

УДК 622.24.051.01.5

Л. К. Горшков, В. П. Оницин, доктора технических наук¹; А. А. Буканов²;
А. И. Осецкий, д-р техн. наук³, В. И. Спирин, Ю. Е. Будюков, доктора технических наук⁴

¹Санкт-Петербургский государственный горный институт им. В. Г. Плеханова, Россия

²ООО «Русская буровая компания», г. Москва, Россия

³ОАО «ПОЛИМЕТАЛЛ УК», г. Санкт-Петербург, Россия

⁴ОАО «Тульское научно-исследовательское геологическое предприятие», Россия

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНОК

Рассмотрены вопросы оптимизации движения потока промывочной жидкости в циркуляционных каналах алмазных буровых коронок при бурении. Предложены конструкции алмазных коронок, позволяющих активизировать поступление промывочной жидкости в призабойную зону и сохраняющих местную циркуляцию даже после прекращения подачи промывочной жидкости в течение определенного времени.

Ключевые слова: циркуляционная система, алмазная коронка, промывочный канал, очистной агент.

Известно, что циркуляционная система алмазной буровой коронки представляет собой совокупность каналов для движения очистного агента, обеспечивающих полное омывание режущей части матрицы коронки в целях ее очищения от шлама и надежного охлаждения. При этом от выбуренного шлама очищается также забой скважины, а шлам транспортируется к устью скважины восходящим потоком очистного агента (например, воды, специального бурового раствора, пены, сжатого воздуха).

Кроме того, циркуляционная система коронки должна способствовать беспрепятственному проникновению очистного агента, прежде всего, жидкого, в каналы, пустоты, поры и трещины в буримой породе как в зоне сжатия-смятия перед алмазными резаками, так и позади них в образующуюся зону растяжения породы от действия высвобождающейся энергии упругой деформации породы забоя скважины.

Проникновение очистного агента, т.е. промывочной жидкости, на некоторую глубину в породу забоя способствует сглаживанию влияния анизотропии породы на механизм ее разрушения при бурении и реализации эффекта Ребиндера, т.е. снижения прочности буримой породы под действием энергии поверхностного натяжения промывочной жидкости внутри породы.

Действие эффекта Ребиндера основано на адсорбционном ослаблении твердых пород, ускорении их деформаций и разрушения вследствие обратимого физико-химического воздействия промывочной жидкости как окружающей среды [1].

Основное условие проявления эффекта Ребиндера – родственный характер контактирующих фаз твердой породы и промывочной жидкости по химическому составу и строению. Формы и степень проявления этого эффекта зависят от интенсивности межатомного (межмолекулярного) взаимодействия соприкасающихся фаз, значения и типа напряжения (необходимо растягивающее напряжение), скорости деформации и температуры. При этом существенную роль играет структура породы, т.е. наличие дислокаций, трещин, посторонних включений. Наиболее характерная форма проявления эффекта – многократное снижение прочности, повышение хрупкости сокращение долговечности породы. Из других форм проявления эффекта Ребиндера следует отметить пластифицирующее действие очистного агента, особенно если последний содержит поверхностно-активные вещества.

Термодинамической основой проявления эффекта Ребиндера можно считать уменьшение величины работы на образование новых поверхностей при деформации в результате снижения свободной поверхностной энергии породы под влиянием промывочной жидкости.

Для обеспечения выполнения промывочной жидкостью указанных функций, включая действие эффекта Ребиндера, жидкость должна заполнять все открытые полости в породоразрушающем инструменте (алмазной коронке) и не отрываться от его поверхностей при движении в призабойной зоне, т.е. следовать теореме Н. Е. Жуковского [2]. Согласно этой теореме если в теле (в данном случае коронке) имеется полость, заполненная трущейся жидкостью и такой системе сообщена начальная скорость, она будет стремиться к предельному состоянию, при этом вся система будет вращаться относительно главной

оси инерции как одно неизменяемое тело с постоянной заданной угловой скоростью (при бурении это будет заданная частота вращения бурового снаряда).

