

УДК622.1: 622.831.3

И.И. КЛОЧКО, д-р техн. наук, проф., Донецкий национальный университет  
П.И. ФЕДОРЕНКО, д-р техн. наук, проф., И.П. ПОДОЙНИЦЫН, аспирант,  
Е.Н. ШВЕЦ, канд. техн. наук, Криворожский национальный университет

## РАБОТОСПОСОБНОСТЬ НАРУЖНЫХ ЗАРЯДОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В статье приведены результаты лабораторного и опытно-промышленного исследования влияния массы ВВ и конструкции наружного заряда на эффективность взрыва. Показано, что создание в удлиненных кумулятивных зарядах сходящихся детонационных волн за счет встречного инициирования позволяет повысить работоспособность заряда в 1,2-1,6 раза по методу воронкообразования. Лабораторные исследования выполнены на линейном механическом ускорителе, обеспечивающем ускорение от 10 до 100g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов, и существует достаточное время, необходимое для исследования взрывных процессов. Это позволяет исследовать закономерность формирования воронок выброса в зависимости от вида зарядов и параметров кумулятивного потока. Введение перегрузок позволило исследовать действие модельных зарядов, аналогичным зарядам в 100 кг в натуральных условиях. В результате установлено, что уменьшение объемов воронок выброса по видам зарядов, происходит по тому же закону, что и для взрывания зарядов без перегрузки. Следовательно, роль продуктов взрыва, времени существования струи в образовании воронок выброса и механизм разрушения остаются неизменными. В случае простого кумулятивного заряда с введением перегрузки объем воронки уменьшился в 2,0 раза, а в случае облицованного – в 2,6 раза по отношению к контрольному. Однако если сравнивать величины воронок до и после перегрузки по видам зарядов, то получается, что в случае простого заряда воронка уменьшилась в 1,5 раза, в случае кумулятивного заряда – в 2,25 раза, в случае заряда с облицовкой – в 1,6 раза. Установлено, что наибольшей работоспособностью обладают кумулятивные заряды с конической кумулятивной выемкой. На работоспособность удлиненных зарядов существенно влияет длина заряда, что подтверждают полученные нами ранее результаты. При встречном инициировании работоспособность зарядов увеличилась в 1,2–1,6 раза. Большая работоспособность соответствовала более длинному заряду. Максимальный объем воронки выброса составил 0,00736 м<sup>3</sup> при заряде 0,8 кг, что в 1,35 раз больше, чем в случае контрольного взрывания.

**Ключевые слова:** негабарит, наружные заряды, эффективность действия, работоспособность, конструкции зарядов, инициирование.

Актуальность работы. Проблема дробления негабаритных кусков горных пород всегда оставалась актуальной при добыче полезных ископаемых на карьерах, несмотря на совершенствование первичной отбойки в части сокращения выхода негабарита. При выборе способа дробления негабарита необходимо, что бы они отвечали ряду основных требований:

1. Обладали высокой разрушающей способностью от одноразового приложения нагрузки, т.е. обладали высокой эффективностью.
2. Были технологичными как с точки зрения изготовления, так и с позиций эксплуатации.
3. Имели минимальную стоимость.

Как показывает практика, этим условиям отвечают кумулятивные заряды взрывчатых веществ (ВВ). Однако не всегда применение кумулятивных зарядов дает положительный эффект, что определяется многими факторами. По этому, исследования направленные на повышение эффективности действия кумулятивных зарядов при дроблении негабаритных кусков горных пород является актуальной научно-практической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. Кумулятивные заряды в горное дело пришли из военного дела, где широко применялись для борьбы с бронированными целями. По этому, не удивительно, что разрушение горных пород также рассматривалось с позиции пробивания брони. Впервые механизм разрушения горных пород от воздействия кумулятивной струи был предложен академиком М.А. Лаврентьевым [1]. При расчете параметров нагрузки считали, что среда является идеальной жидкостью и к ней применимы известные уравнения гидродинамики. Исходя из предложенной теории, повысить эффективность действия зарядов можно путем повышения осевого давления или уменьшения радиуса пробоины. Как показывает опыт это справедливо при пробивании преграды. В горной породе повышение осевого давления в 1,3 раза приводит к росту объема зоны пластических деформаций в 11,8 раза, без существенного роста общего объема разрушения [2]. В работе [3] предложен механизм разрушения горной породы от воздействия газовой кумулятивной струи и представлены параметры, характеризующие ее действие в горной породе. В работе показано, что снижение, в разумных пределах, мас-

совой скорости газового потока  $U$ , будет способствовать увеличению времени приложения нагрузки  $t_{эф}$  и повышению количества энергии, передаваемой в массив. При этом очевидно, что применение только теоретических методов, базирующихся на выдвинутых гипотезах без достаточного экспериментального подтверждения неприемлемо. Экспериментальные исследования позволяют с достаточной достоверностью оценить эффективность действия зарядов различной конструкции. При этом первостепенное место занимают экспериментальные натурные исследования.

