Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCIII, 1982 г.

УДК 622.244.49

# ПРИМЕНЕНИЕ ПЕННЫХ АГЕНТОВ ПРИ АЛМАЗНОМ БУРЕНИИ

Л.К.ГОРШКОВ, Ю.Д.МУРА
В.И.ВАСИЛЬ

Специфические свойства пен – низкая плотность, малое эрозионное и действие на стенки скважины, повышенная по сравнению с водой выносная способность и т.п. – создают предпосылки для их использования при алмазном бурении в качестве очистного агента. А механическая прочность и упругость пен, применяемых при бурении, наличие в их составе поверхностно активных веществ обеспечивают смазку колонны бурильных труб и способствуют снижению интенсивности вибраций при ее вращении в скважине, что позволяет отказаться от консистентных смазок.

Проверка этих предпосылок производилась в условиях Уксинской ГРП ПГО „Севзапгеология". Обобщенный геологический разрез по разведочным скважинам участка работ следующий:

| Характеристика пород | Категория по буримости |
|---|---|
| Четвертичные отложения | |
| Суглинки и супеси с примесью мелкой гальки и щебня (более 20 %), участками – плотные глины | III |
| Валунно-галечные отложения изверженных и метаморфических пород (до 40–60 %) | X |
| Вмещающие породы | |
| Графитсодержащие биотитовые и графитистые сланцы мелкозернистые | VII |
| Сланцы амфиболовые, амфибол-полевошпат-биотитовые, биотит-полевошпатовые, участками окварцованные, мелко- и тонкокристаллические; полевошпатизированные амфиболиты | VIII |
| Сланцы кварц-биотит-графитовые с сульфидным оруденением, полевошпат-амфиболовые графитсодержащие сланцы, участками с гранатом, скарнированные; полевошпат-пироксеновые скарноподобные породы по сланцам | IX |

| | |
|---|---|
| Гнейсо-граниты мелко- и среднезернистые, тонкополосчатые мигматиты; мелкозернистые и среднезернистые порфировидные (пегматоидные) граниты | X |
| Скарново-рудная залежь | |
| Мраморизованные известняки, кальцифиры, скарнированные известняки | УП |
| Средне- и мелкозернистые пироксеновые, гранат-пироксеновые скарны, участками окварцованные, мигматизированные | УШ |
| Гранатовые, пироксен-гранатовые скарны, участками с магнетитом, крупно- и среднезернистые | IX |
| Гранатовые, магнетит-пироксен-гранатовые скарны, участками с амфиболом, мелкозернистые, массивные; тонко- и мелкозернистые кварцевые и полевошпат-кварцевые метасоматиты | X |

Гидрогеологические условия работ определяются подземными водами в четвертичных отложениях и коренных породах. Первый водоносный горизонт приурочен к пескам кровли четвертичных отложений и способствует заболачиванию депрессий в рельефе. Горизонт безнапорный, с положением уровня, близким к дневной поверхности. Второй – основной – горизонт водопритоков относится к трещинному типу и связан с коренными породами. Горизонт напорный, напор достигает участками 30 м, положение пьезометрического уровня – на глубине 0,5-2,6 м, а иногда превышает земную поверхность на 0,05-0,70 м (самоизлив). Дебит составляет 0,10-0,33 л/с; коэффициент фильтрации – 0,04-0,05 м/сутки (при откачках в интервале 80-100 м – 0,02-0,08 л/с и 0,01-0,003 м/сутки). По химическому составу выделяются воды гидрокарбонатные, натриевые, пресные, мягкие и очень мягкие.

Опытные работы по использованию пен при алмазном бурении проводились на плановых скважинах.

Для получения и нагнетания пены применялся комплекс оборудования, включающий компрессор ДК-9, подающий насос типа НБ-3, дожимное устройство на базе насоса 11-ГР. Для отвода пены использовалось эжекторное устройство.

Роль пенообразователя выполнял водный раствор реагента ОП-10 с концентрацией 0,5-1,5 % по активному веществу. Для повышения стабильности пены в раствор добавлялся реагент ПД-5 (концентрация 0,1 %).

