

## ИМПУЛЬСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БУРЕНИЯ ГЛУБОКИХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ ГИДРОУДАРНЫМИ МАШИНАМИ С ОТРАЖАТЕЛЯМИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ВОЛН

**А. А. Кожевников**

*Национальный горный университет, Днепропетровск*

*Надійшла до редакції 28.03.06*

**Резюме:** Статья посвящена вопросам повышения эффективности бурения глубоких геологоразведочных скважин. Предлагается новый метод импульсного бурения – вращательно-ударное бурение высокочастотными гидроударными машинами с отражателями гидравлических волн. Установлено, что его эффективность определяется соотношением уровней ударной мощности гидроударной машины и забойной мощности вращательного бурения и с ростом глубины скважины возрастает. Раскрыта двойственная отрицательная роль температурного фактора. Показано, что на эффективность бурения влияют теплофизические свойства горной породы, материала буровой коронки и очистного агента. Предложены новые конструкции отражателей и схемы их установок в компоновке с гидроударником. Основные результаты работы нашли промышленное применение в практике бурения глубоких геологоразведочных скважин.

**Ключевые слова:** вращательно-ударное бурение, скважины, гидроударная машина, отражатель, импульсная технология.

**А. О. Кожевников. ІМПУЛЬСНА ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ ГЛИБОКИХ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН ВИСОКОЧАСТОТНИМИ ГІДРОУДАРНИМИ МАШИНАМИ З ВІДБИВАЧАМИ ГІДРАВЛІЧНИХ ХВИЛЬ.**

**Резюме:** Стаття присвячена питанням підвищення ефективності буріння глибоких геологорозвідувальних свердловин. Пропонується новий спосіб імпульсного буріння – обертально-ударне буріння високочастотними гідроударними машинами з відбивачами гідравлічних хвиль. Встановлено, що його ефективність визначається співвідношенням рівнів ударної потужності гідроударної машини та вибійної потужності обертального буріння і зростає при збільшенні глибини свердловини. Розкрита подвійна негативна роль температурного фактора. Показано, що на ефективність буріння впливають теплофізичні властивості гірської породи, матеріалу бурової коронки і очисного агента. Запропоновані нові конструкції відбивачів і схеми їх установлень в компоновку з гідроударником. Основні результати роботи знайшли промислове застосування, зокрема в практиці буріння глибоких геологорозвідувальних свердловин.

**Ключові слова:** обертально-ударне буріння, свердловина, гідроударна машина, відбивач, імпульсна технологія.

**A. Kozhevnikov. IMPULSE TECHNOLOGY DRILLING OF DEEP GEOLOGY-EXPLORING HOLES BY HIGH-FREQUENCY HYDRODRILL MACHINES WITH REFLECTORS OF HYDRAULIC WAVES.**

**Abstract:** The article is devoted to problems of increase of efficiency drilling of deep geology-exploring holes. In work the new method of impulse drilling – rotary-shock drilling by high-frequency hydrodrill machines with reflectors of hydraulic waves develops. Is established, that it's efficiency is determined by a parity of levels of a shock potency of the hydrodrill machine and a stope potency of rotary drilling and will increase with growth of depth of a hole. The dual negative role of the temperature factor is uncovered, is shown, that the efficiency of drilling is under influence of termophysical property of rock, material of a drill bore and clearing agent. the new constructions of reflectors and scheme of their installations in arrangement with hydrodrill machine are offered. The main outcomes of work have found industrial application in practice of deep geology-exploring holes.

**Keywords:** rotary-shock drilling, hole, hidrodrill machine, reflector, impulse technology.

Разведка и разработка месторождений угольных, железорудных, полиметаллических и других полезных ископаемых требует бурения глубоких (до 2 000 м и более) разведочных и технических скважин.

Традиционно применяемому в этих условиях вращательному методу бурения присуща тенденция к снижению механической скорости с ростом глубины скважины. Эта тенденция обусловлена естественной закономерностью уменьшения забойной мощности при бурении с использованием породоразрушающего инструмента в связи с падением параметров режима бурения – частоты вращения, осевой нагрузки, количества промывочной жидкости – с ростом глубины скважины. Следовательно, повышение эффективности бурения глубоких скважин является важной научно-технической проблемой.

