

УДК 622.235

**К ВОПРОСУ СНИЖЕНИЯ ВЫХОДА МЕЛКИХ ФРАКЦИЙ ПРИ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ, А ТАКЖЕ БУРЕНИЯ, РАСХОДА ВВ И СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

*Швидько П.В., Мельник Г.В.*

*Концерн «Южруда»*

*ул. Фучика, 1, а/я 1829, г. Днепропетровск, 49027*

*Быков Е.К., Духин И.В.,*

*ЗАО «Интервзрывпром»*

*Гафиулов В.В.*

*ОАО «Балаклавское рудоуправление им. Горького»*

*Конончук В.А.*

*ОАО «Коростенский щебзавод»*

*Устименко К.Е.*

*Национальный горный университет, г. Днепропетровск*

Розглянуті дані експериментальних досліджень запропонованої авторами технології вибухового відробітку шпурів без перебури за наявності води в свердловинах. Запропонована технологія дозволяє підвищити ліквідність гірської маси, що здобувається вибуховим способом, особливо, у випадках, коли існують підвищені вимоги до змісту дрібних фракцій.

**Ключові слова:** технологія вибухового відробітку шпурів.

There are discussed the data of experimental explorations proposed by authors technology of blasting working benches without sub-drilling under water presence the drilling-holes. Proposed technology permit to rise the solvency of working rock mass, in distinction, in cases, when there are the rising demands to fine fraction.

**Key words:** technology of blasting working benches.

**Введение.** Существующая технология разрушения пород взрывом не позволяет избежать переизмельчения некоторого объема взрывааемых пород независимо от их прочности. Наибольший выход мелкозернистых фракций наблюдается при взрывании известняков, доломитов, гранита, мергелей, достигая в отдельных случаях 30%. По сведениям Отделения горного дела и экономики минерального сырья Университета в Леобне (Австрия) [1] ежегодный выход мелких фракций горных пород, не имеющих промышленного применения и размещаемых в отвалах, составляет более 1 тонны на жителя Европы.

**Цель работы.** Сравнительные промышленные эксперименты по взрывной отбойке минерального сырья с использованием неэлектрических систем инициирования.

**Материал и результаты исследования.** С 2001 по 2004 год Европейский консорциум специалистов из 9 научно-исследовательских организаций стран-ЕЭС выполнил объемную как по масштабам, так и по размерам финансирования работу под общим названием «БЕЗ МЕЛОЧИ - Сокращение выхода мелких фракций при добыче полезных ископаемых». О первых результатах этой работы было сообщено на II-й конференции Европейской федерации инженеров-взрывников – EFEE (Прага, 2003 г.). Итоговый отчет по выполненной работе был обнародован в сентябре 2005 года на Лондонской конференции EFEE (г. Брайтон).

Обобщив предварительные результаты

лабораторных и полномасштабных промышленных массовых взрывов по программе «БЕЗ МЕЛОЧИ» на примере шести известняковых карьеров Западной Европы, отличающихся прочностью и трещиноватостью, авторы работ [1, 2] предлагают строить стратегию получения взорванной горной массы с малым содержанием переизмельченного продукта за счет следующих основных технологических приемов:

- уменьшение диаметра скважинного заряда;
- разделение колонки заряда воздушными или инертными промежутками;
- уменьшение величины перебура до минимально возможного значения, а также взрывание зарядов без перебура;
- использование менее бризантных ВВ.

При выборе диаметра скважины руководствуются, как правило, требованиями к качеству дробления, крепостью пород, необходимой глубиной скважины, величиной критического диаметра применяемого ВВ. По данным анализа зарубежной взрывной отбойки в период с 1968 по 1988 годы наибольшее распространение получили скважинные заряды диаметром до 160 мм (около 60 % от общего количества скважин). Не более 15 % приходилось на скважины диаметром 160 – 200 мм. Таковую же долю занимали скважины диаметром от 200 до 300 мм. Около 10 % объемов работ относились к скважинным зарядам диаметром более 300 мм.