Опытное бурение осуществлялось с помощью станка ЗИФ-650М с электроприводом. Буровой снаряд состоял из бурильных труб диаметром 42 мм муфтово-замкового соединения. В качестве породоразрушающего инструмента использовались серийные алмазные буровые коронки диаметром 76 мм типа 01АЗД30К30, 02НЗД200К40, КСАВ3спл30-30. Процесс бурения контролировался приборами СМ-40 и самопишущим амперметром Н-393.

Верхняя, моренная, зона скважины до глубины 18 м была закреплена трубами диаметром 108 мм.

С учетом известных рекомендаций по выбору режимных параметров бурения [1, 3] и литологических особенностей геологического разреза буре-

ние осуществлялось при осевых нагрузках от 8000 до 20000 Н и частотах вращения 188–480 об/мин. С целью обеспечения необходимого выхода керна (не менее 80 %) в зонах трещиноватости бурение производилось укороченными рейсами (проходка за рейс – 1,7 м).

Расходы жидкости и газа (при нормальных условиях) составляли соответственно 15–20 л/мин и 2–2,65 м³/мин. Давление пены в нагнетательной линии колебалось от 0,8 до 1,6 МПа. Давление в скважине определялось глубинным манометром МГИ-ПМ (ТУ25-05537-71). Прибор размещался в колонковой трубе, снабженной специальными муфтами. При измерении забойных давлений колонковая труба с прибором помещалась в нижнюю часть колонны, а при измерении давлений в восходящем потоке и в затрубном пространстве она включалась в колонну бурильных труб на различных уровнях. При проведении замеров буровой снаряд в скважине не вращался.

Измерения показали, что с ростом глубины давление в потоке пены возрастает практически пропорционально росту гидростатического давления и увеличению плотности газожидкостной смеси. Повышение степени аэрации, т.е. снижение расхода жидкости при неизменном расходе воздуха, приводит к падению давления нагнетания и давления в скважине в целом. При снижении расхода жидкости кривая изменения давления в восходящем потоке становится более крутой (рис.1), а величина забойного давления приближается к величине давления нагнетания. В то же время, как показали полевые исследования, снижение расхода жидкости ниже 8 л/мин нарушает устойчивость циркуляции потока и, как следствие, приводит к заклиниванию снаряда. При оптимальном же режиме циркуляции пены давление в восходящем потоке и на забое всегда выше давления на входе в бурильные трубы. Увеличение расхода жидкости вызывает повышение забойного давления в большей степени, чем рост давления нагнетания.

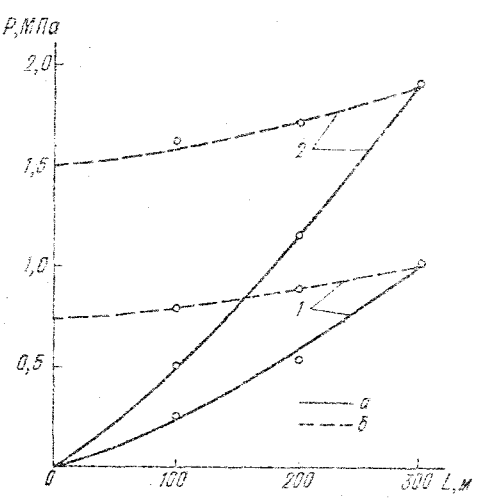



Рис.1. Зависимость давления пены $P$ от глубины скважины $L$:
1 – расход жидкости 8 л/мин; 2 – расход жидкости 15 л/мин
а – восходящий поток; б – нисходящий поток

В процессе алмазного бурения с пеной фиксировались забойная мощность, механическая скорость бурения, износостойкость алмазных коронок и другие технико-экономические показатели в сравнении с показателями бурения с промывкой водой. Характер процесса алмазного бурения изучался по диаграммам мощности, получаемым с помощью самопишущего амперметра Н-393 с трансформатором тока 5/75 А.