Интенсифицировать процесс разрушения горной породы при вращательном бурении можно путем реализации импульсной технологии с наложением на породоразрушающий инструмент (коронку, долото) ударных нагрузок определенной частоты и силы [1, 2].

Для создания ударных нагрузок применяют забойные ударные механизмы, в частности гидравлические – гидроударники. Однако высокочастотные гидроударные машины имеют высокие параметры паспортного расхода рабочего агента: для ГВ-5 – 130–150 л/мин,

ГВ-6 – 80–100 л/мин, Г76В – 100–130 л/мин, Г59В – 50–80 л/мин, в то время как при вращательном бурении алмазными коронками с учетом разнообразных геологических условий расход промывочной жидкости составляет 20–100 л/мин для скважин диаметром 76 мм и 15–80 л/мин для скважин диаметром 59 мм. В то же время расход промывочной жидкости является одним из важнейших параметров технологий как бурения алмазными коронками, так и гидроударного бурения. Таким образом, объединение в гидроударно-алмазной технологии в одной компоновке двух разнорасходных технических средств привело к возникновению противоречий. Первое противоречие состоит в том, что процесс промывки скважины с алмазной коронкой на забое и рабочий процесс гидроударной буровой машины имеют разные оптимальные режимы. Разрешение этого противоречия состоит в необходимости их взаимной оптимизации. Второе противоречие возникает из-за несоответствия высоких паспортных расходов гидроударников требованию роста глубины гидроударного бурения.

По соотношению расходов промывочной жидкости при вращательно-ударном бурении, подаваемого на алмазную коронку  $Q_{ак}^{бр-уд}$  и на гидроударник  $Q_{гуд}$ , а также по отношению их к расходу, подаваемому на алмазную ко-

ронку при вращательном бурении  $Q_{ак}^{вр}$ , и к паспортному расходу гидроударника  $Q_{гу}^{пасп}$  можно выделить 6 видов импульсных технологий гидроударно-алмазного бурения, которые приведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что технологии № 1–4 являются равновасходными (т. е. выравнивающими расход гидроударного режима и вращательного бурения) лишь формально, т. к. не устраняют ни первое, ни второе, ни оба противоречия вместе. И только технология № 5 с подачей на гидроударник и алмазную коронку расхода промывочной жидкости, равного расходу при алмазном вращательном бурении с применением отражателей гидравлических волн и измененных регулировок гидроударника, является действительно эффективной технологией гидроударно-алмазного

бурения, т. к. позволяет одновременно разрешить оба противоречия:

- оптимизировать процесс промывки забоя и рабочий процесс гидроударника;
- увеличить глубину эффективного применения гидроударных машин.

Достижимый положительный эффект в этом случае складывается из следующих составляющих:

- бурение на номинальном (технологическом с точки зрения работы алмазной коронки) расходе промывочной жидкости создает условия для ее рациональной отработки;
- малый расход промывочной жидкости уменьшает силы гидравлического подпора, что приводит к увеличению действительного усилия подачи, действующего на коронку на забое скважины;

**Таблица 1. Виды импульсных технологий гидроударно-алмазного бурения высокочастотными гидроударниками**

№ пор.	Вид технологии гидроударно-алмазного бурения	Соотношение $Q_{ак}^{вр-уд}$ и $Q_{гу}$	Пределы изменения расходов промывочной жидкости	Регулировка гидроударника	Дополнительные технические средства
1	Формально равновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}^{пасп}$	паспортн.	–
2	Формально равновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр} < Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу} < Q_{гу}^{пасп}$	паспортн.	–
3	Формально равновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр} < Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу} < Q_{гу}^{пасп}$	изменен.	–
4	Формально равновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу} = Q_{ак}^{вр}$	изменен.	–
5	Эффективная равновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{гу} = Q_{ОГВ} = Q_{ак}^{вр}$	изменен.	ОГВ – отражатель гидравлических волн
6	Разновасходная	$Q_{ак}^{вр-уд} \neq Q_{гу}$	$Q_{ак}^{вр-уд} = Q_{ак}^{вр}$ $Q_{гу} = Q_{гу}^{пасп}$ $Q_{ДП} = Q_{гу} - Q_{ак}^{вр}$	паспортн.	ДП – делитель потока

- малый расход промывочной жидкости способствует уменьшению дополнительных подклинок керна в колонковой трубе при бурении трещиноватых горных пород;
- потери промывочной жидкости при бурении с поглощением уменьшаются;
- сохраняется нормальный шламовый режим на забое скважины при бурении с малым расходом промывочной жидкости, что улучшает условия обнажения алмазов и взаимодействия их с горной породой.

