

УДК 622.24

А. А. Кожевников, д-р техн. наук; **А. А. Пашенко**, канд. техн. наук

*Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск,
Украина*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ БУРЕНИИ

Рассмотрены критерии для определения эффективности процесса разрушения горных пород при бурении. Показано что в качестве критериев могут использоваться механическая скорость и проходка на породоразрушающий инструмент.

Ключевые слова: критерии оптимизации, разрушение, механическая скорость, проходка.

Эффективность разрушения горных пород при бурении скважины зависит от целого ряда факторов. Выделяют управляемые параметры, которые можно изменять в процессе бурения: осевая нагрузка, частота вращения, расход и параметры бурового раствора, типа инструмента и факторы, которые невозможно изменить: геологические условия, механические свойства горных пород. При этом каждый режимный параметр влияет на эффективность разрушения горных пород, причем влияние одного параметра зависит от уровня другого. Сочетание этих параметров, обеспечивающее достижение наилучших показателей работы породоразрушающего инструмента называют оптимальным режимом бурения.

Ключевым моментом определения эффективности процесса является выбор критерия сравнения. Так, Л. И. Штурман и Д. И. Марьяновский считали, что максимум механической скорости является вообще критерием регулирования для всех существующих методов бурения. В пятидесятых годах А. А. Минин предложил использовать новый критерий – максимум рейсовой скорости. В шестидесятых годах в США и СССР начали применять экономический критерий регулирования - минимум стоимости бурения. Критерий, закладываемый во все математические модели оптимизации, предлагавшиеся в последние десятилетия в США, всегда только один – минимальная стоимость метра бурения. Однако для бурения на больших глубинах также был введен критерий - максимум проходки на долото. В настоящее время большинство исследователей пришли к выводу [1–3], что наиболее универсальными и эффективными являются два критерия, к которым относятся: максимальная проходка на инструмент и минимальная стоимость метра бурения.

Рассматривая критерии *оптимизации процесса бурения* в отношении их применимости к автоматическому управлению, следует отметить, что из них практически используется только критерий максимальной механической скорости. Этот критерий отражает цель управления процессом и дает возможность его математического моделирования.

Разрушение горной породы на забое механическим способом невозможно без создания осевой нагрузки на долото. Чем выше осевая нагрузка, тем выше и механическая скорость бурения, причём темп роста для мягких пород более быстрый, так как больше глубина погружения зубьев в породу (рис. 1).

С увеличением глубины залегания породы, и как следствие, всестороннего сжатия - повышается её пластичность и уменьшается объём разрушаемой породы. Поэтому для разбуривания породы, залегающей на большой глубине, требуется инструмент с меньшим шагом, чем для разбуривания породы на меньшей глубине. Но уменьшение шага ведёт к снижению контактного удельного давления на породу, при постоянной нагрузке и, следовательно, к менее эффективному процессу разрушения.



Рис. 1. Зависимость скорости бурения от осевой нагрузки для различных пород: 1 – мягкие; 2 – средней твердости; 3 – твердые; 4 – крепкие породы

В то же время увеличение глубины внедрения вследствие пластической деформации породы создает благоприятные условия для её скалывания. Таким образом, увеличение скалывающего воздействия в некоторой степени компенсирует ухудшение эффективности разрушения путём вдавливания.

Механическая скорость проходки при увеличении осевой нагрузки и неизменной скорости вращения долота растёт быстрее, чем при увеличении скорости вращения и постоянной осевой нагрузке. Отсюда следует, что форсировать режим бурения выгоднее путём повышения осевой нагрузки и снижения скорости вращения, так как при этом замедляется износ вооружения, при этом необходимо стремиться к совершенной очистке забоя что требует применения мощных насосов. В тоже время высокая нагрузка ограничивается прочностью бурильной колонны.

Целесообразность режима бурения с предельной осевой нагрузкой требует сложного технико-экономического анализа с учётом ускоренного изнашивания опор и вооружения, стабильности траектории скважины, развития осложнений связанных с буровым оборудованием и фактической потребности в большем расходе раствора.

С увеличением глубины возрастает время на замену изношенного инструмента новым, поэтому увеличение проходки за рейс, достигаемое путём повышения осевой нагрузки и снижения скорости вращения, ведёт к росту рейсовой скорости.

Под скоростью износа понимают объём изношенного вооружения в единицу времени. Наиболее интенсивно зубья изнашиваются в начале работы, пока площадь контакта их с породой мала, а контактное давление велико. По мере их износа и увеличения площади контакта уменьшаются контактное давление и скорость износа. Поэтому механическая скорость проходки наиболее интенсивно снижается также в начальный период работы инструмента на забое.

