Записки Санкт-Петербургского горного института
Т. 136. С. 76, 1998

УДК 622.244

А.Т.АЛЕКСАНДРОВ, М.АЗАМ
(Санкт-Петербургский горный ин-т)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО БУРЕНИЯ ПРОДУВКОЙ ТУМАНОМ

В настоящее время при бурении геолого-разведочных скважин широкое применение находят газожидкостные очистные агенты. Эффективность их применения наиболее ярко проявляется при бурении в условиях поглощений промывочной жидкости, для борьбы с осложнениями, возникающими при бурении многолетнемерзлых пород, а также при разведке месторождений в районах высокогорья и пустынь, где водоснабжение затруднено. Для разведки месторождения медно-колчедановых руд Афганистана, находящихся в высокогорном районе, с разрезом, сложенным породами IX–XI категорий, бурение с жидкостной промывкой скважин нерационально из-за трудностей с водоснабжением. Применение же в качестве очистного агента воздуха неэффективно из-за резкого ухудшения условий охлаждения алмазного породоразрушающего инструмента.

В связи с тем, что применение пенной промывки требует относительно большого расхода жидкой фазы (раствора ПАВ), в лаборатории кафедры технологии и техники бурения скважин С-ПГИ проведены исследования возможности бурения в этих условиях скважин алмазным породоразрушающим инструментом с применением в качестве очистного агента тумана. Экспериментальные исследования проводились на буровом стенде (рис.1), включающем буровой станок 2 марки СКБ-4, компрессор гаражного типа 6 марки I-0,63, механизм закрепления и перемещения блока горной породы 1, устройство для получения и подачи на забой тумана 5. Стенд оснащен измерителем нагрузки 3 типа МКН-2 и самопишущим щитовым ваттметром 4 марки Н395.

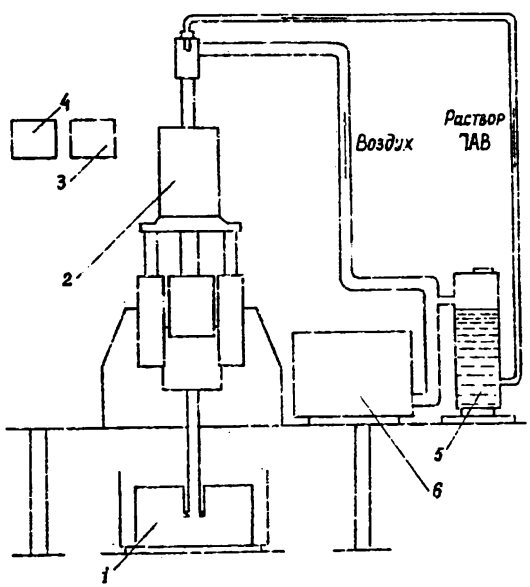

Рис.1. Схема экспериментального стенда

Устройство для получения и подачи тумана (рис.2) пред-

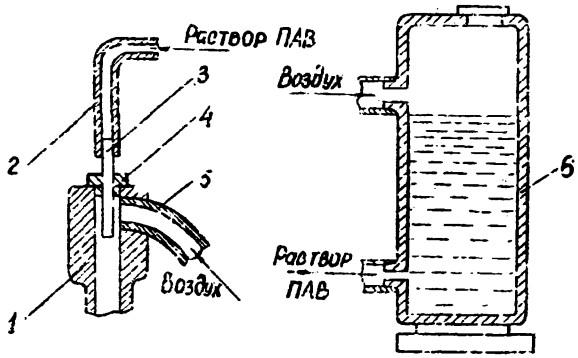

Рис.2. Схема устройства для подачи тумана

ставляет собой металлический резервуар 6, заполненный раствором ПАВ, соединенный с сальником бурового станка 1 и компрессором с помощью гибких шлангов 2. Поступающий от компрессора воздух создает в резервуаре 6 давление, в результате чего жидкость поступает в буровой сальник 1 по металлической трубке 3, введенной в отверстие прокладки сальника 4. Расход подаваемой жидкости можно изменять, имея набор трубок различного внутреннего диаметра. Воздух в ведущую трубу поступает по нагнетательному шлангу 5 от компрессора.