*Второй* составляющей равнорасходной технологии вращательно-ударного бурения глубоких геологоразведочных скважин является работа высокочастотной гидроударной машины в компоновке с отражателем гидравлических волн, который предназначен для форсирования энергетической характеристики гидроударника в связи с подачей на него пониженного расхода промывочной жидкости, равного расходу промывочной жидкости при бурении алмазными коронками.

Под руководством и при участии автора в НГУ разработан ряд отражателей гидравлических волн для гидроударного бурения. Отражатель ОГВ-М выполнен по принципу обратного клапана. Отражатель ОГВ-МП2 представляет собой усовершенствованный вариант клапанного отражателя, снабженного прямолинейной разгонной трубой. Помимо традиционного конструктивного выполнения разгонных труб по прямолинейной схеме разработаны отражатели гидравлических волн с разгонной трубой винтового типа ОГ – одно- и двухзаходные. Такое конструктивное выполнение отражателя позволяет значительно сократить его осевые размеры, уменьшить гидравлические сопротивления при прокачивании промывочной жидкости, особенно при бурении на высоких частотах вращения, т. к. в этом случае отражатель выполняет еще и функции винтового насоса с приводом от бурильной колонны. Отражатель ОГ пред-

ставляет собой однозаходный винтовой отражатель комбинированного типа с внутрицикловой установкой, в котором на фазе разгона бойка гидроударника используется синфазное отражение прямой волны повышенного давления и противофазно отраженные волны пониженного давления. Отражатели ОГВ-М, ОГВ-МП2 и ОГ разработаны совместно с СКБ "Союзгеотехника" (г. Москва, РФ).

В конструкциях описанных отражателей используются известные в науке и технике принципы отражения, ранее применявшиеся при бурении.

В НГУ проведены исследования по использованию новых физических эффектов (в частности, эффекта кавитации) для форсирования энергетических характеристик высокочастотных гидроударников, для чего отражатель гидравлических волн выполнен в виде кавитирующей трубки Вентури (ОГВ-КТВ).

*Третьей* составляющей равнорасходной технологии вращательно-ударного бурения глубоких геологоразведочных скважин является компоновка гидроударной машины с внутрицикловой и внутрифазовой установкой отражателя гидравлических волн, которые впервые предложены автором. Внутрицикловая установка отражателя характеризуется приходом отраженной волны по отношению к ее породившей прямой волне со сдвигом времени, не превышающем период цикла гидроударника. Внутрифазовая установка отражателя характеризуется приходом отраженной волны в период времени фазы, ее породившей.

*Внутрицикловая и внутрифазовая* установки отражателя по отношению к зацикловой установке имеют следующие достоинства:

- меньше осевые размеры отражателя;
- меньше затухание прямых и отраженных волн;
- более высокая стабильность работы гидроударника, т. к. в меньшей мере сказывается действие нерегулярных сил.

Бурение скважин с применением равно-расходной импульсной технологии вращательно-ударного бурения с отражателями ОГ76 и ОГ59 проводилось в Зырянской геолого-разведывательной экспедиции (ЗГРЭ) ПГО "Востказгеология" и Криворожской ГРЭ (КрГРЭ) ПГО "Южургеология" с двумя базами сравнения – на малых глубинах с гидроударником на паспортном расходе промывочной жидкости и на больших глубинах с вращательным бурением на расходе алмазного бурения.

