

А.А. Каракозов
 кандидат технических наук
 Донецкий государственный университет (ДонГУ)

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРОУДАРНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН ПРИ РАЗВЕДКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

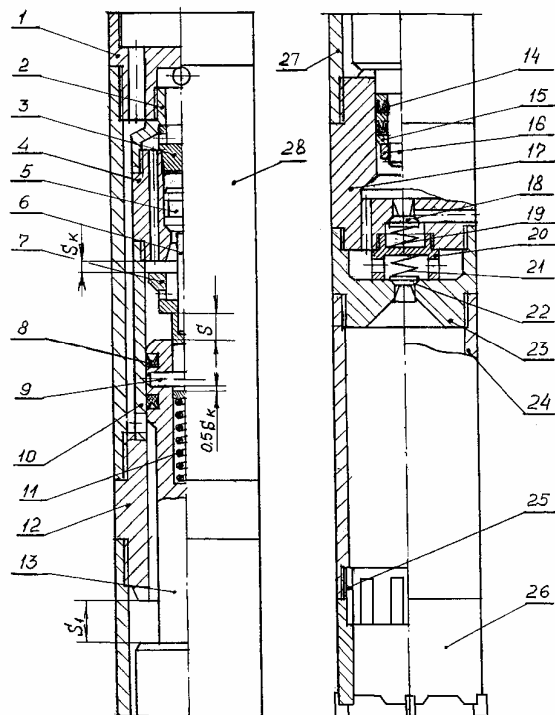


Рис. 1 – Гидроударный буровой снаряд: 1 - переходник; 2 - втулка; 3 - пробка; 4 - клапанная коробка; 5 - впускной клапан; 6 - толкатель; 7 - выпускной клапан; 8, 10 - манжеты поршня; 9 - палец; 11 - пружина; 12 - верхняя наковальня; 13 - боек; 14 - манжета; 15 - шайба; 16 - гайка; 17 - нижняя наковальня; 18, 22 - клапана насосного блока; 19, 21 - клапанные пружины; 20 - втулка; 23 - корпус насосного блока; 24 - колонковая труба; 25 - кернорватель; 26 - башмак; 27, 28-корпуса.

В угольной отрасли Украины взят курс на ускоренное развитие перспективных шахт Донбасса. Их эффективная работа возможна только при наличии хорошо разведанных запасов. Всю геологическую информацию о запасах угля обычно получают при проходке разведочных скважин. В настоящее время при ограниченных объемах финансирования буровых работ назрела острая необходимость повышения скоростей бурения скважин. При этом не имеется возможностей коренного изменения техники и технологии проходки скважин. Стало быть, целесообразно использовать имеющиеся в геологоразведочной отрасли эффективные способы и средства бурения скважин, которые в силу ряда причин не получили широкого применения при разведке угольных месторождений.

Одним из прогрессивных способов проходки скважин является гидроударное бурение. Оно достаточно эффективно в породах IV-XII категорий по буримости. Это вполне приемлемо для подавляющего большинства пород угольных разрезов Донбасса, относящихся к VI-IX категориям. Анализ показывает (табл. 1), что гидроударное бурение имеет несомненные преимущества по сравнению с традиционно применяемым вращательным бурением, особенно при проходке скважин в сложных горно-геологических условиях. При одинаковых значениях механической скорости бурения увеличение, например, в 1,5 - 2,5 раза длины рейса позволяет повысить на 40-60 % рейсовую скорость бурения глубоких скважин. Стоимость проходки 1 м скважины при этом уменьшается на 20-35 %.

Гидроударное бурение пока широко не используется в угольной отрасли по следующим причинам. Все серийно выпускаемые гидроударники изготавливаются по наиболее простой схеме, предложенной и испытанной еще в 30-е годы. Это так называемые гидроударники прямого действия (ГПД), которые традиционно считают простыми по конструкции, настройке, регулировке и в эксплуатации. Однако они являются малоэффективными механизмами, их КПД не более 18-20 %. Диапазон глубин использования ГПД достаточно строго ограничен возможностями стандартного геологоразведочного оборудования. Следует также отметить, что серийные ГПД предназначены для бурения скважин диаметром 59 и 76 мм. При разведке угля большинство интервалов скважин бурят диаметрами 112, 93 и 76 мм.

