Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LVII, вып. 2, 1969 г.

ОПЫТ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ С ПРОДУВКОЙ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ

Ю. М. Парийский, Л. К. Горшков, В. Ф. Фисенко

Район Депутатского месторождения, где проводилось бурение, сложен литологически однообразной толщей отложений, дислоцированных в крупные пологие складки субширотного и северо-восточного простирания. С точки зрения физико-механических свойств, определяющих выбор алмазного инструмента, породы, слагающие месторождение, можно разделить на три основные группы:

1) сильно дробленые, нередко перемятые средне- и мелкозернистые песчаники и песчано-глинистые сланцы, сцементированные известковым материалом и льдом, VIII—IX категорий по буримости;

2) песчано-глинистые сланцы VIII категории по буримости;

3) плотные окварцованные, местами ороговикованные тонкозернистые малоабразивные песчаники X—XI категорий по буримости.

Наибольшую трудность для бурения представляют породы третьей группы, в которых наблюдаются низкая механическая скорость и быстрый выход из строя коронок вследствие зашлифования алмазов. Алмазное бурение в породах такого типа (ороговикованные кварциты, джеспилиты Кривого Рога, таконiты США) представляет собой весьма сложную, до сих пор не решенную в мировой практике проблему даже при использовании промывочных жидкостей в качестве циркуляционного агента. В условиях же бурения с продувкой при более напряженном тепловом режиме алмазов требование соответствия характеристик алмазосодержащего слоя физико-механическим свойствам буримых пород приобретает решающее значение.

При проведении опытов по бурению в породах третьей группы стандартными коронками с твердой матрицей, армированными алмазами крупностью до 200 *шт/карат*, во всех случаях наблюдалось зашлифование алмазов, что свидетельствует о несоответствии указанных типов коронок свойствам проходимых пород.

С целью выяснения требований к коронкам, предназначенным для бурения по малоабразивным породам высших категорий, были проведены в условиях Депутатской ГРП специальные опыты. Для этого при бурении в названных породах опробовались коронки, армированные алмазами различной крупности: 40—50 *шт/карат* (однослойные коронки); 90 *шт/карат* (трехслойные коронки); 190—200 *шт/карат* и 500—900 *шт/карат* (импрегнированные коронки).

Результаты испытаний следующие. Алмазы трехслойных и особенно однослойных коронок зашлифовывались после проходки 1—3 *пог.м*, и процесс бурения прекращался. Коронка с алмазами крупностью 190—210 *шт/карат* работала до полного износа (7,35 *пог.м*) почти без снижения механической скорости; наблюдалось зашлифование подрезных алмазов и некоторых объемных. На забой подавался неохлажденный воздух, и коронка работала при наличии конденсата, что ухудшало очистку забоя и коронки от шлама. Этим фактом, видимо, и можно объяснить низкую работоспособность указанной коронки. Коронка с алмазами крупностью 500—900 *шт/карат* прошла 18,15 *пог.м*, зашлифования не наблюдалось, а механическая скорость оставалась практически неизменной (0,7—0,9 *м/ч*).

Анализируя описываемые опыты, можно сказать, что уменьшение крупности алмазов до определенных размеров способствует сохранению их работоспособности в условиях высоких температур и является резервом совершенствования алмазных коронок, предназначаемых для бурения с продувкой.

Выбор коронок для бурения по породам первых двух групп тоже имеет свои особенности. На первый план здесь выдвигается требование необходимой прочности и износостойкости матрицы, поскольку процесс бурения в этих породах сопровождается обильным шламообразованием и динамическими нагрузками (трещиноватость, переменная твердость пород).

Как показали опытные работы 1966 г., наилучшие результаты при бурении пород 1-й группы были получены коронкой МВ-ЗП, которая прошла 20,35 *пог.м* (расход алмазов 0,54 *карат/м*, ниже принятой на месторождении нормы). Импрегнированная коронка ИМВ-ЗП с несколько пониженной твердостью матрицы прошла 16,5 *пог.м*. Однослойные же коронки типа МВ-1 и специальной конструкции (алмазы крупностью 10—15 *шт/карат*, твердостью матрицы 35 HRC) показали наряду с высокими механическими скоростями (до 4,0—4,5 *м/ч*), довольно низкие результаты по стойкости (не выше 10 *пог.м*). Это свидетельствует о том, что однослойные коронки с крупными алмазами наиболее пригодны для бурения в породах 2-й группы, где опасность выкола алмазов меньше.