В настоящее время на карьерах Европы для

цементной промышленности самый распространённый диаметр бурения – 102 мм, максимальный – 157 мм.

Успешному развитию ударно-вращательного способа бурения способствовало создание бесклапанных погружных пневмоударников, рассчитанных на давление сжатого воздуха 2,4 МПа и штыревых коронок из высокопрочных материалов. Для сравнения, отечественные станки типа СБУ-100, СБУ-125 рассчитаны на рабочее давление 0,5-0,8 МПа. Увеличение рабочего давления воздуха до 2,4 МПа позволило повысить скорость бурения в 3-4 раза по сравнению с пневмоударниками, работающими на давлении 0,5 МПа. В мировой практике бурового станкостроения наблюдается тенденция дальнейшего повышения рабочего давления воздуха.

Многочисленными исследованиями установлено, что выход переизмельченных фракций приурочен к области массива, контактирующего с зарядом ВВ и в наибольшей степени выражен в перебуре скважин, где проявляется камуфлетное действие заряда. Например, при взрывании крепких известняков в перебурной части скважин размещается 80-90 кг ВВ (для скважин диаметром 250 мм), что составляет около 20% массы скважинного заряда. При этом зона перебура дважды подвергается разрушающему взрывному нагружению – первый раз, когда составляет собственно перебурную область, а вторично – когда оказывается в зоне забойки нижележащего горизонта. Эта зона является, как правило, также и источником негабаритных фракций.

В технологии взрывания, описанной в работе [3], использованы скважинные заряды без перебура, в нижней части которых на уровне подошвы уступа формируются воздушные «подушки», названные авторами «Power Deck». Устройство «Power Deck» состоит из полиэтиленовой емкости цилиндрической формы под соответствующий диаметр скважины со складкой в донной и боковой поверхностях. Емкость крепится шарнирно к деревянному штоку длиной около 1 м. Шток фиксирует положение емкости относительно забоя скважины.

До зарядания в скважину опускается «Power Deck», емкость которого предварительно заполняется буровой мелочью для утяжеления конструкции и беспрепятственного ее падения на дно скважины. Дальнейшие операции по заряданию выполняются в традиционном порядке лишь с той разницей, что величина забойки уменьшается на 1,0-1,5 м.

В интерпретации авторов эффект воздушной подушки «Power Deck» основан на суммарном действии энергии ударной волны и поршневого действия продуктов взрыва на забой скважины. Этого воздействия достаточно для образования откольной горизонтальной плоскости на уровне подошвы уступа. Обязательным условием эффективной работы «Power Deck» является синхронное взрывание зарядов в группах, а также нижнее их инициирование и отсутствие воды в

забое скважин.

Иницирование скважинных зарядов осуществлялось в двух уровнях с помощью неэлектрических систем. При этом верхний детонатор являлся дублирующим и инициировался на 25 мс позднее нижнего.

Для измерения массовой скорости продуктов взрыва, движущихся по воздушной подушке к основанию скважины, авторами [3] бурился шпур малого диаметра со стороны груди забоя, через которую вводился коаксиальный измерительный кабель. Измеренная скорость движения фронта продуктов взрыва в воздушной полости изменялась от 3300 м/с на уровне пластиковой емкости «Power Deck» до 450 м/с на уровне забоя скважины.

Отмечается хорошая проработка подошвы уступа, а анализ грансостава взорванной породы показал, что применение «Power Deck» приводило к уменьшению на 20-40% содержания фракций крупнее 400 мм, на 69,7% - фракций меньше 5 мм и одновременно увеличивалось содержание фракций 100-200 мм – на 9,7%, фракций 40-100 мм – на 36,7%, фракций 20-40 мм – на 33,1%. Положительный эффект от использования «Power Deck» достигается при использовании неэлектрических систем инициирования за счет высокой синхронности их срабатывания. Применение «Power Deck» в сочетании с неэлектрическими системами инициирования позволило сократить на 16-25% расход ВВ, уменьшить затраты на бурение, улучшить фрагментацию взорванной породы и уменьшить на 33% сейсмическое действие взрыва.