Скорость движения ленты прибора Н-393 составляла 3 мм/мин, что позволило с достаточной степенью точности контролировать технологический процесс бурения. При этом показания прибора Н-393 сверялись с показаниями прибора СМ-40.

При расшифровке диаграмм определялись механическая скорость бурения $V_м$, затраты мощности на бурение $N_{заб}$ и холостое вращение бурового снаряда $N_{х.в}$, а также собиралась информация о характере работы алмазной коронки.

Затраты мощности при бурении рассчитывались по формуле:

$$N = 3UI\cos\varphi, \qquad (1)$$

где $U$ – напряжение на одной фазе, $U$ = 220 В; $I$ – величина тока, определяемая по диаграмме, А.

Для используемого в опытных работах двигателя станка $\cos\varphi$ = 0,7.

Условия работы алмазной коронки оценивались путем выделения характерных для данного процесса участков кривых затрат мощности на диаграмме в соответствии с известной методикой [5]. При анализе диаграмм выделялись следующие уровни мощности, кВт: $N_{х.в}$ – уровень минимальной мощности в течение цикла, что соответствует мощности при холостом вращении снаряда; $N_{min}$ – минимальный уровень, т.е. уровень минимальной мощности в течение цикла бурения между двумя перекреплениями; $N_{max}$ – максимальный уровень, т.е. максимальное значение мощности в течение цикла (за исключением пиковых значений); $N_{ср}$ – средний рабочий уровень, которому соответствуют наиболее часто повторяющиеся значения мощности в течение цикла; $\Delta N$ – амплитуда колебаний значений мощности относительно величины средних уровней, характеризующая интенсивность вибраций снаряда.

Забойную мощность по диаграммам определяли как разность средних значений полной мощности и мощности холостого вращения: $N_{заб} = N - N_{х.в}$. Определенные по диаграммам значения забойной мощности сравнивались (см. таблицу) с расчетными данными, полученными по формуле С.Н.Тараканова [4]:

$$N = 2\cdot10^{-5} C n_{вр} D_{ср}, \qquad (2)$$

где $C$ – осевая нагрузка на коронку, Н; $n_{вр}$ – частота вращения снаряда, об/мин; $D_{ср}$ – средний диаметр коронки, м.

Осевая нагрузка $C$ в формуле (2) определялась в соответствии с выражением

$$C = \varphi_0 p_{тв} f_a, \qquad (3)$$

где $\varphi_0$ – коэффициент, учитывающий изменение площади контакта алмаза с забоем за счет трещиноватости, шероховатости, сколов породы, $\varphi_0 = p_к / p_{тв}$ = = 0,17÷0,25 [2] ( $p_к$ – контактная твердость породы; $p_{тв}$ – твердость по штампу, Па); $f_a$ – суммарная площадь контактов объемных алмазов с забоем, м$^2$.

Основные результаты опытного бурения с пеной в сравнении с данными бурения с промывкой водой

| Вид очистного агента | Расход очистного агента | | Режим бурения | | | $\Delta N$, кВт | $N_{вр}$, кВт | $N_{об}$, кВт | | $V_м$, м/ч | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Воздух, м³/мин | Вода, л/мин | $C$, кН | | $n$, об/мин | | | Фактическая | Расчетная | Фактическая | Расчетная |
| | | | Расчетная | Фактическая | | | | | | | |
| Вода | - | 30 | 12 | 12 | 118 | 2,0 | 14,0 | 1,6 | 1,9 | 1,0 | 1,07 |
| | - | 30 | 12 | 12 | 188 | 1,6 | 15,0 | 3,0 | 3,0 | 1.6 | 1,78 |
| | - | 30 | 12 | 12 | 254 | 4,0 | 16,0 | 3,8 | 4,1 | 2,2 | 2,40 |
| Пена | 2,5 | 15 | 12 | 12 | 168 | 0,5 | 13,6 | 2,4 | 3,0 | 1,7 | 1,70 |
| | 2,5 | 15 | 12 | 12 | 340 | 1,0 | 16,0 | 5,0 | 5,5 | 3,0 | 3,14 |
| | 2,5 | 15 | 12 | 12 | 460 | 2,5 | 23,0 | 6,0 | 7,4 | 3,9 | 4,15 |

