

ЗАВИСИМОСТЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНОЙ ПОРОДЫ БУРЕНИЕМ ОТ КОМБИНАЦИИ ВЫБРАННЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА

А.Д. Солодкин, А.В. Епихин

Научный руководитель: ассистент А.В. Епихин

Томский национальный исследовательский политехнический университет, г. Томск, Россия

Потребности человечества в углеводородном сырье, отсутствие надежной альтернативы нефти и газу как энергетическому ресурсу требуют совершенствования технологий по извлечению разведанных запасов. Правильно выбранные параметры режима бурения и уровень эффективности работы породоразрушающего инструмента существенно влияют на механическую скорость бурения, снижают время строительства скважины и ее стоимость.

К основным параметрам режима бурения относятся: частота вращения долота, осевая нагрузка на долото, расход бурового раствора. Оптимальным (рациональным) режимом бурения называется сочетание основных параметров, при котором получаются наиболее высокие количественные и качественные показатели бурения. Правильный выбор рациональной частоты вращения, так же как и выбор осевой нагрузки на долото, должен основываться на знании и учете физико-механических и технологических свойств горных пород.

Моделированию расчету параметров режима бурения уделяется пристальное внимание при производстве буровых работ. Учеными были получены теоретические и эмпирические зависимости механической скорости, как одного из ключевых показателей эффективности бурения, от отдельных параметров режима бурения.

Целью данной работы является анализ уже известных зависимостей и закономерностей для отдельных параметров режима бурения с формированием выводов о возможном виде математической модели, характеризующей их совместное влияние на механическую скорость бурения. Результатом работы должна стать номограмма проектирования параметров режима бурения для заданных условий бурения.

Влияние частоты вращения долота

Известно, что, увеличение частоты вращения долота приводит к росту механической скорости проходки. Но при определенном значении частоты вращения (критическая) темп прироста механической скорости снижается и стремится к нулю.

Каждому из класса пород (хрупких, пластично-хрупких и пластичных) принадлежат свои критические величины частот вращения долота, превышение значения которых вызывает уменьшение механической скорости проходки. Нужно иметь в виду, что увеличение частоты вращения шарошечного породоразрушающего инструмента снижает долговечность его работы из-за быстрого износа опор и уменьшает проходку за рейс долота [1].

Особенно интересна динамика работы шарошечного долота при увеличении частоты вращения долота. При изменении частоты вращения долота изменяется количество поражений забоя зубками шарошечного долота. При меньших ее значениях интервал времени, когда трещина, появляющаяся при вдавлении зубка, остаётся раскрытой в породе, достаточен для того, чтобы в нее проник буровой раствор (либо его фильтрат). Давления, действующие на частицу снизу и сверху практически сравниваются и после того как произошел отрыв зубка от породы трещина сомкнуться не может. В этом случае отрыв сколотой частицы от забоя и ее удаление облегчаются. При повышении частоты вращения уменьшается временной интервал, в течение которого раскрыта трещина, и её может заполнить фильтрат. Если же этот интервал будет слишком мал, то в трещину фильтрат проникнуть не успеет, после отрыва зубка шарошки от породы трещина сомкнется, а угнетающее давление будет удерживать частицу и препятствовать удалению её с забоя. Поэтому причина забое будет сохраняться слой сколотых, но не удалённых частиц. Этот слой называется шламовой подушкой, которая будет вторично измельчаться вооружением, способствуя снижению механической скорости бурения [2].

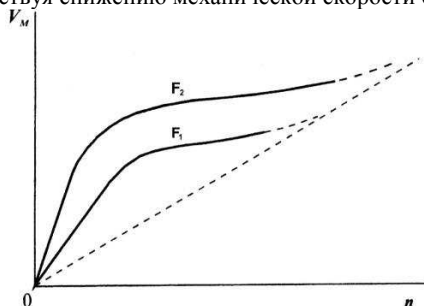


Рис. 1. Общий вид зависимости $V_m = f(n)$ при различных осевых усилиях ($F_2 > F_1$)

Известно, что при одновременном увеличении частоты вращения и осевой нагрузки – значение критической частоты будет увеличиваться до некоторого порогового значения (см. рис. 1). При увеличении осевой нагрузки выход на критическое значение частоты вращения обеспечивается раньше, что подтверждает невозможность постоянного одновременного увеличения этих двух параметров для повышения эффективности разрушения. Кроме того, частота вращения долота ограничивается технически: стойкостью долота и его опор (для шарошечных долот), максимально возможными диапазонами частот вращения ротора и забойных двигателей.