Форсирование режима бурения по породам 1-й группы приводит к зашлифованию торца коронки и чревато опасностью перегрева алмазов из-за возрастания количества тепла, генерируемого на забое, и ухудшения условий теплообмена коронки с потоком воздуха. Все это усугубляется недостаточной мощностью применяемых для подачи сжатого воздуха компрессоров. Как показали результаты бурения на скв. 340, даже «нефорсированный» режим бурения с продувкой (осевая нагрузка 400—500 *кГ*, скорость вращения 153 *об/мин*) коронкой диаметром 59 *мм* обеспечивает достаточно высокие показатели по сравнению с применением промывки. Интервал в 45,5 *м* был пройден за 10 ст.-смен со средней механической скоростью 1,75 *м/ч*, что по сменной производительности превышает показатели бурения с промывкой по сходному интервалу на 28%, а по механической скорости — в 2,8 раза. Весь интервал был пройден без каких-либо осложнений, в то время как бурение с промывкой по зоне дробления обычно связано с большими трудностями из-за нарушения устойчивости стенок скважины и поглощения жидкости.

Таким образом, опытные работы, проведенные в 1965—1966 гг., дали обнадеживающие результаты, что позволило начать внедрение алмаз-

ного бурения с продувкой на Депутатском месторождении в первую очередь в породах до X категории по буримости.

С этой целью в мае—июне 1967 г. были проведены специальные работы, задачами которых являлись: 1) отработка и внедрение новой техники бурения; 2) оценка качества геологического опробования при алмазном бурении с продувкой; 3) оценка технико-экономической эффективности бурения алмазами с продувкой в условиях Депутатской ГРП.

Работы проводились на скв. 400, 401 и 413, проходимых по породам с усредненной категорией буримости, равной 9,2. В ходе опытного бурения было пройдено 148 *пог.м.* С учетом предыдущих полевых работ, а также теоретических и лабораторных исследований * значения режимных параметров бурения устанавливались так, чтобы обеспечить объемное разрушение породы при нормальном тепловом режиме коронки. Основными критериями для определения характера разрушения породы и теплового режима коронки служили величина и характер изменения механической скорости бурения.

Конкретные значения режимных параметров, характеризующие рациональный режим бурения, приведены в табл. 1. Там же показаны значения ожидаемой механической скорости, которые могут служить ориентировочными показателями нормального процесса бурения. Резкое падение скорости свидетельствовало о нарушении нормального теплового режима коронки, зашлифовании алмазов и вследствие этого прекращении объемного разрушения породы.

Таблица 1

Породы и категории по буримости	Типы коронок	Крупность алмазов, *шт/карат*	Диаметр коронок, *мм*	Параметры режима бурения*		Ожидаемая механическая скорость бурения, *см/мин*
				осевая нагрузка, *кГ*	скорость вращения, *об/мин*	
Сланцы и крупнозернистые песчаники, VII—VIII	Однослойные	20—30	76 59	400—500 250—350	150—180 200—250	4,0—3,0 4,0—3,0
Песчаники среднезернистые, VIII—IX	Однослойные	40—50	76 59	500—600 350—450	150—180 180—200	3,0—2,5 3,0—2,5
То же, трещиноватые	Трехслойные	90	76 59	400—500 300—350	100—150 150—180	2,5—2,0 2,5—2,0
Песчаники средне- и мелкозернистые, IX—X	Трехслойные, импрегнированные	120—150	76 59	700—900 500—600	100—150 150—180	1,5—1,0 1,5—1,0
То же, трещиноватые	Импрегнированные	190—210 и мельче	76 59	600—800 400—500	до 100 до 150	1,0—0,5 1,0—0,5

* Расход воздуха 3,5—4,5 *м³/мин*.

В процессе полевых исследований было также замечено, что повышение скорости вращения коронки сверх определенного критического

* См. статью Л. К. Горшкова и Ю. М. Парийского «Тепловой режим алмазов буровых коронок» в настоящем сборнике.

значения при некоторых условиях приводит к быстрому снижению скорости бурения и к выходу коронки из строя вследствие зашлифования или разрушения алмазов. Особенно резко это проявляется при бурении в более твердых породах.