При этом достигнут рост механической скорости бурения и проходки за рейс

(табл. 2) по всем интервалам бурения и базам сравнения. В процессе бурения отражатели ОГ76 и ОГ59 не требовали регулировок и ремонта. Переход при гидроударном бурении на пониженные расходы промывочной жидкости, равные расходам промывочной жидкости при бурении алмазными коронками, открыл буровикам-производственникам важный резерв экономии промывочной жидкости в случаях поглощения ее в процессе бурения скважин.

В табл. 3 приведены фактические данные изменения осевой нагрузки, частоты враще-

**Таблица 2. Сводные данные роста показателей бурения с применением импульсной технологии**

Способ бурения	Интервал глубины, м	Место испытаний	Фактический рост показателей, %		t-критерий			
			Механическая скорость бурения	Проходка за рейс	По механической скорости бурения		По проходке за рейс	
					t <sub>гр</sub>	t <sub>расч</sub>	t <sub>гр</sub>	t <sub>расч</sub>
Вращательно-ударный высокочастотным гидроударником Г59В + отражатель ОГ59	0–500	ЗГРЭ	11,2	11,1	1,44	1,50	1,44	1,46
	500–2 000	ЗГРЭ	21,8	20,8	1,44	3,09	1,44	1,69
		КрГРЭ	21,7	42,1				
Вращательно-ударный высокочастотным гидроударником Г76В + отражатель ОГ76	0–700	ЗГРЭ	10,3	9,2	1,48	1,80	1,48	2,00
		КрГРЭ	10,3	29,6	1,44	1,54	1,44	1,79
	700–2 000	ЗГРЭ	15,7	20	1,49	2,19	1,49	2,92
		КрГРЭ	20,3	24,5	1,44	2,18	1,44	1,48

**Таблица 3. Изменение эффективности вращательно-ударного бурения с ростом глубины скважины**

Интервал глубины бурения, м	Средняя глубина бурения, м	Осевая нагрузка, даН	Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	Механическая скорость бурения, м/ч		$K_{эф} = \frac{V_{вр-уд}}{V_{вр}}$
				V <sub>вр</sub>	V <sub>вр-уд</sub>	
668-927	797,6	1200	231	1,10	1,20	1,09
1264-1365	1314,8	1500	136	0,61	0,80	1,31
1484-1497	1490	800	203	0,46	0,66	1,43
2102-2280	2191	1700	136	0,47	0,60	1,28

ния, механической скорости бурения и коэффициента эффективности вращательно-ударного бурения в производственных условиях при увеличении глубины скважины. Данные приведены по результатам бурения с применением отражателей ОГ59 в Криворожской ГРЭ.

Как следует из данных табл. 3 с увеличением глубины скважин отношение скоростей вращательно-ударного и вращательного бурения растет. Вращательно-ударное бурение является единственным из существующих способов бурения, эффективность которого относительно базы сравнения при увеличении глубины скважины не только не убывает или остается на постоянном уровне, а, наоборот, возрастает.

Теоретически и экспериментально в результате бурения в стендовых и производственных условиях установлено, что эффективность импульсной технологии вращательно-ударного бурения высокочастотными гидроударными машинами с отражателями гидравлических волн определяется соотношением уровней ударной мощности гидроударной машины и забойной мощности вращательного бурения и с ростом глубины скважины возрастает. Раскрыта двойственная от-

рицательная роль температурного фактора, показано, что на эффективность бурения влияют теплофизические свойства горной породы, материала буровой коронки и очистного агента.

Таким образом, выполненный комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ позволил повысить эффективность и глубину вращательно-ударного бурения высокочастотными гидроударниками с применением алмазных коронок. Впервые в отечественной и мировой практике при разведке твердых полезных ископаемых достигнута эффективная глубина бурения – 2 280 м. Место рождения рекорда – Криворожская ГРЭ ПГО "Южукргеология".

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Кожевников А. А.** Научные основы вращательно-ударного бурения глубоких геологоразведочных скважин высокочастотными гидроударными машинами с отражателями гидравлических волн: Дис... докт. техн. наук. – Днепропетровск, 1998. – 365 с.
2. **Кожевников А. А., Гошовский С. В., Мартыненко И. И.** Импульсные технологии бурения геологоразведочных скважин. – К.: Изд. УкрГГРИ, 2003. – 208 с.