

# Технология и техника геологоразведочных работ

УДК 622.232.72

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИЛОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НА РАЗРУШАЕМЫЙ ГРАНИТ ПРИ ВРАЩАТЕЛЬНО-УДАРНОМ СПОСОБЕ БУРЕНИЯ СКВАЖИН МАЛОГО ДИАМЕТРА

Д.В. Федин, А.В. Шадрина, Л.А. Саруев

Томский политехнический университет

E-mail: dvf\_87@mail.ru

*Приведены результаты экспериментальных исследований необходимых параметров удара бойка по хвостовику колонны бурильных труб (штанг) длиной 50 м для получения максимальной скорости бурения скважин малого диаметра в граните при минимальных энергетических затратах.*

### **Ключевые слова:**

*Колонна бурильных труб, силовой импульс, боек, ниппельное соединение, энергия удара.*

### **Key words:**

*Drilling string, impact, striker, nipple connection, energy of impact.*

### **Введение**

В современных условиях любой производственный процесс должен быть ориентирован на ресурсосбережение.

При эксплуатационной разведке рудных месторождений (при проходке скважин в породах средней твердости и выше) важными направлениями сбережения ресурсов являются: уменьшение диаметра скважин (до 40...70 мм); применение вращательно-ударного способа бурения горных пород для интенсификации вращательного бурения.

В настоящее время проходка скважин в твердых породах осуществляется в основном погружными ударными машинами. В современных условиях, когда временной и ценовой факторы во многом являются определяющими, ударное бурение обеспечивает существенно более высокую скорость (в 3–4 и более раз в зависимости от геологического разреза и типа породоразрушающего инструмента по сравнению с колонковым бурением) [1].

Кроме того, бурение, дающее образцы в виде шлама, в том числе и для твердых пород, достаточно распространено, особенно в зарубежных странах (США, Австралия, Юго-Восточная Азия). Так называемое бурение с обратной циркуляцией воздуха (RC – Reverse Circulation), осуществляемое погружным ударником (или шарошечными долотами) с двухстенными трубами и одновременным выносом на поверхность буро-

вой мелочи, применяется как более экономичный и быстрый способ добраться до рудного тела, выполнить так называемое «предзабуривание» [2].

Анализ зарубежного геологоразведочного оборудования показал, что предлагаемые установки обеспечивают возможность бурить скважины средних и больших диаметров (95...1000 мм) (буровой станок «Explo-Drill» (модель ET635-OK), Канада; Exploras R50 – «Atlas Copco», Швеция; гидравлическая буровая установка WDH-300 компании «Bohwa Machinery Corporation», Китай; буровые комплексы SCHRAMM, США и др.).

В связи с этим возникает ограничение в применении эффективного для твердых пород вращательно-ударного способа бурения применительно к скважинам малого диаметра при геологоразведочных работах.

Применение станков с ударными механизмами, расположенными вне скважины, и независимыми от них вращателями, реализующими вращательно-ударный способ бурения, позволяет эффективно проводить неглубокие (до 50 м) геологоразведочные скважины малого диаметра на месторождениях, имеющих сложное геологическое строение, в частности, в том случае, когда геометрия рудного тела уже известна и нет необходимости в непрерывной информации, требуется лишь подтверждение границ его залегания.

Очевидно, лучшее разрушение твердых горных пород машинами вращательно-ударного действия (по сравнению с машинами вращательного действия) основано на использовании эффекта распространения волн в системе «бурильная машина–буровой инструмент–горная порода».

В горнодобывающей отрасли накоплен значительный опыт в плане применения машин с мощными ударными механизмами, расположенными вне скважины, и с независимым от ударного механизма вращением колонны бурильных труб – колонковые пневмоударники (серия Simba H157, 1257, 1250-series, M2C и др.).

В практике геологоразведочного бурения скважин малого диаметра по твердым породам из подземных горных выработок, где целесообразно использовать удар, применение вращательно-ударного способа сдерживается по причине ошибочного мнения о неэффективности передачи энергии удара к породоразрушающему инструменту, а также из-за постоянного разрушения соединительных узлов. Представленное в работе новое резьбовое соединение бурильных труб технически решает эту проблему.

Как известно, основным физическим критерием интенсивности воздействия внешних сил при механическом бурении является удельная контактная энергия удара. Не менее важной характеристикой для эффективного разрушения твердых горных пород, наряду с энергией удара, является его сила. Сохранение амплитуды силы удара является не менее важной задачей.

Для каждой породы при вращательно-ударном бурении существует критическая энергия удара, обеспечивающая наиболее рациональное использование кинетической энергии [3]. Бурение с малыми силовыми усилиями сопровождается высокой энергоемкостью разрушения горных пород. Как правило, с увеличением энергии удара энергоемкость процесса уменьшается и бурение осуществляется более эффективно.