Влияние осевой нагрузки

Отечественные и зарубежные авторы характеризуют влияние осевой нагрузки на механическую скорость в виде графика, отражающего качественную сторону процесса (рис.2). На изображенной кривой выделяются три области. Первая область (I) характеризуется тем, что механическая скорость (V_m) увеличивается пропорционально увеличению удельной осевой нагрузки (P_n). Удельная нагрузка в первой области существенно меньше прочности разрушаемой породы, по этой причине процесс разрушения носит поверхностный характер. Первая область называется областью поверхностного разрушения.

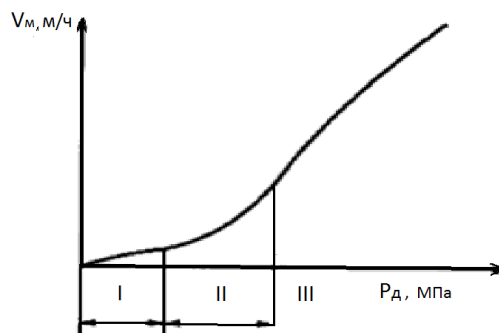


Рис.2. Зависимость механической скорости от удельной осевой нагрузки [1]

Во II области механическая скорость также увеличивается с ростом удельной осевой нагрузки, но в этом случае механическая скорость увеличивается быстрее, чем растет создаваемая нагрузка на долото. Породы в данной области разрушаются при удельной нагрузке, которая меньше твердости разрушаемой породы, но уже близка к ней. Вторая область условно называется областью усталостного разрушения. Удельная осевая нагрузка будет соответствовать твердости разрушаемой породы на границе второй и третьей областей. В третьей области процесс разрушения будет носить объемный характер. Область III называется областью объемного или нормального разрушения [1].

Известно, что с последующим увеличением осевой нагрузки на долото величина механической скорости будет снижаться. Чаще всего это связывают с ухудшением очистки забоя (предполагается, что расход промывочной жидкости и частота вращения инструмента поддерживаются на одинаковом уровне), образованием шламовой подушки и переизмельчением шлама. Следовательно, при постоянном увеличении качества очистки забоя можно ждать закономерного роста механической скорости бурения.

Естественно, что на величину механической скорости при увеличении осевой нагрузки существенно влияет тип разрушаемой горной породы (см. рис.3). Анализ графика позволяет утверждать, что темп изменения кривой тем ниже, чем прочнее разрушаемая порода, поскольку нагрузка, требуемая для объемного разрушения (см. рис. 2., область II) данных пород прямо пропорциональна их твердости.

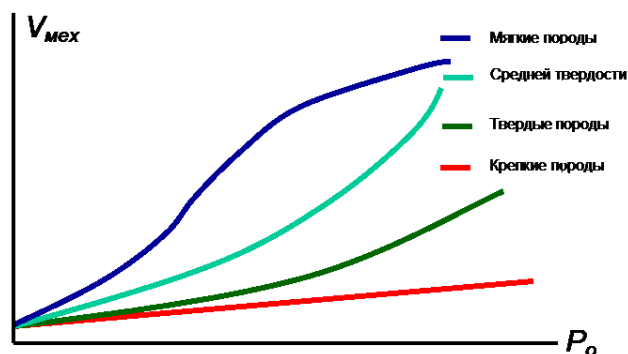


Рис.3. Зависимость механической скорости от величины осевой нагрузки при разрушении различных категорий горных пород [3]

Важна взаимосвязь между осевой нагрузкой на долото и механической скоростью на различных частотах вращения. Как показали эмпирические исследования и теория разрушения горной породы (условия для обеспечения нормального разрушения), темп прироста механической скорости при увеличении осевой нагрузки тем выше, чем большая частота вращения долота обеспечивается (см. рис.4). Важно отметить, что данное условие закономерно, но ограничивается техническими возможностями (как было подчеркнуто выше) инструмента, силового привода и условиями их эксплуатации.