Показатели работы коронки могут также ухудшаться при увеличении количества конденсата в бурильных трубах, что в условиях отсутствия искусственного охлаждения сжатого воздуха часто имеет место особенно при температуре атмосферного воздуха выше +10° С и высокой его влажности.

Вследствие большого количества конденсирующейся в скважине влаги ухудшаются условия очистки и охлаждения алмазной коронки, что отрицательно сказывается на ее износостойкости. Кроме того, наличие конденсата вызывает в процессе бурения ряд других осложнений: конденсат замерзает и нередко перекрывает канал колонны бурильных труб; возможны растепления стенок скважины и керна и вместе с ними — обвалы, осыпание и разбухание пород; наличие влаги может послужить причиной сальникообразования, следствием чего являются сужения в кольцевом пространстве и т. д. Все это приводит к резкому повышению и без того довольно высокого при алмазном бурении давления воздуха. При повышении же давления воздух еще сильнее разогревается, и еще больше влаги поступает в скважину, особенно при высокой атмосферной влажности.

Охлаждение сжатого воздуха до определенных температур при алмазном бурении способствует предотвращению указанных трудностей. Рациональным пределом охлаждения воздуха на поверхности является температура, при которой конденсируется большая часть влаги, содержащейся в сжатом воздухе. Понятно, что эта температура должна быть близкой к температуре внутри скважины. При полевых работах в Депутатской ГРП бурение осуществлялось по породам, имеющим среднюю температуру в интервале 0—100 *м* минус 8—9° С. Охлаждение воздуха до 0° С (перед поступлением его в скважину) обеспечивало нормальные условия для протекания процесса бурения.

Для охлаждения сжатого воздуха в зимнее время достаточно применения радиаторных холодильников, охлаждающих воздух до температур, близких к атмосферным. В летнее время должны использоваться, кроме батарейных радиаторных холодильников, воздушные холодильные машины. Для этих целей в летние периоды полевых работ в Депутатской ГРП использовались воздушная холодильная машина ВХМ-1 с пневмодвигателем ДР-5У в качестве детандера и погружной вихревой холодильник ПВХ-ЛГИ-3.

При проходке глубоких скважин (более 100—150 *м*) малых диаметров (59 *мм* и менее) наиболее рационально применение легких фреоновых парокомпрессионных машин, при работе с которыми начальные параметры воздуха (расход и давление) остаются неизменными.

Технико-экономические показатели алмазного бурения с продувкой, полученные в ходе опытных работ 1967 г. в Депутатской ГРП, в сравнении с показателями других способов бурения в идентичных геологических условиях представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, средняя стойкость алмазных коронок при бурении с продувкой оказалась несколько ниже, чем при бурении с промывкой.

При проходке 148 *пог.м* было отработано 12 коронок, что соответствует средней стойкости коронки 12,3 *пог.м* против 15,6 *пог.м* при бурении с промывкой. Следует, однако, отметить, что среди отработанных

коронок, кроме трехслойных, имелись и однослойные, которые не совсем соответствовали условиям бурения с продувкой в песчаниках IX—X категорий по буримости.

Таблица 2

Показатели	Способы бурения и циркуляционный агент		
	Алмаз—вода	Дробь—воздух	Алмаз—воздух
Средняя стойкость коронки, *пог. м* . .	15,6	—	12,3
Расход алмазов, *карат/м*	0,735	—	1,0
Проходка на 1 ст.-смену, *пог. м* . . .	1,67	1,40	2,26
То же, %	100	84	135
Стоимость 1 ст.-смены, руб.	65,20	54,44	67,0
Стоимость проходки 1 *пог. м*, руб . .	39,10	36,90	29,70
То же, %	100	94,5	74,0

В некоторых случаях наблюдалось зашлифование алмазов в однослойных коронках, хотя и не столь интенсивное, как в ранних опытах 1966 г., видимо, из-за меньшей твердости матрицы (HRC 20—25 вместо 30—35) и отработки их в рациональном режиме. Очевидно, при полном соответствии типов коронок свойствам проходимых пород стойкость коронок может существенно увеличиться.