Исследования, направленные на выявление условий увеличения энергетической эффективности формируемых силовых импульсов, являются актуальными.

### Методика экспериментального исследования

Исследование разрушения гранита, породы, характеризующейся коэффициентом крепости по М.М. Протодяконову  $f=10...12$ , силовыми импульсами проводилось в лабораторных условиях, максимально приближенных к натуральным, на специальном стенде, представленном на рис. 1. Бурильную колонну длиной 50 м, состоящую из труб внешним диаметром 33,5 мм, а внутренним – 24 мм, соединенных ниппелями, полностью скрытыми внутри труб, с круглым профилем резьбы [4, 5] (рис. 2) располагали на специальных поддерживающих стойках.

В массивное основание была забетонирована гранитная плита размером 750×750×250 мм. Породоразрушающим наконечником служила долотчатая коронка диаметром 42 мм с углом заострения 115°.

Для нанесения ударов по хвостовику колонны использовался маятниковый копер МК–30 с подвешиваемыми на него цилиндрическими бойками весом 7,65; 14,7; 28,2 Н (таблица). Выбор параметров бойков производился с таким расчетом, чтобы можно было оценить влияние длины и диаметра бойка на амплитуду сформированных импульсов и эффективность передачи энергии импульса в горную породу.

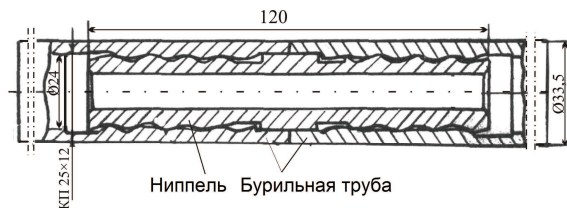


Рис. 2. Ниппельное соединение бурильных труб

В экспериментах использовался один и тот же хвостовик, и в каждом бойке жестко крепился один и тот же наконечник с радиусом закругления  $R=300$  мм, принятым на основании рекомендаций работы [6], которым, собственно, и наносились удары по хвостовику.

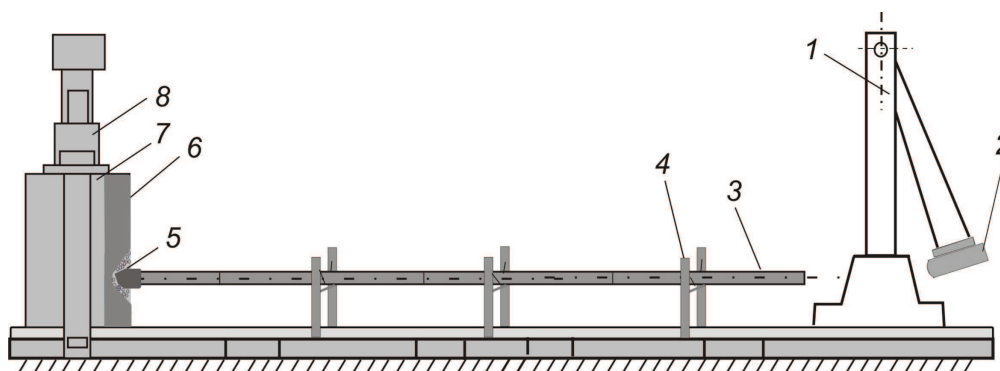
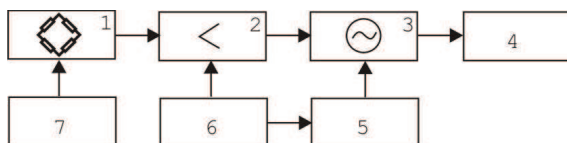


Рис. 1. Стенд для исследования разрушения гранита силовыми импульсами: 1 – маятниковый копер; 2 – цилиндрический боек; 3 – бурильная колонна, 4 – стойка-опора; 5 – породоразрушающий наконечник; 6 – гранитная плита; 7 – бетонная плита; 8 – домкрат

**Таблица.** Параметры бойков

Вес бойка, Н	Длина, мм	Скорость, м/с
7,65	250	3,96
28,2	360	2,05
14,7	220	2,86
	220	3,96
	450	2,86
	450	3,96

С изменением высоты сбрасывания бойков весом 14,7 Н их энергия менялась вдвое. Вес и высота сбрасывания остальных бойков подбирались таким образом, чтобы энергия удара оставалась постоянной ( $\approx 6$  кгс·м).



**Рис. 3.** Блок-схема датчиков линейных перемещений: 1 – тензометрический мост; 2 – электронный усилитель постоянного тока; 3 – осциллограф; 4 – фотоаппарат; 5 – схема синхронизации запуска развертки; 6 – блок питания усилителя и схемы синхронизации; 7 – блок питания измерительного моста

Перемещение бурильных труб, то есть глубина внедрения лезвия коронки в породу, замерялось фотоэлектронным датчиком перемещения (рис. 3), регистрировалось универсальным осциллографом и фотоаппаратом.