Цель работы: исследование влияния конструкции наружного заряда и способа его инициирования на эффективность взрыва.

Материалы и результаты исследований. Лабораторные исследования выполнялись в Институте физики и механики горных пород АН Киргизии. Все эксперименты выполнялись на линейном механическом ускорителе, обеспечивающем ускорение от 10 до 100g. Поле ускорения на нем возникает и исчезает плавно, не давая динамических эффектов, и существует достаточное время, необходимое для решения задач, связанных с явлением взрывов [4].

В данном случае линейный механический ускоритель позволяет исследовать закономерность формирования воронок выброса в зависимости от вида зарядов и параметров кумулятивного потока. При этом создавалась возможность моделировать различные массы ВВ. Это достигается тем, что на ускорителе осуществляются времена действия, соответствующие в натуре временам от 1 до нескольких десятков секунд. Время протекания процесса на ускорителе  $1/N$  от времени натурального процесса, а масса модельного заряда должна быть в  $N$  раз меньше действительного заряда.

Исследования выполнялись на моделях из влажного песка. В качестве ВВ использовали ТЭН, который помещали в бумажные оболочки диаметром 15 мм. Кумулятивные заряды имели кумулятивную выемку в виде конуса с углом при вершине 60-65 град. Высота кумулятивной выемки составляла  $\frac{1}{3}$  всей высоты заряда. Масса ТЭНа в заряде - 4,0 г. Исследовались кумулятивные заряды двух типов - с облицовкой кумулятивной выемки и без нее. Для облицовки кумулятивных выемок использовали латунную фольгу толщиной 0,5 мм.

Для получения достоверных результатов каждый опыт повторялся по 3 раза. В качестве эталонного заряда использовался заряд ТЭНа массой 4,0 г, помещенный в бумажную оболочку диаметром 15 мм. Взрывания производили на неподвижном контейнере линейного механического ускорителя и с перегрузкой 25-30 g. Объем воронок выброса оценивался заливкой воронки водой из мерного сосуда. Перед заливкой водой воронка устилалась полиэтиленовой пленкой. Кроме этого, оценивали геометрические размеры воронок с учетом выброшенного песка на уровне песка контейнера (табл. 1).

Таблица 1

Результаты взрывания кумулятивных зарядов

| Вид заряда   | Без перегрузки            | С перегрузкой             |
|--|---------------------------|---------------------------|
|  | объем воронки выброса, мл | объем воронки выброса, мл |
| Обычный наружный заряд                                 | 240                       | 160                       |
| Кумулятивный заряд                                     | 180                       | 80                        |
| Кумулятивный заряд с облицованной кумулятивной выемкой | 100                       | 60                        |

Как видно из приведенных данных в песке большей работоспособностью обладают обычные накладные заряды. Это, прежде всего, на наш взгляд, обусловлено самим механизмом разрушения сыпучих сред. Поскольку в песке роль волновых процессов не значительна, то основной объем разрушения определяется действием газообразных продуктов взрыва (ПВ). В этом случае существенная роль в передаче энергии взрыва в среду принадлежит площади приложения нагрузки, а также времени ее существования. В случае использованного кумулятивного заряда площадь приложения нагрузки в 7-8 раз меньше, чем в случае обычного заряда, также меньше и  $t_{эф}$ , что в комплексе привело к снижению работоспособности в 1,3 раза. Наличие металлической облицовки еще больше снижает непосредственное действие газообразных ПВ, уменьшая  $t_{эф}$ , т.к. массовая скорость весьма высока, что еще больше сказывается на работоспособности по сравнению с обычным зарядом и кумулятивным без облицовки.

Введение перегрузок позволило исследовать действие модельных зарядов, аналогичным зарядам в 100 кг в натуральных условиях. Из приведенных результатов видно, что уменьшение объемов воронок выброса по видам зарядов, происходит по тому же закону, что и для взрывания зарядов без перегрузки. Следовательно, роль ПВ, времени существования струи в образовании воронок выброса и механизм разрушения остаются неизменными. В случае простого кумулятивного заряда с введением перегрузки объем воронки уменьшился в 2,0 раза, а в случае облицованного - в 2,6 раза по отношению к контрольному. Однако если сравнивать величины воронок до и после перегрузки по видам зарядов, то получается, что в случае простого заряда воронка уменьшилась в 1,5 раза, в случае кумулятивного заряда - в 2,25 раза, в случае заряда с облицовкой - в 1,6 раза.

Рост параметров кумулятивной струи вследствие введения перегрузки привел к тому, что тэф уменьшилось, что предопределило и резкое снижение работоспособности. Для обычного заряда перегрузка не приводит к столь существенному падению работоспособности, т.к. для таких зарядов существенным является величина площади приложения нагрузки, а не параметры ПВ. В случае кумулятивных зарядов с облицовкой величина массовой скорости кумулятивной струи при перегрузке растет не существенно, что и привело к снижению работоспособности в 2,6 раза.

Приведенные результаты свидетельствуют о необходимости правильного подбора вида заряда и параметров нагружения в зависимости от типа пород и вида выполняемой работы [5-7].