Механическая скорость бурения составляла в породах VIII категории 1,5—1,8 *м/ч*, в песчаниках X категории — 0,6—0,8 *м/ч*. Средняя механическая скорость по всему пройденному метражу составила 1,03 *м/ч*, что обеспечило увеличение сменной производительности до 2,26 *м/ст.-смену* против 1,67 *м/ст.-смену* при алмазном бурении с промывкой и 1,40 *м/ст.-смену* при дробовом бурении с продувкой. Рост сменной производительности обусловил снижение стоимости бурения 1 *пог.м* на 26%, несмотря на некоторое возрастание стоимости 1 *ст.-смены* при бурении с продувкой.

Однако рост технико-экономических показателей является хотя и необходимым, но не достаточным условием для внедрения новой технологии бурения. Принципиальное значение для любого вида разведочного бурения имеет качество геологического опробования скважин, что в условиях Депутатского месторождения имеет первостепенное значение.

Острота этого вопроса обусловлена большими трудностями получения кондиционного выхода керна, поскольку большинство рудных интервалов месторождения приурочено к зонам дробления. При отсутствии специальных средств для отбора керновых проб выход керна при всех видах бурения оказывается ниже кондиционного, поэтому в указанных условиях различные способы бурения можно сравнивать лишь по степени влияния присущих каждому из них вредных факторов, снижающих выход керна.

В табл. 3 приводятся данные, характеризующие выход керна по нескольким скважинам, пройденным по зоне дробления в интервале 0—100 *м* по идентичному разрезу. Как следует из табл. 3, наилучшие результаты по выходу керна дают оба вида алмазного бурения. Характерно, что алмазное бурение с промывкой вопреки общепринятому мнению не дает существенных преимуществ по сравнению с бурением с продувкой. Напротив, из-за размывающего и растворяющего действия по-

тока промывочной жидкости на цемент зон дробления выход керна по рудным интервалам оказался даже несколько ниже, чем при бурении с продувкой, где эрозионное действие воздуха не оказало столь пагубного влияния на сохранность керна.

Таблица 3

Способ бурения	Номер скважины	Интервалы бурения, *м*	Общий объем бурения, *пог. м*	Общий выход керна, %	Выход керна по рудной зоне, %
Дробовой с продувкой	185	0—50			
	186	0—41			
	340	0—100	219	24	34
	400	0—19			
	401	0—6			
	413	0—3			
Алмазный с промывкой	185	50—100			
	186	41—91	126	52	63
	400	54—80			
Алмазный с продувкой	400	19—51			
	401	6—59	148	54	69
	413	3—63			

К этому следует добавить, что алмазное бурение с продувкой располагает еще одним резервом повышения качества геологического опробования скважин — возможностью отбора шламовых проб, реализация которого представляется значительно более простой, чем при бурении с промывкой. Таким образом, с точки зрения качества геологического опробования алмазное бурение с продувкой не уступает существующим способам бурения, а в перспективе может дать значительно лучшие показатели.

Значительные резервы существуют также и в повышении технико-экономических показателей алмазного бурения с продувкой. Необходимо отметить, что показатели, указанные в табл. 2, были получены в период внедрения новой технологии, когда непроизводительные затраты времени по разным причинам составляли значительную долю. Как видно из табл. 4, где показаны хронометражные данные затрат времени в период опытных работ 1967 г., время чистого бурения составило лишь 31% от общего баланса времени. Естественно, что с освоением новой технологии и повышением квалификации буровых бригад можно существенно улучшить структуру затрат времени и довести процент чистого времени бурения до уровня, соответствующего применяемой в настоящее время технологии, т. е. до 50%. С учетом достигнутой средней механической скорости (1,03 *м/ч*) указанный рост чистого времени бурения приведет к увеличению сменной производительности до 3,6 *пог.м* (1,03 *м/ч* · 7 *ч* · 0,5 = 3,60 *м*).

В связи с повышением производительности труда и изменением баланса рабочего времени неизбежно изменится стоимость 1 станко-смены

бурения и проходки 1 *пог.м*. После корректировки соответствующих статей расходов, составляющих стоимость 1 станко-смены в период внедрения новой технологии, ожидаемая стоимость 1 станко-смены (с учетом накладных расходов и плановых накоплений) будет равна 92,9 руб. При этом ожидаемая стоимость проходки 1 *пог.м* алмазами с продувкой составит 25,8 руб., что на 34% ниже стоимости 1 *пог.м* алмазного бурения с промывкой в настоящее время.