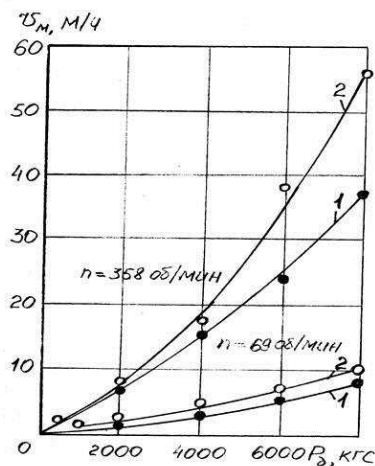


Рис. 4. Изменение механической скорости бурения в зависимости от осевой нагрузки при бурении мрамора: 1 – серийные шарошечные долота с фрезерованными зубьями; 2 – дисковое долото. [4]

Влияние расхода промывочной жидкости

Постоянная циркуляция промывочной жидкости в процессе бурения должна обеспечивать чистоту ствола скважины и забоя, охлаждение долота, способствовать эффективному разрушению породы, предупреждать осложнения. На рис.5 изображена графическая зависимость влияния расхода буровой жидкости на механическую скорость бурения.

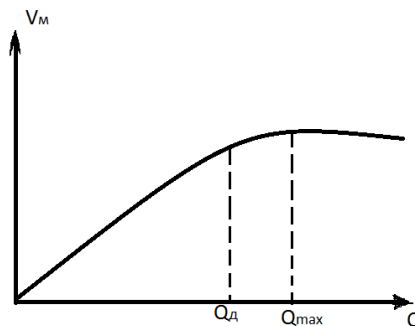


Рис.5. Зависимость механической скорости бурения от расхода бурового раствора

Согласно графику, при неизменной частоте вращения долота и осевой нагрузке с ростом секундного расхода бурового раствора очистка забоя улучшается и увеличивается механическая скорость бурения. Но рост расхода раствора эффективно до тех пор пока величина расхода не достигнет пикового значения Q_d , которое можно назвать – эффективным расходом. При величине расхода Q_{max} - механическая скорость бурения стабилизируется. Значение Q_d зависит от удельной осевой нагрузки, конструкции долота, схемы очистки забоя, характеристик породы, частоты вращения долота и свойств промывочной жидкости. При дальнейшем увеличении расхода появится преобладание повышения потерь напора на преодоление гидравлических сопротивлений в кольцевом пространстве.

Кроме того, при истечении из насадок долота промывочной жидкости возрастает давление на забой. Это является причиной увеличения угнетающего давления на разрушенную горную породу на забое. Кроме того, динамическое воздействие струй на забой приведет к их отражению и противодействию на долото, обеспечив снижение осевой нагрузки. В совокупности это приведет к снижению механической скорости [3].

Взаимосвязь между параметрами режима бурения

Параметры режима бурения (осевая нагрузка, частота вращения долота, расход промывочной жидкости) при роторном бурении не зависят друг от друга при регулировании. Поэтому в процессе бурения их можно изменять независимо. Данный факт является большим преимуществом бурения роторным способом. Но так же присутствует связь между параметрами режима бурения и это нужно понимать: рост осевой нагрузки, например, способствует увеличению эффективности разрушения горной породы и требует роста расхода бурового раствора.

При турбинном способе бурения основным параметром бурения становится интенсивность промывки, потому что изменение данного параметра влечет за собой изменение частоты вращения долота и осевой нагрузки. Действительно, расход бурового раствора должен быть достаточен для того, чтобы гидравлический забойный двигатель мог развивать момент, необходимый для вращения долота при заданном значении осевой

нагрузки. Увеличение осевой нагрузки вызывает увеличение момента M_d , при этом величина частоты вращения долота уменьшается.