Это условие может быть обеспечено, если пространственное положение и геометрические размеры промывочных каналов в матрице и корпусе коронки будут способствовать неотрывности потока очистного агента, т.е. промывочной жидкости, от поверхностей вращающейся алмазной коронки. При этом неотрывность потока предполагает минимальное гидравлическое сопротивление в каналах коронки при высокой скорости омывания поверхностей коронки потоком.

Повысить скорость движения потока в циркуляционной системе коронки можно следующим образом:

- увеличением расхода очистного агента при сохранении геометрии промывочных каналов как у серийных коронок, выпускаемых государственными и некоторыми акционерными компаниями;
- изменением количества, размеров и геометрической формы промывочных каналов при неизменном или даже пониженном расходе очистного агента.

Второй путь перспективнее, так как подача меньшего количества очистного агента в скважину обуславливает использование менее металлоемких буровых насосов. Кроме того, при малом расходе очистного агента, движущегося в призабойной зоне и промывочных каналах коронки, снижается степень эрозионного воздействия потока, обогащенного шламом, на коронку и столбик керна, а большое количество мелких каналов способствует более равномерному охлаждению как матрицы коронки, так и буровых алмазов.

Для оценки влияния изменения геометрии промывочных каналов на расход очистного агента можно использовать методику [3], основанную на учете гидравлической мощности потока очистного агента, подводимой к работающему на забое алмазному инструменту. Результаты расчетов по этой методике показывают, что по мере износа матрицы коронки по высоте уменьшается эквивалентный диаметр каналов, и при поддержании расхода очистного агента на начальном уровне повышается скорость движения потока. При этом повышается перепад давления в промывочных каналах. Для обеспечения приемлемого уровня следует такого перепада снижать расход очистного агента (иногда до 2–5 раз) в зависимости от типоразмера коронки. При этом интенсивность очистки коронки от шлама и ее охлаждение не ухудшатся [4] при обеспечении безотрывного обтекания потоком поверхностей коронки. Достичь этого можно приданием промывочным каналам такой геометрической формы, при которой поток будет плавно изменять направление своего движения по каналам без образования зон завихрения и, как следствие, кавитации.

Кавитация возникает при разрыве сплошности потока очистного агента, что возможно при превышении критической скорости движения потока, значительном объеме промывочной жидкости при подаче ее на забой (как правило 50–60 л/мин). Сплошность потока нарушается из-за невозможности прокачивания через каналы коронки больших объемов промывочной жидкости. Эти разрывы заполняются газом и паром, образуя кавитационные пузырьки, которые схлопываются при попадании в области пониженного давления, а такие области могут возникать при поступлении в поток шлама, при использовании газожидкостных очистных агентов, повышении скорости течения, распространении в потоке звуковых волн и пр. Уменьшение размеров кавитационного пузырька вызывает повышение давления внутри него, и при схлопывании пузырька наблюдаются резкие всплески давления, во много раз превышающие его фоновое значение при бурении. При этом возникают ударные волны, которые могут привести к повышенному износу матрицы коронки в местах выхода потока из промывочных каналов, что отмечено, в частности, в [5; 6]. Возникновению кавитации способствует повышение контактной температуры на забое, достигающей в некоторых случаях 600 °С [7].

При кавитации резко снижается плотность промывочной жидкости вследствие насыщения ее воздушными включениями: для серийных коронок типов 02ИЗ или 22ИЗ плотность потока снижается от 700–770 кг/м³ при расходе промывочной жидкости 10 л/мин до 540–600 кг/м³ при расходе 125 л/мин [6]. При этом установлено, что изменение геометрии промывочных каналов в сторону увеличения их проходных сечений и достижение скорости движения потока ниже критической способствуют снижению интенсивности кавитации, наблюдаемой при испытаниях коронок типа БИТ, когда увеличение расхода жидкости с 10 до 125 л/мин соответствовало изменению плотности потока с 830 до 680 кг/м³. Поэтому направление, связанное с совершенствованием конструктивного исполнения и технологии бурения коронок, следует считать перспективным.

В этом отношении интерес может вызвать непараллельное забою пространственное положение части сектора матрицы, т.е. создание конфузорного зазора между торцом сектора и забоем, названного

«вязким клином» (рис. 1) и способствующего оптимизации гидродинамического воздействия потока промывочной жидкости на забой скважины и режущую часть матрицы коронки [6].