Таблица 1 – Обобщенные результаты бурения разведочных скважин в сложных горно-геологических условиях

Характеристика пород	Категория пород по буримости	Вид промывки в керноприемной трубе	Показатели бурения		
			Выход керна, %	Механическая скорость бурения, м/час	Проходка скважины за рейс, м
Вращательное бурение					
Монолитные и слаботрещиноватые	IV-IX	Прямая	34-62	1,8-2,4	1,5-2,5
		Обратная	55-80	2,0-2,6	1,7-4,6
Трещиноватые	VI-XI	Прямая	30-60	0,5-0,8	0,5-1,2
		Обратная	49-78	0,9-2,0	1,7-3,5
Сильнотрещиноватые	VII-XII	Прямая	42-52	0,3-0,6	0,5-1,0
		Обратная	50-81	0,6-1,2	1,2-2,2
Гидроударное бурение					
Монолитные и слаботрещиноватые	IV-IX	Прямая	75-80	1,9-2,6	3,2-4,1
		Обратная	75-84	1,9-2,8	3,2-4,9
Трещиноватые	VI-XI	Прямая	65-76	2,3-2,6	3,7-5,3
		Обратная	70-82	2,5-2,6	4,0-4,8
Сильнотрещиноватые	VII-XII	Прямая	60-75	2,0-2,3	3,8-4,1
		Обратная	70-85	2,2-2,4	3,5-5,0

При гидроударном бурении эффективность разрушения породы определяется, как известно, главным образом частотой и энергией ударов. Забойная мощность гидроударника определяется расходом подаваемой в него промывочной жидкости [1]. Это значит, что этот технологический параметр играет основную роль в процессе разрушения породы при гидроударном способе бурения скважин. При прочих равных условиях с увели-

чением расхода промывочной жидкости возрастает частота ударов, энергия единичного удара и перепад давления на гидроударнике. Хотя это повышает механическую скорость бурения, но одновременно растет приводная мощность, ограничиваемая возможностями поверхностного оборудования. Поэтому в конкретных условиях применение рациональной технологии гидроударного бурения тесно связано с обеспечением необходимого расхода промывочной жидкости, подаваемой в гидроударник [1, 2]. Вместе с тем анализ известных рекомендуемых режимов бурения показывает, что для ГПД расход промывочной жидкости варьируется в пределах 10-20 %, хотя буримость породы изменяется на 3-5 категорий по двенадцатибалльной шкале (при этом твердость породы по Шрейнеру изменяется от 1500 до 7000 МПа, а объединенный показатель буримости – от 6,8 до 76,8). Это значит, что реальный расход промывочной жидкости определяется диапазоном надежной работы гидроударного механизма, а не требованиями рациональной технологии бурения. Поэтому для расширения области применения гидроударного бурения необходим поиск новых конструкций гидроударников и использование нового подхода при совершенствовании технологии их применения.

Модернизацию технических средств гидроударного бурения целесообразно вести в направлении создания гидроударников двойного действия (ГДД) с дифференциальным поршнем. Они более совершенны по сравнению с ГПД, конструктивно просты среди ГДД и обладают хорошей работоспособностью при бурении пород VII-XII категорий со сложным характером опробования, при проходке скважин на шельфе и ликвидации аварий в разведочных скважинах.

В Донецком государственном техническом университете (ДонГТУ) разработан гидроударный буровой снаряд, включающий ГДД и колонковый набор (рис.1). Он обладает высокой надежностью и эффективной мощностью. Его можно использовать при применении глинистых растворов с условной вязкостью до 45с (для серийных ГПД условная вязкость составляет не более 25с). Гидроударник этого снаряда имеет насосный блок (см. рис.1, позиции 14-23), который создает обратную промывку в полости керноприемной трубы. Это позволяет получать керн высокого качества в интервалах пород со сложным характером опробования. Следует отметить, что конструкция насосного блока позволяет осуществлять обратную промывку даже при больших гидравлических сопротивлениях в керноприемной трубе (используемые с ГПД эжекторы в таких случаях неработоспособны).

В конструкции бурового снаряда можно использовать двойные колонковые трубы, обеспечивающие комбинированную промывку в призабойной зоне (обратная промывка в керноприемной трубе и прямая – между снарядом и стенками скважины), позволяющую увеличить выход керна и предотвратить зашламование забоя скважины. Разработанные буровые снаряды диаметрами 76, 93 и 112 мм прошли апробацию в производственных условиях [3]. Установлено (табл. 2), что в трещиноватых и сильно трещиноватых абразивных породах (это характерно для условий Донбасса) при гидроударном бурении с обратной промывкой имеем как минимум в 1,2 – 2,1 раза больший выход керна по сравнению с вращательным бурением с прямой промывкой. При этом механическая скорость бурения увеличивается в 2 – 2,3 раза.

