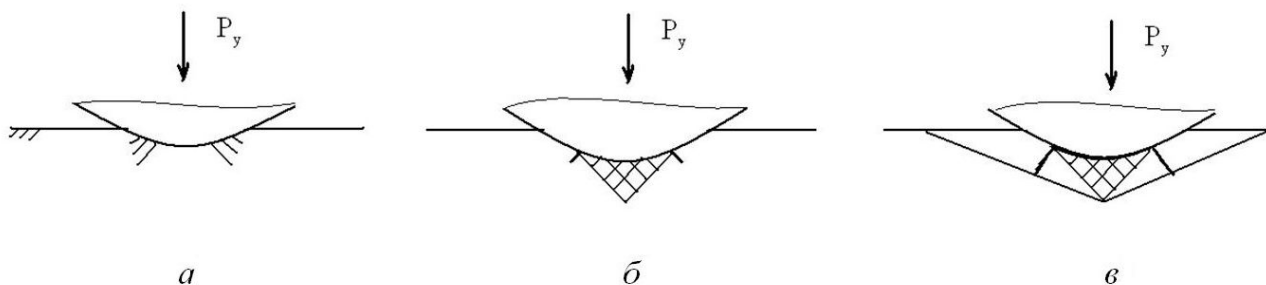


Рис. 2. Схема развития процесса разрушения поверхности шариком

Очевидно, что забой скважины при шароструйном бурении не монолитный. Под напором бомбардирующих его шариков на нем начинают развиваться трещины, что безусловно приведет к снижению силы P_y , необходимой для эффективного разрушения по заданному механическому типу, т.е.

$$P_y < P_y^{max},$$

Нагрузка, обуславливающая ту или иную стадию разрушения, зависит в основном от физико-механических свойств горной породы и шариков, а также размеров последних; однако их размер определяет только разрушающую нагрузку и объем разрушенной породы. Характер разрушения при различных размерах шарика не изменяется.

Динамика влияет на механизм разрушения горных пород под торцом кольца. При перекачивании шарика по поверхности забоя порода начинает разрушаться при вводе меньшей нагрузки, чем под неподвижным шариком. Такое закономерное уменьшение разрушающей нагрузки обусловлено изменением условий развития напряженного состояния горной породы под движущимся шариком.

Рассмотрим физическую сущность каждой стадии механизма разрушения горных пород. Первая стадия может происходить только в пределах упругих свойств горных пород, когда концентрация напряжений на контуре давлений приводит к образованию местных трещин или некоторому развитию уже существующих. Появление трещины по контуру давления при нагрузках, не превышающих предела упругости горной породы, обусловлено местным максимальным касательным напряжением на контуре давления. При этом поверхность горной породы после снятия нагрузки не имеет остаточных деформаций, она полностью восстанавливает первоначальную форму. Однако на восстановленной поверхности остается макротрещина вследствие местной концентрации напряжений, а также предыдущих ударов шаров, разогнанных с помощью струйного аппарата. Вторая стадия механизма разрушения происходит за пределами упругости горной породы при нагрузке, превышающей сопротивление горной породы раздавливанию. Она характеризуется смятием горной породы, которое проявляется в разрушении кристаллической решетки в объеме конуса смятия; последнее обусловлено неравномерным распределением нормальных напряжений под площадкой соприкосновения. Дальнейшее увеличение нагрузки на шарик приводит к увеличению давления на смятую горную породу, представляющую собой мелкий порошок. Следовательно распространение давления в объеме смятой породы будет аналогично его распространению в сыпучих телах, другими словами, подчиняться законам взаимодействия в жидкости. Вследствие того что давление в объеме смятой породы распространяется равномерно, пропорционально увеличивается давление на поверхность конуса смятия, а последнее обстоятельство способствует локальному увеличению нормальных и касательных напряжений в зоне прилегающей к конусу смятия горной породы. Когда касательные напряжения превышают сопротивление горной породы скалыванию, часть породного массива скалывается. Третья стадия, непосредственно разрушение, появляющееся в отделении объема скалывания по образующей конуса, является следствием превышения касательных напряжениями сопротивления горной породы скалыванию [8].

Выводы

Приведена исчерпывающая характеристика качественной стороны забойных процессов, происходящих при работе проектируемого снаряда. Детальный анализ условий разрушения породного массива под торцом кольца шароструйного снаряда позволяет сделать важное заключение: условия, создаваемые в паре «породоразрушающее кольцо – забой скважины», довольно эффективны с позиций рационализации механизма разрушения и существенного снижения его энергоемкости.