Сотрудникам ЗАО «Интервзрывпром» (г.Кривой Рог) предпринята попытка расширить область применения отработки уступов без перебура при наличии воды в скважинах. Был предложен способ создания воздушной полости необходимого размера под колонной заряда с помощью газогенерации в полиэтиленовом мешке, зафиксированном у забоя скважины. Газогенерация осуществлялась путём управляемой химической реакции уксусной кислоты с содой в герметичном мешке, затягиваемым через фиксирующее устройство под воду в скважину до необходимой отметки. Количеством реагентов экспериментально устанавливался объём газа заполнения мешка, точнее, устанавливалось необходимое время для затягивания устройства в забой при максимальной глубине взрываемых скважин, полностью заполненных водой. Это время составило 2 мин. Экспериментальные взрывы проведены в апреле-мае текущего года на Балаклавском РУ и карьере Коростенского Щезавода №1, на известняках и гранитах соответственно. В первом случае, призабойная часть колонки заряда формировалась граммонитом 79/21, высота столба воды не более 2 метров, перебур отсутствовал, диаметр скважин 220 мм, а во втором, на гранитном карьере у 32 скважин вода была на отметке 3...4 м, достигая 8 метров – 4 скважины. Большая часть, 67 скважин, были сухими. Диаметр скважин 157 мм.

Перебур 2...2,5 метра на гранитном карьере был заполнен водой, а воздушный промежуток

газогенерирующим мешком высотой 1 м создавался на отметке создаваемой подошвы уступа. Эмульсионное вещество анемикс заряжалось, в том числе и под воду, с помощью штатных зарядных машин «Tread». Учитывая высокую плотность анемикса (исходная – 1,33, а потребительская плотность – 1,23) с целью сохранения типового удельного расхода 0,45 кг/м<sup>3</sup>, было принято решение рассредоточить колонки зарядов с помощью газогенерирующих мешков. Кроме того, с помощью мешков были созданы воздушные промежутки и под забойкой.

Экспериментальные взрывы известняка и гранита подтвердили возможность создания кольцевых перекрывающих друг друга трещин от колонковых зарядов скважин, изначально заполненных водой в горизонтальной плоскости формирования подошвы уступа.

Проблема фиксации устройства на необходимой отметке в скважине при условии нарастающей силы всплытия до момента закрепления газогенерирующего мешка сцеплением (трением) со скважиной успешно решена, а устройство реализации - патентуется.

Экспериментально подтверждена возможность исключения перебура скважин, заполненных водой, в том числе, ниже отметки формируемой подошвы, ликвидировать таким образом основную часть сейсмического источника, которым является часть заряда, взрываема в перебуре в камуфлетном режиме. Подтверждена также работоспособность газогенерирующего устройства создания воздушной полости и технология его установления под водой, в том числе, что существенно снижает стоимость БВР, снижены выход мелочи и негабаритных фракций. Повышается ликвидность горной массы за счёт снижения выхода мелочи у забоя скважин (в нижней части заряда в ликвидированном перебуре) и за счёт снижения выхода негабарита из массива устьев скважин за счёт эффекта «Power Deck» под забойкой. Объём бурения снижается на 10...15%.

Для того, чтобы получить эффективное действие устройств «Power Deck» необходимо обеспечить не только синхронную, но и достаточно мощную работу промежуточного детонатора (боевика) как элемента инициирующей системы. В отечественной практике взрывных работ наибольшее распространение получили шашки-детонаторы цилиндрической формы Т400Г, ТГ500. У взрывников укрепилось ложное убеждение, что для надежного инициирования скважинных зарядов боевики следует формировать из двух, трех и даже четырех шашек, руководствуясь тем, что восприимчивость к детонации основного заряда находится в прямой зависимости от массы промежуточного детонатора, оправдывая перерасход шашек избавлением от проблем, связанных с ликвидацией отказов.