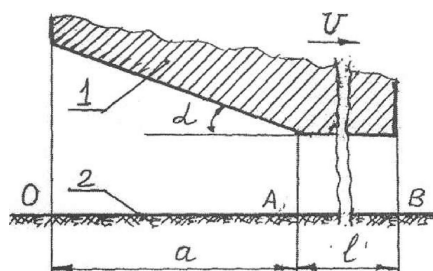


Рис. 1. Зазор между торцом сектора матрицы коронки и забоем в виде «вязкого клина»: сектор матрицы, 2 – забой скважины; a , l , α – параметры «вязкого клина»; \bar{V} – скорость перемещения коронки по забою скважины

каналам – относительно радиуса (рис. 2).

Расположение промывочных каналов по указанной схеме обеспечивает снижение гидравлических сопротивлений в призабойной зоне с одновременным увеличением проходки за один оборот без изменения мощности буровых насосов. Более того, наклонное положение продольных каналов на боковых поверхностях коронки делает ее своеобразным центробежным насосом, активизирующим циркуляцию промывочной жидкости.

Существуют различные мнения: например, П. С. Пушмин [9] считает, что поток в каналах внутренней боковой поверхности матрицы следует направлять в сторону, обратную перемещению коронки по забою скважины, полагая, что это будет способствовать снижению возможности заклинивания керна частицами разрушенной породы, повышению степени очистки и охлаждения коронки. Однако это требует дополнительных исследований, в частности, связанных с интенсификацией проникновения промывочной жидкости в зону предразрушения породы и усилением эффекта Ребиндера. Более того, можно предположить, что движение потока по схеме Л. С. Пушмина будет вызывать повышенную турбулентность потока с усилением кавитации, с которой, как показано, необходимо бороться.

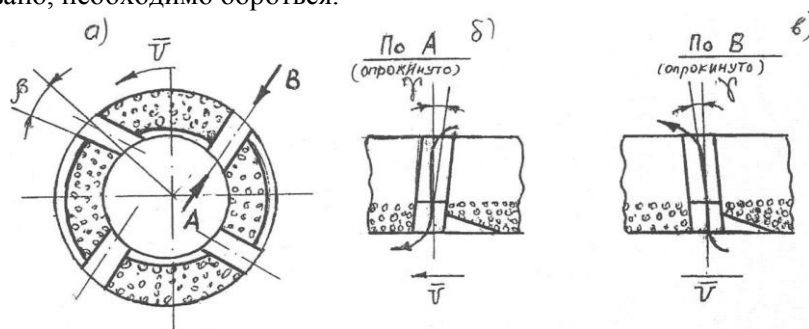


Рис. 2. Пространственное расположение промывочных каналов в матрице алмазной коронки нового поколения: а – вид на коронку с торцевой части матрицы; б – вид по стрелке А на внутреннюю поверхность матрицы; в – вид по стрелке В на внешнюю поверхность матрицы; β – угол между осями торцевых каналов и радиусом коронки; δ – угол между вертикальной осью коронки и продольными

каналами; V – вектор перемещения коронки по забою скважины; \curvearrowright – направление движения потока промывочной жидкости

Как следует из рис. 2, секторы матрицы попеременно смещаются от средней окружности коронки то к периферии, то к центру, образуя амплитудное расположение секторов с высвобождением полостей, заполняемых промывочной жидкостью на боковых поверхностях матрицы, которые, играя роль резервуаров для гидродинамической смазки трущихся поверхностей, способствуют снижению эрозионного воздействия потока на керн и тем самым создают возможность для повышения выхода последнего при бурении, что, кроме настоящего исследования, отмечено Ю. Е. Будюковым [10].

Активизировать поступление промывочной жидкости в призабойную зону можно с помощью придания небольшого наклона дополнительным каналам в корпусе коронки на его поверхностях (внутренней и внешней). Эта конструктивная особенность реализована при создании алмазной коронки нового поколения 01АЗН-59 в Иркутском политехническом университете [11], испытания которой показали повышение механической скорости бурения до 20%.