Rozглянуто особливості конструкції і принцип дії вдосконаленого снаряду для гідромеханічного буріння. Проаналізовано основні питання механіки руйнування гірських порід на забої свердловини при використанні вдосконаленого снаряду.

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

The features of construction and principle of action of the improved shell are considered for the water-assisted drilling. The basic questions of mechanics of destruction of rock are analysed on the well face of bore hole at the use of the improved device.

Key words: streaming apparatus, hydromechanical method of the drilling, balls, well face of bore hole, trip, mechanism of destruction.

Литература

1. Новые способы бурения скважин: Обзор. информ. / В. И. Максимов, А. М. Цехмистренко, М. М. Розин и др. // Техника и технология геолого-разведочных работ, организация производства / ВНИИ эконом. минер. сырья и геологоразвед. работ: ВИМЭС. – М., 1971. – 55 с.

2. А. с. 1120733 СССР, МПК Е 21 В 7/18. Устройство для шароструйного бурения скважин / А. В. Дугарцыренов, О. Р. Ларин, Е. А. Потехин и др. – № 3597561; Заявл. 31.05.83; Оpubл. 15.08.86; Бюл. № 30.
3. Фр. Берг, Дж. Шерер, Г. Спайсер Справочник для геологов по физическим константам. – М.: Иностран. Лит., 1949. – 304 с.
4. А. с. 417599 СССР, МПК Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / А. Б. Уваков, В. В. Штрассер. – № 1451266; Заявл. 15.06.70; Оpubл. 28.11.74; Бюл. № 8.
5. Игнатов А. А., Вяткин С. С. Особенности конструкции и механики работы нового гидродинамического снаряда // Порододразрушающий и металлообрабатывающий инструмент-техника и технология его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 58–61.
6. Пат. 67845 № u201108906 Украина, МПК Е 21 В 7/18. Кулькоструминный снаряд / А. О. Игнатов, С. С. Вяткин. – Заявл. 15.07.2011; Оpubл. 12.03.2012; Бюл. № 5.
7. Шрейнер Л. А. Физические основы механики горных пород. – М.; – Л.: Гостоптехиздат, 1950. – 212 с.
8. Кацауров И. Н. Механика горных пород. – М.: Недра, 1981. – 166 с.

Поступила 29.06.12

УДК 622.24.085

В. П. Онишин¹, д-р техн. наук; **В. А. Меркулова**¹, канд. техн. наук; **А. К. Хамидуллин**²

¹Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия

²Горнопромышленная группа «ЭЗТАБ», г. Санкт-Петербург, Россия

КОМПЛЕКС ССК-ПБС ДЛЯ РАБОТЫ С ПОДВОДНЫМ БУРОВЫМ СТАНКОМ

Изложены особенности подводных снарядов со съёмными керноприемниками для бурения с подводными буровыми станками.

Ключевые слова: бурение, буровой станок, подводное бурение.

В настоящее время накоплен значительный отечественный и зарубежный опыт в области разведки и освоения морских месторождений нефти и газа. В то же время уровень работ по поискам месторождений твердых полезных ископаемых, находящихся под покровом морей, океанов и крупных водоемов, остается незначительным, прежде всего это касается разведки дна мирового океана и континентального шельфа. Основным методом проведения геологоразведочных работ в море является бурение. Известно более 60 конструкций подводных буровых станков (ПБС) для бурения скважин со дна акваторий с отбором керна.

По способу размещения колонковых, керноприемных и бурильных труб выделяются ПБС, работающие по непрерывному циклу, замкнутому на раме станка, и технологический инструмент которых размещен на судне-носителе, позволяя прежде всего увеличить глубину бурения скважин.

Важным преимуществом ПБС является присущее их использованию упрощение технологии буровых работ и снижение затрат времени на бурение скважины. Имеется в виду исключение из технологического цикла бурения работ по спуску кондуктора, монтажу и демонтажу водоотделяющей колонны, сборке и спуску бурильной колонны через толщу воды, а также установке добавочных обсадных колонн.

Положительным фактором работы ПБС является снижение расходов на буровое оборудование и гораздо меньшая потребность в электроэнергии и горюче-смазочных