В качестве жидкой фазы использовался однопроцентный раствор сульфонола. Его расход через трубку составлял 0,2 л/мин и определялся методом налива в мерную емкость. Расход воздуха составлял до 0,6 м^3/мин. Таким образом, степень аэрации получаемого очистного агента достигала 3000.

Экспериментальное бурение велось по гранитному блоку IX-X категорий по буримости импрегнированными алмазными коронками 02ИЗД200 диаметром 36 мм, армированными натуральными алмазами. Осевая нагрузка на коронку определялась, исходя из значения категории пород по буримости и величины площади контакта коронки с породой забоя. Удельная осевая нагрузка P_0 (нагрузка на 1 см^2 площади торца матрицы коронки) для пород IX-X категорий по буримости рекомендуется [2] в пределах 700-1200 Н/см^2. Частота вращения бурового снаряда может также изменяться в широких пределах и в зависимости от принятого критерия оптимизации должна обеспечивать максимум механической скорости бурения, либо максимум проходки на коронку, либо оптимальное значение одной из них при приемлемой величине другой. Ограничение значений режимных параметров бурения определяется температурным фактором и, следовательно, величиной предельно допустимой забойной мощности [1]. При постоянной величине забойной мощности значение частоты вращения зависит от импульса силы P/n [4]. Оптимальное значение параметра P/n для коронки диаметром 59 мм составляет 15-20. В случае бурения коронками других диаметров А.В.Сахаров [4] предлагает для определения величины импульса силы использовать переводную формулу

$$\frac{P}{n} = \frac{D_к}{0,059}(15 \div 20), \qquad (I)$$

где P - осевая нагрузка на коронку, Н; n - частота вращения коронки, об/мин; $D_к$ - наружный диаметр коронки, м.

Для коронки диаметром 36 мм требуемая величина импульса силы будет находиться в пределах 9-12. Но проведенный для рекомендуемых осевых нагру-

зок расчет оптимальных частот вращения бурового снаряда с использованием формулы (I) дает сильно заниженные величины частот вращения, не соответствующие требуемым окружным скоростям. Поэтому нами для определения оптимальных режимных параметров бурения предлагается использовать приведенный показатель импульса силы, представляющий собой отношение удельной осевой нагрузки P_0 к окружной скорости вращения коронки v_0. Применение этого показателя позволяет при определении требуемой осевой нагрузки на коронку учитывать изменение величины площади торца алмазной коронки в зависимости от ее диаметра. Отношение P_0 / v_0 = 410÷680 для коронки диаметром 36 мм соответствует отношению P/n = I5÷20 для коронки диаметром 59 мм. Результаты расчетов оптимальных режимных параметров бурения для заданных величин импульсов силы P/n и P_0/v_0 приведены ниже:

P_0, Н/см^2	500	700	900	1000	1200
P, Н/см^2	3000	4000	5000	6000	7000
v_0, м/с	1,2-0,7	1,7-1,0	2.1-1,2	2,4-1,5	2,8-1,8
n при P_0 / v_0 = 410÷680, об/мин	780-470	1120-660	1380-790	1580-990	1900-1180
n при P/n = 8÷12, об/мин	330-250	440-330	550-420	670-500	780-580

Проведенные опыты спланированы как полный факторный эксперимент по методу Бокса - Уилсона для двух факторов и двух уровней варьирования. Вероятность принималась равной 0,95. Общее число опытов составило I2. Опыт повторяли три раза. В связи с тем, что коэффициент абразивности буримой горной породы определялся ориентировочно, нижний предел диапазона частот вращения принимался ниже рассчитанного по приведенному импульсу силы и составлял 390 об/мин.