Развитие представлений об определяющей роли циркуляционной системы коронки на эффективность ее работы следует считать выполнение названной системы в виде упрощенного лопастного центробежного насоса, рабочим органом которого является непосредственно вращающаяся коронка с промывочными каналами в матрице, выполненными так, чтобы набегающие стороны каждого из каналов обеспечивали расширение канала в сторону движения жидкости [12]. При работе таких коронок жидкость движется одновременно относительно торца матрицы и забоя скважины вместе с матрицей. В этом случае поток жидкости в призабойной зоне совершает вращательное движение благодаря контакту с вращающейся колонковой трубой и импульсному обмену одной части потока, уже вошедшего в промывочные каналы, с другой его частью вне каналов, что и обеспечивает закручивание всего потока в процессе бурения.

Таким образом, предлагаемая конструкция алмазной коронки позволит сохранить местную призабойную циркуляцию даже после прекращения подачи промывочной жидкости в течение определенного времени и тем самым предотвратить аварийную ситуацию и нарушение экологического состояния буровой площадки на поверхности.

The problems of optimizing the flow of washing liquid circulating in the channels of diamond drill bits during drilling. Designs of diamond drill bits that enhance the flow of the washing liquid in the bottom zone and preserve local circulation even after cessation of the flushing fluid over a certain time.

Keywords: circulation system, diamond crown, flushing channel, cleaning agent.

Розглянуто питання оптимізації руху потоку промивальної рідини в циркуляційних каналах алмазних бурових коронок при бурінні. Запропоновано конструкції алмазних коронок, що дозволяють активізувати надходження промивної рідини в привибійну зону і зберігають місцеву циркуляцію навіть після припинення подачі промивної рідини протягом певного часу.

Ключові слова: циркуляційна система, алмазна коронка, промивний канал, очисний агент.

Литература

1. Ребиндер П. А., Щукин Е. Д. Поверхностные явления в твердых телах в процессах их деформации и разрушения // Успехи физ. наук. – 1972. – Т. 108. – Вып. 1.
2. Спиринов В. И., Левин Д. М. Новые направления создания алмазного породоразрушающего инструмента. – Тула : Тульск. гос. ун-т, 2000. – 149 с.
3. Повышение эффективности колонкового алмазного бурения / Б. И. Воздвиженский, Г. А. Воробьев, Л. К. Горшков и др. – М. : Недра, 1990.
4. Будюков Ю. Е., Власюк В. И., Спиринов В. И. Алмазный породоразрушающий инструмент. Тула : ИПП «Гриф и Ко», 2005. – 288 с.
5. Горшков Л. К., Яковлев А. А. Конструктивные особенности циркуляционной системы алмазной коронки нового поколения / Современные направления теоретических и прикладных исследований: сб. научн. тр. междунар. науч.-практ. конф. – Одесса, 2011. – Т. 4.
6. Чихоткин В. Ф. Разработка основных положений процесса алмазного бурения с целью создания высокоэффективного алмазного породоразрушающего инструмента: Дис. ... д-ра техн. наук. – М. : МГГА, 1996.
7. Горшков Л. К., Гореликов В. Г. Температурные режимы алмазного бурения. – М. : Недра, 1992.
8. Горшков Д. К., Мендебаев Т. Н. Разведочное бурение с гидроизвлечением керноприемника. – СПб. : Недра, 1994.
9. Пушмин П. С. Обоснование модели алмазной коронки на основе исследования механики разрушения твердых анизотропных пород: Дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2006.
10. Будюков Ю. Е. Разработка научных основ проектирования специального алмазного породоразрушающего инструмента и технологии его применения: Дис. ... д-ра техн. наук. – М. : МГГА, 2003.
11. Пат. № 4908508. РФ. Алмазная буровая коронка / В. В. Нескоромных, П. С. Пушмин, Р. Пуревсурен. – Б.И., 2005, №31.
12. Пат. № 2120021. РФ. Буровая коронка / Л. К. Горшков., Т. Н. Мендебаев, В. С. Прокопенко. – Б.И., 1998, № 28.

Поступила 08.06.15