Данные таблицы получены при бурении по породам VII–X категорий по буримости (усредненное значение твердости по штампу $p_{тв.ср} = 450 \cdot 10^7$ Н/м$^2$). Оценка результатов бурения показала, что применение пены способствует уменьшению интенсивности вибраций бурового снаряда (оценивается величиной $\Delta N$), тем самым обеспечивая снижение общих затрат мощности и возможность бурения с большей частотой вращения снаряда.

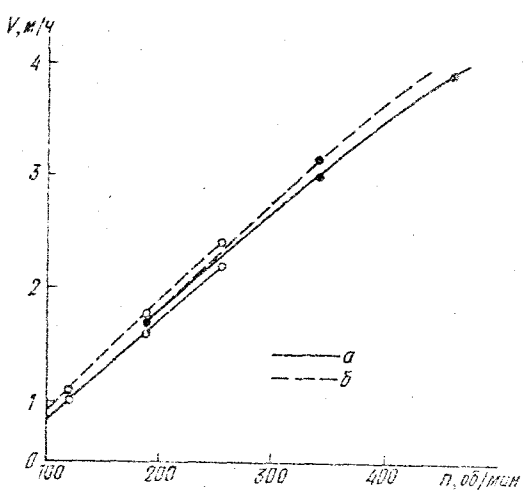



Рис.2. Изменение механической скорости бурения с ростом частоты вращения:
а - фактические данные; б - расчетные (прогнозные); ○ - бурение с промывкой водой; ● - с промывкой пеной

В таблице также приведены значения механической скорости бурения, определенные по диаграммам и рассчитанные по следующей формуле [1]:

$$V_м = \frac{40 \gamma_Г \eta C n_{вр}}{B p_{тв}}, \qquad (4)$$

где $\gamma_Г$ - коэффициент вероятности непревышения предельно допустимой температуры нагрева алмазов при внезапных прекращениях циркуляции очистного агента (для воды $\gamma_Г = 0,8$; для пен $\gamma_Г = 0,8 \div 0,85$); $\eta$ - коэффициент, учитывающий изменения механической скорости бурения при различных условиях очистки, связанных с природой очистного агента и режимом его течения в зоне ко-

ронки (если для воды $\eta$ = I, то для пен можно принять $\eta$ = 0,9); $B$ – ширина торца алмазной коронки, м.

Фактические значения забойной мощности, определенные по диаграммам, ниже расчетных на 0–20 %, а в среднем на I2 %. Из этого следует, что в формулу С.Н.Тараканова необходимо ввести соответствующий поправочный коэффициент.

Расчетные же значения механической скорости бурения близки к фактическим, некоторое их завышение (в среднем на 6 %) можно объяснить расхождением фактических значений твердости пород по штампу и усредненного значения, принятого при расчетах.

Характер изменения механической скорости с ростом частоты вращения при постоянной осевой нагрузке в случае использования пены не меняется по сравнению с бурением с промывкой водой: наблюдается рост механической скорости при абсолютных значениях, более высоких при бурении с пенами (рис.2).

Однако в характере протекания процессов бурения с промывкой водой и пеной существуют определенные различия, о чем свидетельствуют диаграммы мощности (рис.3). Значительная амплитуда колебаний величины мощности при бурении с водой (рис.3, а) отражает, по-видимому, процесс алмазного бурения с периодическими самозаклинками керна. Это подтверждает аномальный износ короночных колец по внутреннему диаметру. Наиболее часто самозаклин-