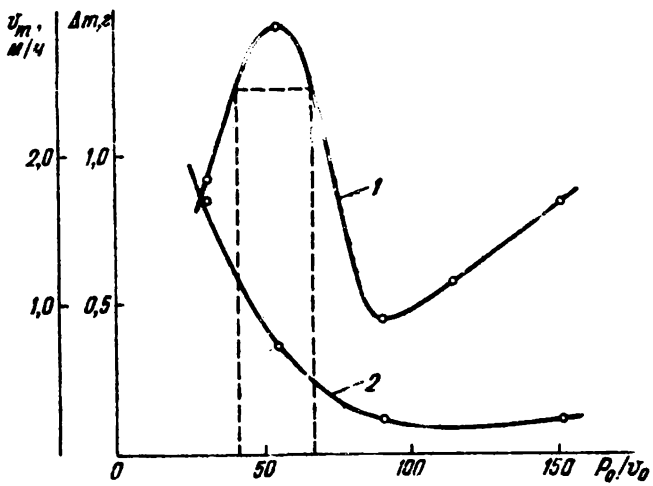

Рис.3. Зависимость механической скорости бурения (1) и массового износа коронки (2) от приведенного импульса силы

Таким образом, принятый диапазон частот вращения составил 390-1100 об/мин, осевой нагрузки 3000-5000 Н. Проходка за рейс составляла в каждом случае 50 мм. В процессе проведения экспериментов измерялись механическая скорость бурения и забойная мощность. После каждого рейса измерялся износ алмазной коронки весовым методом с точностью до 0,01 г (весы ВЛК-500т-М) (см.таблицу).

ультаты экспериментального бурения

Номер опыта	Частота вращения n, об/мин	Осевая нагрузка $\bar{p}$, даН	Импульс силы (модифицированный) p_0/v_0	Длина рейса l мм	Потеря массы коронки за рейс, Δm_l, г	Средний износ коронки за рейс Δm, г	Механическая скорость бурения v_{Mi}, м/ч	Средняя механическая скорость бурения v_M, м/ч	Окружная скорость вращения коронки v_0, м/с	Забойная мощность N_i, кВт	Средняя забойная мощность N, кВт
1				50	0,40		2,32			1,61	
2	1100	500	54	50	0,34	0,36	2,78	2,78	1,67	1,05	1,51
3				50	0,35		3,26			1,87	
4				50	0,35		,33			0,84	
5	1100		30	50	0,80	0,84	2,05	1,82	1,67	1,32	1,24
6				50	0,87		1,78			1,56	
7				50	0,12		1,45			1,31	
8	380	500	152	50	0,09	0,13	1,89		0,59	0,89	1,10
9				50	0,17		1,78			1,10	
10				50	0,19		1,23			0,90	
11	380	300	90	50	0,08	0,12	0,68	0,88	0,59	0,84	0,95
12				50	0,09		0,82			1,12	

По полученным в результате обработки экспериментов данным строен график $v_м = f(P_0/v_0)$ (рис.3), из которого видно, что максимальная механическая скорость, равная 2,84 м/ч, при бурении достигнута при значении P_0/v_0 540. Частота вращения при этом составляла 1100 об/мин, осевая нагрузка 5000 области изменения величины P_0/v_0 от 410 до 680 механическая скорость бурения не изменяется ниже 2,4 м/ч. График Δm (P_0/v_0) показывает снижение массового износа алмазной коронки с ростом приведенного импульса сил в пределах 300 до ~ 1000. Область значений P_0/v_0 410÷680 можно считать приемлемой также по износостойкости алмазного инструмента.

Несмотря на сравнительно форсированные режимы бурения и весьма малый массовый расход тумана в процессе экспериментов не отмечались случаи не только прижога, но даже сколько-нибудь существенного нагрева алмазных коронок. Это можно объяснить только испарительным охлаждением, поскольку расчет температуры торца работающей алмазной коронки по известной методике [1] применительно к реальному в условиях эксперимента расходу водовоздушной смеси с теплофизическими свойствами, определяемыми по правилу аддитивности, показал результаты, значительно превышающие 1000 °.

Для оценки эффективности охлаждения алмазной коронки при бурении с туманом проведен расчет температуры ее торца с использованием формулы Б.Б.Кудрявцева [1], преобразованной в данном случае к виду

$$t_т = \frac{2k_р N}{\pi\sqrt{\lambda_1 \alpha (D_1+D_2)(D_2^2-D_1^2)}} + \frac{k_р N}{2Gc_р} + t_1, \qquad (2)$$

где $k_р$ – безразмерный коэффициент распределения тепловых потоков; N – реализуемая на забое мощность, Вт; λ_1 – коэффициент теплопроводности материала коронки, Вт/(м·°С); α – коэффициент теплоотдачи с поверхности корпуса коронки; Вт/(м²·°С); D_1 и D_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры кольца, м; G – массовый расход очистного агента, кг/с; $c_р$ – теплоемкость очистного агента, Дж/(кг·°С); t_1 начальная температура очистного агента (внутри колонковой трубы над коронкой), °С;

$$k_р = \frac{1}{1+\lambda_2/\lambda_1\sqrt{a_1/a_2}}; \qquad (3)$$

λ_2 – коэффициент теплопроводности горной породы, Вт/(м·°С); a_1 и a_2 – коэффициенты температуропроводности соответственно материала корпуса коронки и горной породы, м²/с.