Таблица 4

Составляющие баланса времени	Затраты времени		
	ч	ст. -смен	% к общему времени
Чистое бурение	144	20,5	31,0
Спуско-подъемные операции	132	18,9	28,7
Вспомогательные операции (профилактика оборудования, контроль системы обвязки устья скважины и т. д.)	35	5,0	7,6
Аварии	40	5,7	8,6
Простои	69	9,9	15,0
Инструктаж в рабочее время и производственное обучение рабочих	42	6,0	9,1
Итого	462	66,0	100,0

По отчетным данным в Депутатской ГРП алмазами с промывкой ежегодно проходится в среднем около 5000 *пог.м*, а дробью с воздухом — 4000 *пог.м*. Примерно половина этого метража приходится на породы со средней категорией по буримости 9,2, где возможно эффективное бурение алмазными коронками с продувкой.

Таким образом, ожидаемая годовая экономическая эффективность в случае применения алмазного бурения с продувкой для проходки лишь половины ежегодного объема бурения в Депутатской ГРП составит

$$(36{,}90 - 25{,}80) \cdot 2000 + (39{,}10 - 25{,}80) \cdot 2500 = 55\,450 \text{ руб.},$$

где 36,90 руб. — стоимость проходки 1 *пог.м* скважины дробью с продувкой воздухом, 39,10 руб. — стоимость проходки 1 *пог.м* скважины алмазами с промывкой, 25,80 руб. — ожидаемая стоимость проходки 1 *пог.м* скважины алмазами с продувкой воздухом, 2000 *м* — метраж, где возможна замена дробового бурения алмазным с продувкой, 2500 *м* — метраж, где возможна замена алмазного бурения с промывкой алмазным с продувкой.

Полученная сумма годовой экономии может быть значительно увеличена, если учесть дальнейшие резервы совершенствования метода алмазного бурения с продувкой, среди которых необходимо отметить следующие: 1) улучшение баланса рабочего времени в пользу увеличения времени чистого бурения за счет сокращения затрат на спуско-подъемные, вспомогательные и другие непроизводственные операции; 2) расширение области применения алмазного бурения с продувкой как за счет разработки и создания специальных алмазных коронок для проходки пород высших категорий, так и за счет совершенствования технологии бурения и освоения специальных методов и устройств (водо-воздушные эжекторные снаряды, погружные пневматические снаряды для

создания и поддержания местной призабойной циркуляции жидкости и т. д.); 3) применение специализированного компрессорного оборудования и холодильных устройств, не изменяющих начальные параметры сжатого воздуха (давление и расход), что позволит существенно увеличить глубины бурения скважин с продувкой.

Выводы

1. В полевых условиях доказана возможность эффективного бурения скважин стандартными мелкоалмазными коронками с продувкой сжатым воздухом в породах VII—IX (частично X) категорий по буримости.

2. Технико-экономические показатели, достигнутые в ходе опытных работ (повышение сменной производительности по сравнению с алмазным бурением с промывкой на 35% и снижение стоимости проходки 1 *пог.м* скважины на 26%), при качественном геологическом опробовании, не уступающем другим способам бурения, позволили внедрить алмазное бурение с продувкой в Депутатской ГРП.

3. Разработан рациональный технологический режим бурения с продувкой мелкоалмазными коронками в породах VII—IX (частично X) категорий по буримости, отличительной особенностью которого является то, что осевая нагрузка должна обеспечивать объемное разрушение буримой породы, а скорость вращения должна быть такой, чтобы величина забойной мощности не превышала критического значения.

4. С целью обеспечения нормальных условий проходки скважины сжатый воздух, применяемый как циркуляционный агент при алмазном бурении, должен быть охлажден на поверхности до поступления в скважину таким образом, чтобы конденсировалась бóльшая часть влаги, содержащейся в сжатом воздухе. Температура, до которой должен быть охлажден воздух, должна быть близкой к температуре внутри скважины.

5. Ожидаемая экономия средств от внедрения алмазного бурения с продувкой на участках распространения пород со средней категорией по буримости 9,2 в Депутатской ГРП составляет 55 450 руб. ежегодно, что может значительно возрасти при освоении дальнейших резервов совершенствования и развития метода алмазного бурения с продувкой.