С другой стороны, для постоянного роста механической скорости бурения требуется постоянное увеличение всех параметров режима бурения. Соотношения между их величинами должно учитывать тип разрушаемой горной породы, свойства и состав бурового раствора (рис.6). С другой стороны, верхний предел возможной механической скорости задается уровнем технических возможностей силового привода и пределы возможной эксплуатации бурового оборудования (турбобур, долото).

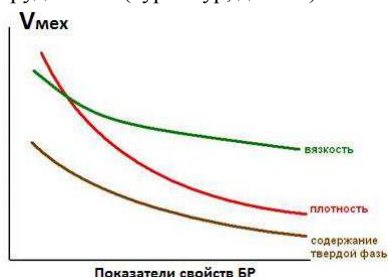


Рис. 6. Зависимость механической скорости бурения от изменения показателей свойств бурового раствора

Практика буровых работ показала, что невозможно заранее рассчитать абсолютно точно и установить величины параметров бурения для проходки одинаково эффективной проходки заданного интервала. Это обусловлено разнообразием условия проводки скважин и наличием множества переменных, от которых зависят показатели бурения. В процессе бурения приходится корректировать расчетные параметры в конкретных условиях. Корректировка параметров режима бурения зависит от способностей бурильщика и его квалификации, поэтому требует высоких временных издержек.

Для сведения к минимуму влияния человеческого фактора на процесс регулирования параметров режима бурения, а также для ускорения принятия решений, разработаны и используются устройства управления буровыми операциями с помощью электронных вычислительных машин. Исходные данные, необходимые для оценки, электронные вычислительные машины получают от датчиков и аппаратуры, размещенных в различных пунктах буровой установки. Полученная информация обрабатывается и ЭВМ выдает: оптимальное значение величины нагрузки на долото, прогноз проходки на долото до его износа, оптимальное значение частоты вращения долота, прогноз времени работы долота до его износа и другие рекомендации [1]. Но в основе данных ЭВМ заложены стандартные теоретические зависимости, которые не в полной мере учитывают взаимосвязь между параметрами режима бурения в разрушении, влияние категории буримости разрушаемой горной породы и технические возможности бурового оборудования. В связи с этим, проблема проектирования параметров режима бурения для конкретных горно-геологических и технико-технологических условий остается актуальной и в настоящее время.

Литература

1. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин // Издательский центр «Академия». — 2003. — 352 с.
2. Neftrossia.ru [Electronic resource]. Влияние частоты вращения долота. Влияние расхода бурового раствора. — URL: <http://neftrossia.ru/vlijanie-chastoty-vrashhenija-dolota/>. — (Usagedate: 14.02.2014).
3. Lib.rushkolnik.ru [Electronic resource]. Влияние режимных параметров на показатели бурения. — URL: <http://lib.rushkolnik.ru/text/22398/index-1.html?page=3>. — (Usage date: 17.02.2014).
4. Vunivere.ru [Electronic resource]. Исследование буровых долот с дисковыми и зубчато-дисковыми шарошками. — URL: <http://vunivere.ru/work15821/page3>. — (Usagedate: 17.02.2014).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА ВЕЛИЧИНУ МЕХАНИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЯХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА БУРЕНИЯ И МЕХАНИЗМАХ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Д.С. Танаков, В.В. Ли

Научный руководитель: ассистент А.В.Епихин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Процесс разрушения горной породы является базовым при сооружении скважины. Количественной характеристикой его эффективности является величина механической скорости бурения. Известно, что процесс бурения – многофакторный, а механическая скорость будет зависеть от целого перечня показателей, которые в общем виде можно классифицировать следующим образом:

- горно-геологические (физико-механические свойства горных пород в разрезе, интервалы насыщенных пород, градиенты давлений по разрезу);
- технологические (параметры режима бурения, профиль скважины, способ бурения);