

Взрывные генераторы давления для горнодобывающей промышленности

Е. В. БОТОВ, В. Н. ХВОРОСТИН

В строительных работах как в России, так и за рубежом используется природный облицовочный камень. В условиях ограниченного количества разработанных месторождений камня высокой декоративности есть потребность в ресурсосберегающих технологиях его добычи. Применяемые в наше время невзрывные методы обеспечивают сохранность камня при добыче и достаточную безопасность работ. Но низкая производительность и ограничение применения, связанные с прочностными свойствами пород, трудность работы по трещиноватым массивам, сложность разборки отколотого от массива блока усложняют применимость этих методов. Общими недостатками методов добычи блочного камня с использованием взрывчатых веществ является дробящее действие ударной волны на околоспуровой слой камня.

Для эффективной добычи строительного отделочного камня в РФЯЦ-ВНИИЭФ разработаны специальные устройства – взрывные генераторы давления (ВГД). ВГД являются мощными импульсными источниками энергии многократного действия, использующими в качестве рабочего тела продукты взрыва (ПВ) промышленного взрывчатого вещества (ВВ), подрываемого в замкнутом объеме взрывной камеры. Особенностью применения ВГД является то, что подрыв заряда ВВ производится в камере, расположенной на поверхности, а в шпур поступают продукты взрыва под высоким давлением. В этом случае на горную породу действует сглаженное давление продуктов взрыва, при этом отсутствует бризантное действие, приводящее к образованию трещин в породе. Еще одной отличительной особенностью технологии ВГД от классических взрывных технологий является отсутствие ударной воздушной волны и разлетающихся осколков пород, которые способны нанести повреждения объектам, расположенным вблизи.

Основные принципы работы ВГД

Взрывные генераторы давления многократного действия являются источниками энергии с управляемыми параметрами (мощность импульса, длительность воздействия, фронт нарастания). Основные элементы ВГД: взрывная камера с размещенным в ней зарядом ВВ и глушитель ударных волн в виде полого штока-газовода с дроссельными отверстиями, служащего для им-

пульсной подачи ПВ в шпур. Взрывная камера обеспечивает локализацию ПВ и истечение их в заданном направлении. Глушитель ударных волн сглаживает пик давления на фронте и формирует ударный импульс с заданными параметрами. Остаточное давление в объеме ВГД зависит от плотности заряжания (отношение массы ВВ к объему полости ВГД) и коэффициента передачи энергии от ВВ к объекту.

В рабочем цикле ВГД можно выделить три основные стадии: сначала происходит детонация заряда ВВ, затем образовавшиеся ПВ, расширяясь, заполняют весь объем взрывной камеры, и, наконец, остаточное давление газа совершает необходимую работу. Контакт продуктов взрыва с поверхностью раскалываемой породы происходит в шпурах посредством специальных дроссельных систем (газоводов). В зависимости от размера отделяемого блока и прочности породы устанавливается определенное количество ВГД, ориентированных вдоль направления раскалывания.

Управляемыми параметрами процесса фрагментации массива (или блока) являются количество шпуров, расстояние между ними, характеристики самого ВГД и распределения во времени срабатывания отдельных зарядов. Не управляемыми, но важными параметрами, определяющими процесс фрагментации, являются характеристики раскалываемого материала.

Конструкции ВГД

Для выкалывания монолита из массива применяется ВГД с газоводом, имеющим диаметр, равный диаметру шпура. При срабатывании ВГД продукты взрыва заполняют весь объем шпура от торца газовода до дна шпура. Для исключения выталкивания ВГД из устья шпура в момент его работы в газоводе предусмотрен узел фиксации его в шпуре. ВГД в шпуре закрепляется перемещением к стенкам шпура с помощью специального ключа клиньев, установленных в пазах газовода. Конструкция пазов и клиньев выполнена таким образом, что исключается выпадение клиньев из газовода после разрушения шпура. При отказе или при отмене подрыва для изъятия ВГД из шпура узлы его фиксации переводятся в исходное положение.