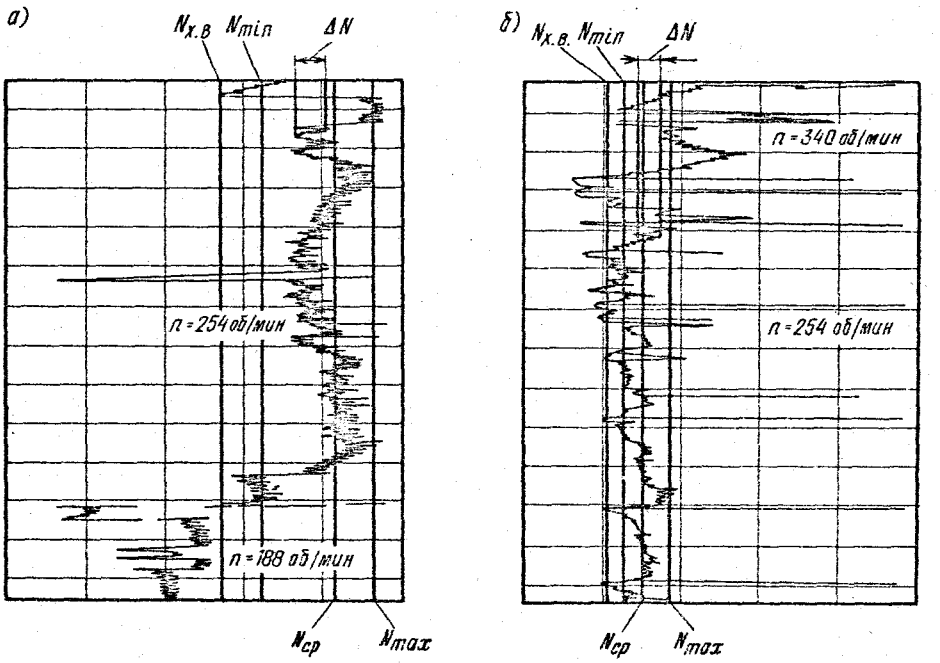



Рис.3. Фрагменты диаграмм мощности при бурении: а – с промывкой водой; б – с промывкой пеной

ки керна наступают после проходки I-I,5 м, о чём свидетельствует резкое увеличение амплитуды колебаний уровней мощности. Кроме того, диаграмма (рис.3, а) свидетельствует о повышенном износе алмазной коронки вследствие зашламования пространства внутри колонкового набора при самозаклинках керна и недостаточном поступлении на забой промывочной жидкости. Этот момент отличается резким увеличением давления на манометре нагнетательной линии, при этом бурильщик во избежание прижога коронки отрывает снаряд от забоя, что на диаграмме регистрируется уменьшением мощности.

Диаграмма бурения с пеной (рис.3, б) показывает, что, наряду со снижением затрат мощности, сокращается амплитуда колебаний мощности между ее максимальными и минимальными значениями, что свидетельствует о снижении интенсивности вибраций снаряда и частоты самозаклинок керна. Это обстоятельство способствует повышению ресурса алмазных коронок (в условиях Уксинской ГРП в I,5-2 раза) при использовании пен в качестве очистного агента.

Таким образом, применение пен способствует росту механической скорости бурения, повышению износостойкости коронок, снижению затрат мощности и интенсивности вибраций инструмента, обеспечивая тем самым возможность широкого внедрения пен при алмазном бурении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков Л.К., Яковлев А.М. О прогнозировании механической скорости алмазного бурения с различными очистными агентами. - Зап.ЛГИ, 1981, т.86.

2. Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных скважин. Справочник под ред. Н.И.Корнилова. М., Недра, 1979.

3. Справочник по алмазному бурению геологоразведочных скважин. Под ред. Г.А.Блинова. Л., Недра, 1975.

4. Шамшев Ф.А., Тараканов С.Н., Кудряшов Б.Б. и др. Технология и техника разведочного бурения. М., Недра, 1973.

5. Шерстюк С.И., Михеев Н.Н., Разумов Ю.С. и др. Контроль и регулирование процесса алмазного бурения по диаграммам затрат мощности. Л., изд.ОНТИ ВИТР, 1976.