При расчете температуры торца коронки для упрощения теоретических выкладок приняты следующие допущения: генерируемое на забое и поступающее в тело коронки тепло отбирается очистным агентом с боковых поверхностей корпуса коронки; при движении используемой для охлаждения коронки газожидкостной смеси по кольцевым каналам отдача тепла в очистной агент происходит вследствие возникновения пузырькового кипения жидкой фазы на боковых поверхностях корпуса коронки.

Предположение о пузырьковом режиме кипения жидкой фазы базируется на том факте, что при непрерывном испарительном охлаждении работающей коронки температурный напор между ее поверхностью и омывающей коронку газожидкостной смесью не может быть достаточно велик для пленочного кипения [3].

С учетом принятых допущений коэффициент теплоотдачи с поверхности коронки можно определить по формуле [3]

$$\alpha = b\left(\frac{\lambda^2}{\nu\sigma T_s}\right)^{1/3} q^{2/3} \qquad (4)$$

где b – коэффициент,

$$b = 0{,}075\left[1 + 10\left(\frac{\rho''}{\rho' - \rho''}\right)^{2/3}\right] \qquad (5)$$

λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·°С); ν – кинематическая вязкость жидкости, $м^2/с$; σ – поверхностное натяжение кипящей воды, Н/м; T_s – температура насыщения, К; q – плотность теплового потока, $Вт/м^2$; ρ'' и ρ' – плотность соответственно пара и жидкости, $кг/м^3$.

Для ориентировочной оценки входящей в формулу (4) плотности теплового потока q по рекомендации Б.Б.Кудрявцева воспользуемся следующими соображениями. В порядке первого приближения предположим, что все количество теплоты, поступающее при установившемся режиме в тело работающей алмазной коронки, $Q = k_p N$ поглощается на скрытую теплоту парообразования. Поскольку на торцевой и боковых поверхностях матрицы в процессе бурения теплота генерируется, а резьбовое соединение коронки с колонковой трубой является тепловым экраном, предположим, что режим пузырькового кипения непрерывно оседающей из тумана влаги обеспечивается на внутренней и внешней поверхностях короночного кольца, имеющих суммарную площадь F. Тогда для плотности теплового потока будет справедливо

$$q = \frac{k_p N}{F}, \qquad (6)$$

где F – суммарная площадь внутренней и внешней поверхностей стального короночного кольца, $м^2$.

С помощью приведенных выше аналитических выражений рассчитана температура на торце импрегнированной алмазной коронки 02ИЗ-36 для следующих условий: внутренний диаметр корпуса коронки $D_1 = 0{,}023$ м; наружный диаметр корпуса коронки $D_2 = 0{,}034$ м; высота корпуса коронки по внутренней поверхности $h_1 = 0{,}055$ м; по наружной поверхности $h_2 = 0{,}025$ м; коэффициент теплопроводности $\lambda_1 = 45$ Вт/(м·°С); мощность на забое $N = 3{,}19$ кВт.

Полученная в результате расчета температура торца алмазной коронки составила 161 °С, что качественно вполне согласуется с результатами экспериментов и означает возможность реализации на забое большей по величине мощности, т.е. возможность применять при бурении с данным очистным агентом высоких значений частоты вращения и осевой нагрузки.

Кудряшов Б.Б., Кирсанов А.И. Бурение разве очных сква ением
Недра, 1990.
2. Михайлова Н.Д. Техническое проектирование колонкового бурени М.: Недра
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. Энергия, 1977.
ов А.В., Сафронов Г.Н., Радостев А.М., Макаров А.М.
бурения импрегнированными алма коронками
ки / ВИТР. Л., 1979, N 131.