Фотоэлектронный датчик имеет линейную выходную характеристику в пределах 27 мм продольного перемещения бурильной колонны, чувствительность схемы 0,5 В/мм.

Принцип действия датчика заключается в том, что на поверхность трубы в плоскости продольной оси привариваются шторки из стали толщиной 1,5...2 мм. Шторка размещается на пути светового луча, от осветителя с фокусирующим устройством к приемнику (фотоэлектронный датчик). Перемещение шторки вызывает изменение светового потока, падающего на приемник, что вызывает соответственно перемещение луча на экране осциллографа. Сам датчик смонтирован на неподвижной станине.

Кроме того, с помощью проволочных тензодатчиков сопротивления с базой 20 мм, сопротивлением 200 Ом и нелинейностью выходной характеристики 2 % замерялось механическое напряжение в четырех характерных точках пятидесятиметровой колонны труб: 0,5; 26; 44 и 49,5 м от хвостовика.

Датчики наклеивались на поверхность бурильной трубы диаметрально противоположно, тем самым исключалось влияние изгиба на точность измерения напряжений. Балансировка измерительного моста проводилась компенсационным датчиком, который наклеивался на стальную пластину, меняя величину изгиба этой пластины, при помощи микрометрического винта добивались баланса моста. Другой компенсационный датчик накле-

ивался на пластину, сделанную из такого же материала, что и труба.

Транзисторный усилитель постоянного тока имел линейную выходную характеристику и полосу пропускания от 0 до 1 МГц.

Удары по породе наносились в один и тот же забой скважины. При этом после каждого удара колонна бурильных труб поворачивалась на 30°, то есть на угол, близкий к углу поворота бура между ударами, принятый для большинства отечественных перфораторов.

Объем разрушенной породы определялся по объему воды, вытесненной штыбом в мерной стеклянной колбе, исходя из среднего значения объема за 24 удара.

### Результаты исследования

Как показали результаты исследований, при одинаковой энергии ударов бойков полученные объемы разрушенной породы и динамическое состояние колонны бурильных труб при нанесении по ней ударов различными бойками существенно отличаются.

Эксперименты показали, что сила удара, наряду с энергией, является важнейшей характеристикой силового импульса, от которой зависит возможность эффективного разрушения твердых горных пород. В этих условиях сохранение амплитуды удара становится не менее важной задачей, чем сохранение энергии, на что не всегда обращают внимание.

Амплитуда напряжения в бурильных трубах определяется в основном предупредительной скоростью бойка, поэтому при одной и той же энергии удара для наибольшего ударника (28,2 Н) было зафиксировано наименьшее значение амплитуды напряжения. Следует отметить, что для этого бойка амплитуда напряжений в колонне по всей ее длине практически не снижалась. Амплитуда же импульса бойка весом 7,65 Н снижается примерно на 20 %, а у бойков весом 14,7 Н – на 8...10 %. Однако вследствие того, что напряжение, созданное бойком весом 7,65 Н в начале бурильной колонны, выше по сравнению с напряжением, сформированным бойком весом 14,7 Н, величины данного параметра, зафиксированные на расстоянии 0,5 м от породы, для двух этих ударников были приблизительно равны. Увеличение энергии удара бойка весом 14,7 Н вдвое только за счет увеличения предупредительной скорости приводит к увеличению амплитуды напряжения в трубах на 40...42 %.

Наибольший объем гранита разрушил боек весом 7,65 Н (225 мм<sup>3</sup> за один удар), несмотря на то, что коэффициент передачи энергии удара при этом бойке, определенный методом отпечатка [7], предположенным Н.Н. Давиденковым, наименьший и составил 75 %. Минимальный объем породы за удар (154 мм<sup>3</sup>) разрушил боек с наибольшим весом (28,2 Н). Эти результаты можно объяснить сравнительно высокой твердостью гранита, для которого предупредительная скорость бойка наибольшего веса,

равная 2,05 м/с, оказалась явно недостаточной. То есть при импульсном разрушении такой породы как гранит наиболее важную роль играет амплитуда и передний фронт импульса напряжения, который создает боек в бурильной трубе.