С внедрением капсульных средств неэлектрического инициирования (Нонель, Примадет, Эделин, Синв) разработаны и применяются цилиндрические тротильные шашки-детонаторы с гексогеновым оживителем ДПУ-

830Тл, а также их российские аналоги ТГФ-850Э, ТГФ-500Э, Т500-КГ, имеющие сквозные каналы для детонирующего шнура и гнездо для капсульных средств инициирования.

В зарубежной практике расширяется применение шашек-детонаторов, отличающихся по форме от традиционной цилиндрической. Компания «Trojan Corporation» (США) выпускает конические пентолитовые шашки-детонаторы трех типоразмеров. Характеристики этих шашек приведены в таблице 1. [3]

Канал и гнездо в теле шашек позволяют использовать ДШ от 0,53 до 10,6 г/м, а также капсульные системы инициирования. Конструкция шашек-детонаторов «Trojan Booster» опирается на результаты исследований, которые предшествовали изобретению [3]. Авторы изобретения пришли к выводу, что инициирующая способность шашки находится в прямой зависимости от ее диаметра. Увеличение диаметра шашки, однако, не обязательно достигается увеличением ее массы, пока она имеет форму цилиндра, диктуемую геометрией скважины. Было установлено, что увеличение площади поверхности взаимодействия шашки со скважинным зарядом способствует увеличению эффективности передачи детонации. Более того, при одинаковой площади поверхности шашек массивная шашка не обязательно обладает большей инициирующей способностью. Оптимальная работа шашки проявлялась в том случае, когда ее плоская рабочая поверхность была обращена к основной части скважинного заряда; сочетая плотность 1,6 г/см<sup>3</sup> и скорость 26000 футов/с эти бустеры оптимизируют давление – 250 Кбар.

**Таблица 1 – Характеристики шашек-детонаторов «Trojan Booster»**

Показатель	Марка шашек		
	C-10	C-20	C-30
Диаметр снования конуса, мм	60	86	117
Высота усечённого конуса, мм	120	120	120
Тип ВВ	Пентолит (PETN и TNT)		
Масса, кг	0,28	0,57	0,9

По мере распространения фронта детонационной волны по инициируемому заряду АС-ДТ скорость детонации вначале падала ниже уровня скорости устойчивой детонации (3600 м/с), а затем, на расстоянии 0,35 – 0,75 м от шашки стабилизировалось на величине 3600 м/с. Наибольшее расстояние «разгона» детонации (0,75 м) при инициировании скважинного заряда АС-ДТ соответствовало цилиндрической шашке длиной 120 мм, диаметром 57 мм и массой 0,56 кг, а наименьшее (0,35 м) наблюдалось при инициировании такого же заряда шашкой конической формы массой 0,45 кг. [3]

При взрывании горных пород, к которым предъявляются высокие технологические требования по гранулометрическому составу, в том

числе к флюсовым известнякам, зарубежная практика отдает предпочтение аммиачно-селитренным бестротиловым ВВ. Доля их потребления составляет более 85% от общего расхода промышленных ВВ в том числе в угольной промышленности – 94%, в горнорудной промышленности – 65%, в нерудной промышленности – 76% , в строительстве – 80 %. Условие применимости единственное – отсутствие воды в скважинах.

Пониженная объемная концентрация энергии в заряде АС-ДТ высвобождается медленнее по сравнению с тротилосодержащими ВВ и, в этой связи, оказывается «щадящее» действие на стенки скважин, на массив. При этом, в большей степени проявляется поршневое действие взрыва и, как следствие, уменьшается содержание мелкозернистых фракций во взрываемом массиве.

Использование взрывчатой смеси типа АС-ДТ на гранулированной селитре по ГОСТ 2-85 в качестве низкобрызгантного ВВ в скважинах малого диаметра сдерживается из-за опасения получения отказов. Такая смесь сегрегирует в скважине в течение половины рабочей смены. При этом повышается вероятность затухания детонации, возрастает содержание ядовитых газов в продуктах детонации из-за изменения кислородного баланса смеси (отступления от сбалансированного состава). Для стабилизации свойств АС-ДТ (ANFO) за рубежом применяют только пористую аммиачную селитру.