Скорость износа возрастает пропорционально осевой нагрузке, пока контактное давление не достигнет некоторого значения, зависящего от предела текучести материала зубьев, а при высоких скоростях вращения - от предела их выносливости. При дальнейшем повышении осевой нагрузки темп прироста скорости износа существенно увеличивается. Скорость износа растёт пропорционально скорости вращения, или даже быстрее - при бурении в твёрдых породах.

Известно, что проходка зависит от механической скорости и износостойкости инструмента, которые в свою очередь зависят от параметров режима бурения, поэтому проходка также зависит от тех же параметров. Пример этой функциональной зависимости при бурении в преимущественно твёрдых породах приведён на рис. 2 и 3. При данной скорости вращения, как видно из этих рисунков, существует только одно оптимальное значение осевой нагрузки, при котором обеспечивается получение наивысшей проходки конкретным инструментом в определенной породе. А при данной осевой нагрузке существует оптимальное значение скорости вращения, при котором достигается наибольшая проходка за рейс выбранным инструментом в данной породе. Любое отклонение от этих оптимальных значений осевой нагрузки и скорости вращения ведёт к снижению проходки за рейс, даже в том случае, если механическая скорость проходки при этом возрастает.

Механическая скорость проходки рассчитывается как произведение величины углубления забоя за один оборот на общее число оборотов в единицу времени. При определенных частотах вращения возможно совпадение (резонанс) частот собственных и

вынужденных колебаний низа бурильной колонны, что приводит к повышению эффективности разрушения, увеличению механической скорости.

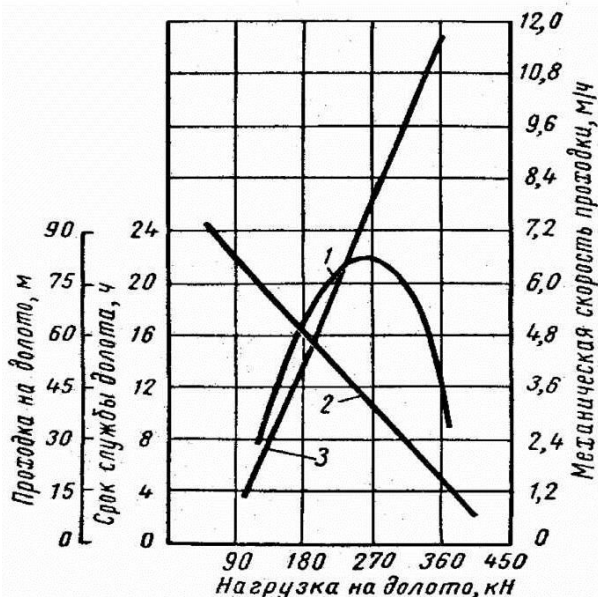


Рис. 2. Зависимость проходки на долото (1), срока службы долота (2) и механической скорости проходки (3) от осевой нагрузки при постоянной частоте вращения [4]

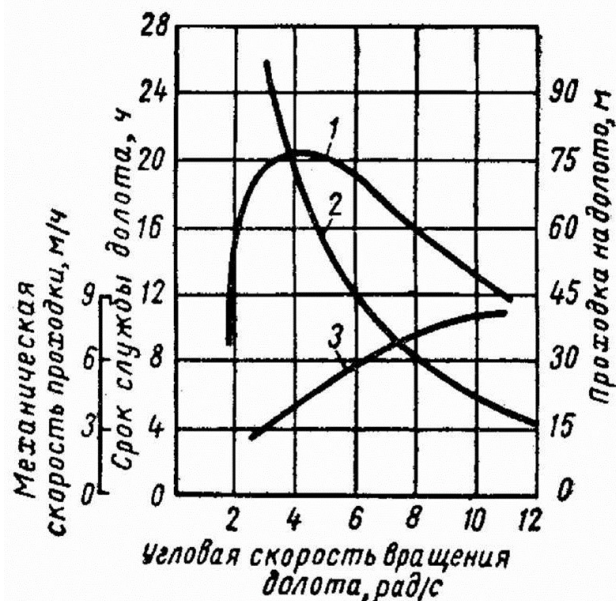


Рис. 3. Зависимость механической скорости проходки (3), срока службы долота (2) и проходки на долото (1) от угловой скорости вращения при постоянной нагрузке [4]

По результатам многочисленных исследований можно выделить следующие основные закономерности процесса бурения. Зависимости механической и рейсовой скорости от осевой нагрузки и частоты вращения долота имеют экстремальный характер с наличием критических значений осевой нагрузки и частоты вращения, превышение которых приводит к уменьшению скорости бурения и снижению долговечности породоразрушающего инструмента. Достижение же этих параметров позволит получить оптимальные параметры бурения.