Для пассировки (предварительной обработки каменного блока с целью придания ему задан-



а



б

ВГД со специальным ключом (а) и газоввод с узлом фиксации клинового типа (б)

ных размеров и формы) разработан ВГД с другой конструкцией газоввода. Истечение газов происходит по нормали к стенкам шпура и давление создается в щелевом пространстве между стенкой шпура и корпусом газоввода на длине шпура, ограниченной уплотнениями. Количество отверстий для выхода газов из газоввода и их суммарная площадь поперечного сечения определяет степень дросселирования потока и растягивания во времени импульса давления в шпуре.

На рисунке для примера представлены экспериментальные данные изменения давления в шпуре в зависимости от плотности заряжения при одинаковой степени дросселирования и расчетная зависимость одного из эксперимента (на рисунке изображена пунктирной линией).

Для оценки и сопоставления этих данных с методикой отбойки блоков с помощью детонирующего шнура (ДШ) проведены измерения профиля давления, действующего на стенки шпура при подрыве в нем одной и двух нитей ДШ. На рисунке представлена сравнительная диаграмма изменения давления в шпуре при подрыве двух нитей ДШ и при работе ВГД.



ВГД для пассивовки



Вид газоввода для пассивовки с узлом фиксации клинового типа

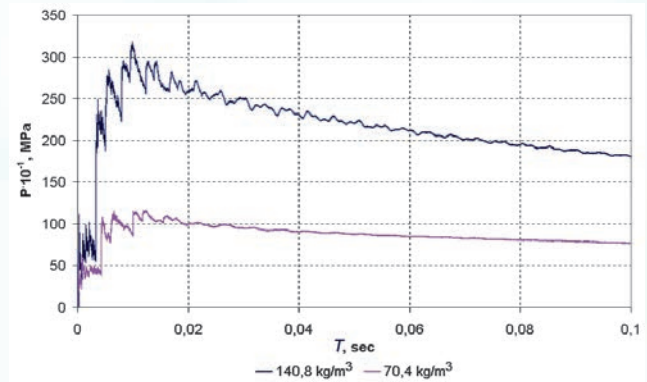
Работа ВГД в отличие от ДШ обладает рядом преимуществ:

- отсутствуют ударные волны большой интенсивности;
- амплитуда квазистатического давления и длительность воздействия продуктов взрыва на стенки

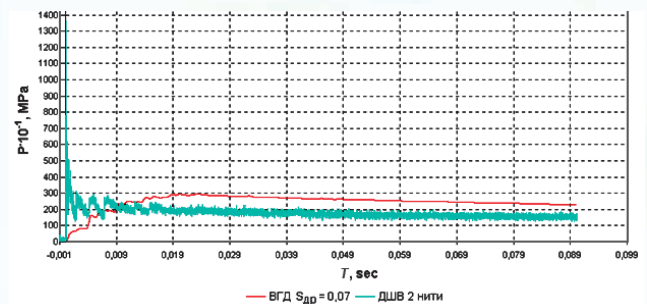
шпура больше, что позволяет помимо образования магистральной трещины отодвинуть откалываемый блок от монолита на некоторое расстояние.

Результаты испытаний ВГД на промышленном карьере

Испытания проводились на карьере ЗАО ПО «ВОЗРОЖДЕНИЕ» (г. Выборг Ленинградской области). Полезная толща сложена гранитом, представляющим собой высокопрочную трещиноватую породу массивной структуры (средняя плотность $2,673 \text{ т/м}^3$, пористость $1,6 \%$, предел прочности на сжатие $181,4 \text{ МПа}$, сопротивляемость к удару 71 см , истираемость на круге $0,38 \text{ г/см}^2$). Испытания ВГД проводились на гранитных блоках различной геометрии с варьированием шага бурения, массы заряда ВГД, ви-



Осциллограммы изменения давления в шпуре в зависимости от плотности заряжения



Сравнение работы в шпуре ДШ и ВГД

да и длины газовой. Ниже приведены фоторезультаты двух испытаний.