По данным фирмы «Хидро», лидирующей в производстве аммиачной селитры для взрывных работ, при диаметре заряда более 120 мм скорость детонации приближается к устойчивой при использовании высококачественной пористой аммиачной селитры во взрывчатой смеси ANFO.

Трудно рассчитывать на положительный результат взрывания зарядами малого диаметра при использовании детонирующего шнура. Взрыв ДШ в колонке АС-ДТ ведет к потере энергетических характеристик взрывчатой смеси за счет дефлаграции и переуплотнения колонкового заряда. По данным [4] около 38 % полезной энергии теряется в заряде диаметром 50 мм при использовании детонирующего шнура с навеской 0,85 г/м и 90 % с навеской 10 г/м.

Опираясь на эти данные, нетрудно подсчитать, что в скважинах диаметром 100 и 250 мм потери энергии составят соответственно 50 и 12 % при использовании одной нитки отечественного ДШ с навеской больше 10 и меньше 12 г/м.

Другим негативным свойством детонирующего шнура является его способность ослаблять запирающее действие забойки создания сквозных каналов.

Альтернативой детонирующим шнурам в зарубежной практике являются неэлектрические системы инициирования типа «Нонель», «Примадет» и др. Первая отечественная система неэлектрического инициирования «Импульс» в настоящее время находится в стадии приемочных испытаний для подземных работ и допущена к

постоянному применению на открытых горных работах.

Для оценки эффективности влияния диаметра зарядов на выход переизмельченного продукта нами проведены массовые взрывы зарядов диаметром 102 мм и 250 мм в условиях Псилерахского карьера Балаклавского рудоуправления. Обуривание экспериментального блока выполнялось самоходной буровой установкой «Пантера-800» фирмы «Сандвик Тамрок» (Финляндия). Обуривание контрольного блока выполнялось станком СБШ-250 МН.

Для исключения потерь энергии ВВ за счет дефлаграции и переуплотнения действием детонирующего шнура в колонке заряда диаметром 102 мм нами была использована система «Нонель» (Швеция).

Массовый взрыв контрольного блока со скважинными зарядами диаметром 250 мм выполнен с использованием отечественных средств короткозамедленного взрывания.

**Выводы.** Сопоставляя данные выхода готовой продукции по фракционному составу установлено, что содержание крупных и одновременно более дорогих фракций из горной массы экспериментального взрыва увеличилось. Так, содержание фр. 20-50 мм возросло на 2,7%, а содержание фр. 40-80 мм увеличилось на 4,6%. Одновременно содержание фр. 3-25 мм уменьшилось на 6,3 %, а фр. 0-5 мм - на 4%.

Приведенные сведения подтверждают, что в породах, к которым предъявляются повышенные требования по снижению содержания мелких фракций, возможно регулирование интенсивности дробления за счёт зарядов уменьшенного диаметра и современных ВВ и СВ. Широкому распространению зарядов малого диаметра для уменьшения мелкозернистого дробления в отечественной практике препятствуют отсутствие в необходимом количестве высокопроизводительного и надежного бурового оборудования, неэлектрических систем инициирования, а также бестротилового взрывчатых смесей, способных надёжно детонировать в скважинах малого диаметра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. P.Moser. Less fines production in aggregate and industrial minerals industry. In R.Holmberg (ed) explosives and Blasting Technique, Prage 2003, p.335-343.
2. R.Chiapetta, J.Wyciskalla. bottom hole and multiple power decks-independent testing results of the new blasting technique.In R.Holmberg (ed) explosives and Blasting Technique, Prage, 2003 p.347-355.
3. R.Thomas, R.Levan. Booster shaped for high-efficiency detonating, US patent No 4938143, 1990.
4. C.Konja, E.Walter. Surface blast design/ Prentise Hall, New Jersey, 1990.
5. В.Л.Барон, В.Х. Кантор. Техника и технология взрывных работ в США. М., «Недра», 1989, с. 202.