Таблица 2 – Результаты бурения скважин при применении гидроударников двойного действия конструкции ДонГТУ

Наименование пород	Категория пород по буримости	Способ бурения и промывки	Выход керна, %	Механическая скорость бурения, м/ч	Проходка скважины за рейс, м
Известняки битуминозные с пропластками и линзами кремния (слаботрещиноватые)	IX-XI	Гидроударный, обратная	78-82	2,1-2,24	3,2-4,0
		Вращательный, прямая	26-36	0,4-0,9	0,6-0,9
		Вращательный, обратная (безнасосный способ)	58-70	0,3-0,6	0,35-0,6
Известняки кремнистые с прослоями окремненных сланцев и пропластками сливного кремния (трещиноватые)	VIII-XI	Гидроударный, обратная	75-80	1,9-2,6	2,9-3,5
		Вращательный, прямая	28-30	0,2-0,6	0,5-0,9
		Вращательный, обратная (безнасосный способ)	62-68	0,3-0,4	0,6-0,8
Сланцы окремненные с прослоями кремнистых известняков (сильнотрещиноватые)	VII-IX	Гидроударный, обратная	75-85	1,8-2,1	3,1-3,6
		Вращательный, прямая	20-35	0,3-0,6	0,6-0,7
		Вращательный, обратная (безнасосный способ)	50-65	0,4-0,5	0,6-0,7

При применении разработанной конструкции ГДД выбор технологических параметров бурения скважин осуществлялся следующим образом. К традиционным режимным параметрам (осевой нагрузке, частоте вращения и подаче промывочной жидкости) был добавлен четвертый регулируемый параметр – величина рабочего хода бойка гидроударника. Расход промывочной жидкости, подаваемой в гидроударник, определяли из условия максимума подводимой к нему мощности. Традиционно считают, что оптимальный расход жидкости имеем тогда, когда на забойном механизме реализуется 2/3 гидравлической мощности N на выходе приводного насоса [4]. Однако выполненный нами анализ показывает, что в общем случае имеем следующие соотношения между приводной мощностью гидроударника N_{II} , гидравлической мощностью насоса N и расходом жидкости Q :

для ньютоновской жидкости (вода, водные эмульсии)

$$N_{II} = \frac{7}{11} N + \frac{1}{11} B Q^3 ; \quad (1)$$

для неньютоновской жидкости (глинистые растворы)

$$N_{II} = \frac{2}{3} N + \frac{A_1}{24} (K_1 / Q + K_2 / Q^2)^{-7/8} (K_1 / Q^2 + K_2 / Q^3) + \frac{A_2}{24} (K_3 / Q + K_4 / Q^2)^{-7/8} (K_3 / Q^2 + K_4 / Q^3), \quad (2)$$

где B – коэффициент, учитывающий вид и количество соединений бурильной колонны, плотность жидкости и площадь сечения потока в бурильных трубах и скважине; A_1 и A_2 – коэффициенты, учитывающие длину бурильной колонны, плотность жидкости, геометрические характеристики потока соответственно в трубах и скважине; K_1, K_2 и K_3, K_4 – коэффициенты, учитывающие реологические параметры жидкости и геометрические характеристики потока соответственно в трубах и скважине.

Расчеты по указанным зависимостям показывают, что для труб геологоразведочного сортамента подаваемый к гидроударнику оптимальный расход жидкости отличается от расходов, определенных по известным соотношениям работы [4]. Следовательно, при проектировании технологии бурения скважин установленные зависимости (1) и (2) дают возможность с большей достоверностью определять расход промывочной жидкости в конкретных условиях бурения скважин.

Рабочий ход бойка гидроударника при бурении скважины должен регулироваться с учетом расхода промывочной жидкости, эффективной мощности, реализуемой на забое, и ограничений по энергии единичного удара и их частоте (ограничения зависят от прочностных характеристик бурового снаряда и характера разрушения пород). При регулировании рабочего хода бойка гидроударника для ударно-вращательного способа бурения следует ориентироваться на достижение максимальной энергии ударов, а для вращательно-ударного способа – на получение максимальной