Что касается продольного перемещения поперечного сечения труб, то здесь наблюдается совершенно противоположная картина. Так, при ударе бойком весом 28,2 Н перемещение поперечного сечения труб на расстоянии 0,5 м от хвостовика на 15...20 % выше, чем при ударах остальными бойками, а на расстоянии 49,5 м, то есть в 0,5 м от породы (практически это внедрение лезвия коронки в породу), на 20...22 % ниже, чем при других бойках. Таким образом, для бойка весом 28,2 Н снижение амплитуды продольного перемещения поперечного сечения бурильных труб оказывается наибольшим – около 60 % (с 4 до 1,6 мм), что обуславливает малое внедрение лезвия коронки в породу, а следовательно, и меньший по сравнению с другими бойками объем разрушенной породы.

Можно предположить, что при ударе бойком весом 28,2 Н со сравнительно небольшой предупредительной скоростью происходит продольный изгиб бурильной колонны труб, при котором увеличивается продольное перемещение хвостовика и соответственно продольное перемещение сечения бурильных труб. В то же время указанный изгиб труб, являясь поперечной деформацией, не только не способствует внедрению коронки в гранит, а напротив, снижает объем разрушаемой коронкой горной породы при воздействии силовых импульсов, так как часть энергии удара бойка уходит на формирование продольного изгиба бурильных труб. Следует учесть, что скорость распространения продольных волн в стали ( $\approx 5100...5200$  м/с) значительно больше скорости распространения поперечных волн ( $\approx 3000$  м/с), поэтому поперечные волны, формируемые одновременно с продольными, при ударе бойком по хвостовику, по мере распространения по бурильной колонне к коронке, отстают от продольных силовых импульсов и самостоятельно не разрушают горную породу при бурении.

Результаты проведенных опытов показывают, что изменение длины бойка не приводит к замет-

ной разнице объема разрушаемого гранита. Например, бойки одного веса (14,7 Н), но различной длины и диаметра давали один и тот же результат –  $183(\pm 10)$  мм<sup>3</sup> разрушенной породы за один удар.

С увеличением энергии удара вдвое объем разрушенной породы за один удар составил соответственно: бойком длиной 220 мм – 320 мм<sup>3</sup>, бойком длиной 450 мм – 334 мм<sup>3</sup>. При этом энергия удара на единицу длины лезвия коронки увеличилась с 1,45 до 2,98 кгс·м/см, а объемная работа разрушения увеличилась соответственно с 33 до 36...38 кгс·м/см<sup>3</sup>.

Таким образом, с точки зрения энергозатрат, эффективности передачи ударного импульса по колонне бурильных труб и снижения напряжений в них энергию удара на единицу длины лезвия долотчатых коронок при разрушении породы аналогичных граниту следует ограничить до 2,5...2,7 кгс·м/см при скорости удара бойка не менее 3,5...4 м/с.

#### Выводы

В процессе проведения эксперимента разрушения гранита ударными силовыми импульсами было выявлено:

1. Амплитуда удара является важной характеристикой силового импульса, ее рост способствует повышению эффективности бурения скважины. Величина амплитуды увеличивается с повышением предупредительной скорости бойка.
2. Изменение длины и диаметра бойков при их одинаковом весе не оказывает значительного влияния на эффективность разрушения гранита.
3. Повышение массы бойка при неизменной энергии удара способствует увеличению продольного перемещения поперечного сечения бурильных труб, тем самым часть энергии силового импульса расходуется на продольный изгиб (поперечную деформацию) и не оказывает влияния на разрушение горной породы.

*Работа подготовлена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. Наименование и регистрационный номер проекта: «Исследование взаимодействия силовых импульсов в буровом инструменте и массиве горных пород при бурении шпуров и скважин из подземных горных выработок», ГК 2.445С2010 от 03.09.2009 г.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологоразведочные работы. Бурение по технологии обратной циркуляции // СЕТСО: Capital Equipment & Technology Corporation. 2008. URL: <http://coralina.ru/files/mining/5.pdf>. (дата обращения: 12.09.2012).
2. Йонсон Я. Найти оптимальный баланс // Горное дело и строительство. – 2005. – № 3. – С. 18–20.
3. Иванов К.И., Латышев В.А., Андреев В.Д. Техника бурения при разработке месторождений полезных ископаемых. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 272 с.
4. Саруев Л.А., Казанцев А.А. Влияние конструкции резьбовых соединений буровых штанг на эффективность работы буровой колонны // Горное оборудование и электромеханика. – 2007. – № 3. – С. 18–20.
5. Ниппельное соединение буровых штанг: пат. 79926 Рос. Федерация. № 2008130004/22, заявл. 21.07.08; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2. – 3 с.
6. Топоров Г.В., Левандовский М.Я. Оптимальная форма поверхностей контакта деталей машин ударного действия // Известия вузов. Горный журнал. – 1969. – № 11. – С. 83–85.
7. Шадрин А.В., Саруев Л.А. Закономерности распространения силовых импульсов по колонне бурильных труб к породоразрушающему инструменту. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 115 с.

*Поступила 17.09.2012 г.*