На первом фото приведена кинограмма одного из опытов и результаты направленного раскалывания гранитного блока размером $2100 \times 2400 \times 2200$ мм, массой 30 т. Поверхность раскола представляет собой гладкую ровную поверхность и удовлетворяет требованиям к внешнему виду и качеству поверхности блоков. В результате опыта часть расколотого блока отбросило на расстояние ~2 м.

Далее приведены результаты раскола блока размером $1650 \times 2400 \times 2400$ мм, массой 25 т. При уменьшении плотности заряжения и увеличении расстояния между шпурами произошло образование магистральной трещины без отбрасывания расколотых блоков.

Для каждого конкретного месторождения необходимо проведение калибровочных опытов с целью нахождения эмпирического коэффициента для расчета оптимального заряда.



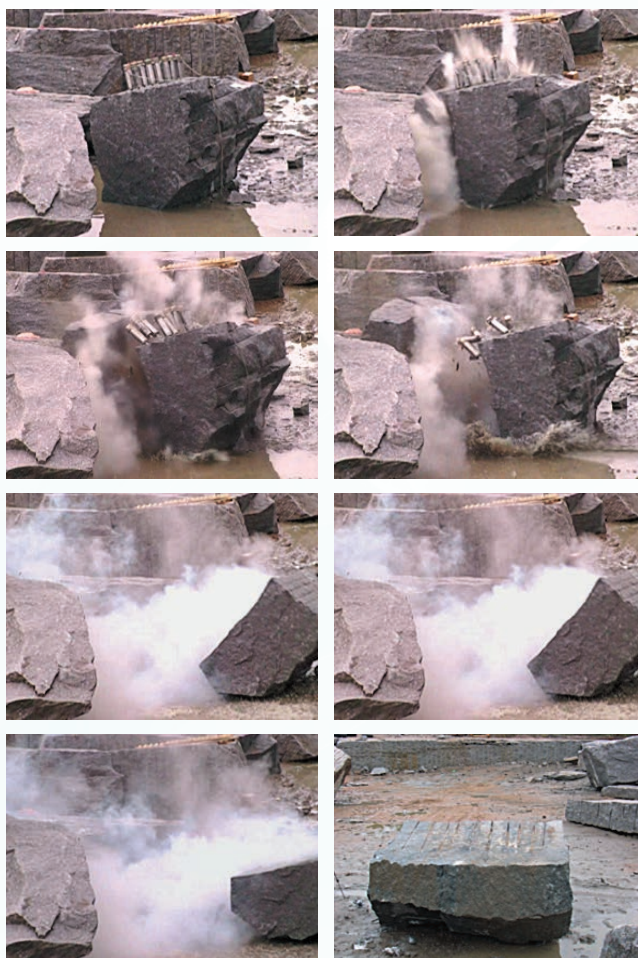
Результаты раскола блока

Вывод: возможность применения взрывных генераторов давления для добычи блочного камня, при этом отличительными моментами являются:

- удобство заряжания шпура;
- отсутствие наведенной микротрещиноватости;
- уменьшение объема буровых работ по сравнению, например, с гидроклиновым методом при пассивровке;
- отсутствие ударной воздушной волны и разлетающихся осколков пород, которые способны нанести повреждения объектам, расположенным вблизи работы ВГД.

За разработку взрывных генераторов давления получены:

- золотая медаль на «Международном салоне изобретений, новых технологий и продукции «Женева-2009», Швейцария, г. Женева;
- диплом в конкурсе «Лучшая полезная модель года в Нижегородской области в номинации «Машиностроение».



Кинограмма опыта и результаты раскола



БОТОВ Евгений Вячеславович –

начальник отдела ИФВ

ХВОРОСТИН Владимир Николаевич –

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ИФВ, лауреат двух премий Правительства РФ