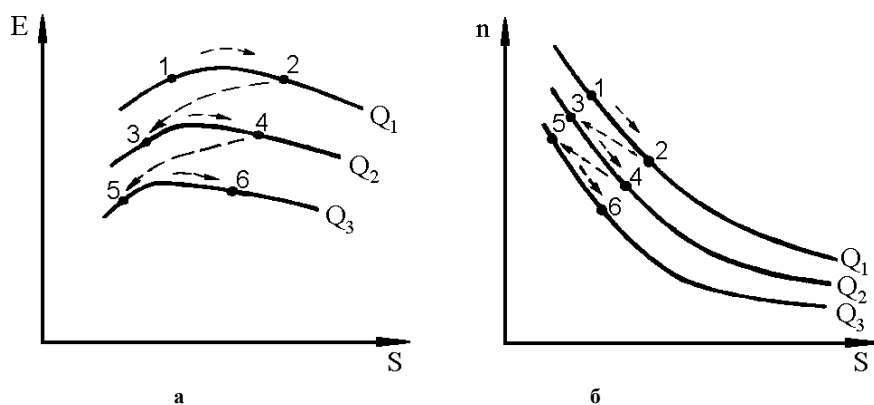


Рис. 2 – Регулирование расхода жидкости (Q_i) и хода бойка (S): а – при ударно-вращательном бурении; б – при вращательно-ударном.
 E – энергия единичного удара, n – частота ударов, $Q_1 > Q_2 > Q_3$, 1 – 6 – границы интервалов регулирования хода бойка гидроударника.

$$N_{\text{Э}} = En = N_{\text{П}} \eta, \quad (3)$$

где E – энергия единичного удара, n – частота ударов, η – КПД гидроударника.

При дальнейшей углубке скважины условие максимума приводной мощности нарушается из-за возрастания потерь давления в буровых трубах и скважине. При этом снижается величина эффективной мощности, что приводит к снижению энергии и частоты ударов. Восстановление этого условия можно обеспечить только за счет снижения расхода промывочной жидкости до величины Q_2 . Однако в этом случае энергия ударов также уменьшается, что приводит к снижению механической скорости бурения. Если расход жидкости не изменять, а увеличивать ход бойка, то в этом случае энергия ударов практически не изменяется (увеличение всего лишь на 1-4%). Следует отметить, что при этом уменьшается частота ударов. С точки зрения характера разрушения породы такое снижение частоты ударов (до 8%) практически не влияет на механическую скорость бурения, поскольку гидроударник будет работать в условиях, близких к оптимальным. Стало быть, по мере углубки скважины необходимо постепенно увеличивать ход бойка S гидроударника до значения, соответствующего точке 2 графика. Координаты последней определяются предварительно наложенными ограничениями. При этом практически не происходит уменьшения механической скорости бурения. Только по достижении точки 2 следует уменьшать расход промывочной жидкости до величины Q_2 . Для выполнения условия максимума приводной мощности ход бойка S следует уменьшить до величины, соответствующей точке 3.

Итак, по мере углубки скважины необходимо увеличивать ход бойка гидроударника при фиксированном расходе жидкости. Только при достижении верхней границы интервала регулирования хода бойка следует снижать расход жидкости с одновременным уменьшением хода бойка. При достижении величины S , соответствующей точке 4, необходимо снизить расход жидкости до величины Q_2 и уменьшить ход бойка до значения, соответствующего точке 5 и т.д. Такое регулирование технологических параметров обеспечивает более эффективное использование энергетических возможностей гидроударника по мере роста глубины бурения. В конечном итоге на большем интервале бурения скважины поддерживается более высокая механическая скорость бурения по сравнению с традиционной технологией.

При вращательно-ударном способе бурения (рис. 2, б) регулирование расхода жидкости и хода бойка осуществляется аналогичным образом. Различие лишь в том, что в качестве основного критерия, регламентирующего диапазон изменения хода бойка S гидроударника, используется частота ударов n . С увеличением хода бойка происходит некоторое снижение частоты ударов (не более 5-8%) при практически постоянной величине энергии единичного удара.

Выводы. Применение гидроударного бурения при разведке угольных месторождений является одним из перспективных и эффективных способов повышения скоростей проходки скважин. Для достижения более высоких показателей в технологии гидроударного бурения следует использовать новый принцип взаимосвязанного регулирования расхода жидкости и хода бойка гидроударника, заключающийся в поддержании энергии единичного удара гидроударника практически постоянной на заданном интервале углубки скважины. Лучшие результаты регулирования достигаются при использовании гидроударников двойного действия, имеющих более высокий КПД по сравнению с серийными гидроударниками прямого действия. Разработанная новая конструкция бурового снаряда прошла промышленную апробацию и обеспечивает повышение технико-экономических показателей в 1,5 – 2 раза.

Литература

1. Справочник инженера по бурению скважин: В 2-х т. / Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Недра, 1984. – Том 1. – 512 с. – Том 2. – 437 с.
2. Киселев А.Т., Крусир И.Н. Вращательно-ударное бурение геологоразведочных скважин. – М.: Недра, 1982. – 103 с.
3. Эффективность снарядов ударно-вращательного бурения в твердых породах со сложным характером опробования / Пилипец В.И., Калининко О.И., Каракозов А.А. и др. // Бурение скважин в осложненных условиях. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – С. 67-69.
4. Ясов В.Г. Погружные гидравлические буровые машины. – Днепропетровск: ДГИ, 1974. – 64 с.