Величина углубления за один оборот не зависит от скорости вращения только в области поверхностного разрушения породы, а уже при более высоких контактных давлениях - она уменьшается с увеличением скорости вращения по нескольким причинам:

- с ростом скорости вращения сокращается длительность контакта зуба с породой и при большой скорости длительность контакта может оказаться недостаточной для разрушения;
- темп снижения величины углубления за один оборот тем ниже, чем больше осевая нагрузка на забой;
- для удаления разрушенной породы при высокой скорости вращения, времени может оказаться недостаточно для ее удаления и оставшийся шлам будет повторно измельчатся;
- высокая скорость вращения усиливает износ зубьев, увеличивается их площадь контакта с породой и, следовательно, уменьшается контактное давление зубьев на породу;
- из-за пружинящего эффекта ранее выбуренных, но не удаленных с забоя частиц породы, уменьшается сила удара зубьев о породу (также пружинящий эффект возникает при высоком давлении промывочной жидкости, которую вытесняют зубья).

Эффективность бурения скважин в значительной степени определяется эксплуатационными показателями породоразрушающего инструмента и технологическими режимами. Недостаточный ресурс инструмента, отсутствие скоординированных режимных параметров ограничивают рост производительности и увеличивают стоимость буровых работ.

Очевидно, что для одних и тех же геолого-технических условий оптимальные режимы бурения скважин инструментом, имеющим различную износостойкость, будут отличаться.

Таким образом, при определении оптимальных режимных параметров разрушения горных пород при бурении оценка должна осуществляться по двум направлениям:

- путём поиска оптимальных режимных параметров, обеспечивающих максимальное значение механической скорости бурения скважин в конкретных горных породах;
- по критерию максимальной проходки с учетом геолого-технических условий и эксплуатационных показателей инструмента.

Розглянуто критерії для визначення ефективності процесу руйнування гірських порід при бурінні. Показано що в якості критеріїв можуть використовуватися механічна швидкість і проходка на породоруйнівний інструмент.

Ключові слова: критерії оптимізації, руйнування, механічна швидкість, проходка.

The criteria for determining the effectiveness of the process of destruction of rocks during drilling. Shown that the criteria can be used as mechanical speed and driving on rock cutting tools.

Ke ywords: optimization criteria, fracture, mechanical speed, penetration.

Литература

1. Сулакшин С.С. Разрушение горных пород при бурении скважин. – Томск: ТПУ, 2009. – 129 с.
2. Козловский Е.А. Оптимизация процесса разведочного бурения. – М.: Недра, 1990. – 304 с.
3. Эйгелес Р.М., Стрекалова Р.В. Расчет и оптимизация процессов бурения скважин. М.: Недра, 1977. – 200 с.
4. Середа Н.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин. М.: Недра, 1974. – 456 с.
5. Погарский А.А., Чефарнов К.А., Шишкин О.П. Оптимизация процессов глубокого бурения. М.: Недра, 1981. – 296 с.
6. Воздвиженский Б.И., Мельничук И.П., Пешалов Ю.А. Физико-механические свойства горных пород и влияние их на эффективность бурения. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
7. Козловский Е.А. Стратегия оптимизации процесса разведочного бурения. – М.: МГГА, 1991. – 203 с.
8. Башкатов Д.Н. Оптимизация процесса бурения. Н.Новгород, 2007. – 332 с.

Поступила 10.07.14

УДК 553.98

Б. О. Чернов, д-р техн. наук; **В. І. Коваль**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ГІДРОДИНАМІЧНИЙ СИМУЛЯТОР ТИПУ "BLACK OIL". ПОРІВНЯННЯ З ECLIPSE 100

У статті розглянуто особливості використання гідродинамічного симулятора типу "Black oil" для моделювання процесу розробки нафтового покладу та порівняння отриманих результатів з аналогічними розрахунками з використанням програмного комплексу ECLIPSE 100.

З метою демонстрації можливостей симулятора для прикладу наводиться розрахунок процесу розробки нафтового покладу на виснаження з переходом з пружного режиму на режим розчиненого газу.

Ключові слова: математичне моделювання, гідродинамічний симулятор, фазова проникність.