Полигонные эксперименты выполнялись на карьерах Докучаевского флюсо-доломитного комбината и Кальчикском сиенитовом карьере. Это позволило провести эксперименты в породах с различными физико-механическими свойствами. В экспериментах использовались заряды массой 0,4; 0,5; 0,8 кг. В качестве ВВ применялись аммонит № 6ЖВ и смесь аммонита с ТЭ-Ном. В качестве контрольного использовались заряды с конической кумулятивной выемкой с углом при вершине 60–65 град, что отвечает наиболее благоприятным условиям по формированию кумулятивного потока. Эффективность действия кумулятивных зарядов оценивалась по объему воронки дробления (выброса). Для этого кумулятивные заряды размещались на подошве уступа. После взрыва оценивались размеры воронки. Сама воронка очищалась от мелких фракций дробления и просыпей.

На первом этапе исследовались заряды при их одностороннем инициировании, а на втором – при двустороннем, т.к. известно, что двустороннее инициирование позволяет существенно повысить параметры кумулятивной струи и работу удлиненного кумулятивного заряда (УКЗ) [8-10].

Результаты экспериментальных взрывов в известняках представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты опытных взрывов

| Тип заряда                  | Параметры заряда, мм |          |          | Масса ВВ заряда, кг | Абсолютная работоспособность, м <sup>3</sup> | Относительная работоспособность, м <sup>3</sup> /кг |
|-----------------------------|----------------------|----------|----------|---------------------|--|---|
|                             | <i>h</i>             | <i>B</i> | <i>L</i> |                     |  |   |
| Кумулятивный заряд типа ЗКН | –                    | –        | –        | 1,0                 | 0,0053                                       | 0,0053  |
| УКЗ                         | 107                  | 50       | 107      | 0,45                | 0,00155                                      | 0,00344   |
| УКЗ                         | 166                  | 80       | 50       | 0,40                | 0,0013                                       | 0,00325   |
| УКЗ                         | 166                  | 80       | 100      | 0,8                 | 0,0036                                       | 0,0045  |

Инициирование - одностороннее. Как видно из приведенных данных, наибольшей работоспособностью обладают кумулятивные заряды с конической кумулятивной выемкой. Как следует из табл. 2, на работоспособность удлиненных зарядов сильно влияет длина заряда, что подтверждают полученные нами ранее результаты. В результате встречного инициирования работоспособность зарядов была увеличена в 1,2-1,6 раза. Большая работоспособность соответствовала более длинному заряду. Максимальный объем воронки выброса составил 0,00736 м<sup>3</sup> при заряде 0,8 кг, что в 1,35 раз больше, чем в случае контрольного взрывания.

**Выводы.** Увеличение эффективности действия кумулятивных зарядов известных конструкций в горных породах за счет прироста скорости кумулятивной струи весьма затруднительно. По условию передачи энергии наиболее целесообразным является снижение пикового давления в газовой струе до рационального и рассредоточение ее на большей площади.

Создание в удлиненных кумулятивных зарядах сходящихся детонационных волн за счет встречного инициирования позволяет повысить работоспособность заряда в 1,2-1,6 раза по методу воронкообразования.

### Список литературы

1. Лаврентьев М.А. Кумулятивный заряд и принципы его работы // Успехи мат. наук. - 1975. - Т.12, вып.4. - С.41-56.
2. Баранов Е.Г., Клочко И.И., Петелин Э.А. Исследование эффективности нагружения горной породы кумулятивными зарядами / Сб. докладов 1-ой международной конференции «БВР в строительстве» М., 1992. С. 133 – 138.
3. Баранов Е.Г., Клочко И.И. Механизм разрушения горных пород кумулятивными зарядами./ В сб. Деформирование и разрушение горных пород (Материалы 9 Всесоюзной конференции по механике горных пород), г. Фрунзе, 3-5 октября 1989 г. – Фрунзе, «Илим», 1990. – С. 308-312.
4. Гордиенко В.Г., Баранов Е.Г. Применение линейного механического ускорителя для решения некоторых задач моделирования взрыва. – Фрунзе: «Илим», 1971. – 75 с.
5. Бызов В.Ф., Колосов В.А., Федоренко П.И. Взрывное разрушение горных пород: монография - Кривой Рог:Издательский центр ГВУЗ «КНУ», 2012.- 407с.
6. Ткачук К.Н., Федоренко П.И. Взрывные работы в горнорудной промышленности. - К.: Вища шк., 1990. - 296 с.
7. Фізика гірських порід / П.І.Федоренко, В.Д.Сидоренко, М.В.Шолох, Т.О.Подойніцина, А.В.Переметчик. - Кривий Ріг, 2009. - 148 с.
8. П.И. Федоренко, И.И. Клочко Расчет объемов дробления горных пород от взрыва скважинного заряда. - Сб. Научное обеспечение современных методов производства открытых и подземных работ. - Кривой Рог: НИГРИ, 2010. - С. 56-61.
9. Артемьев Э.П., Рождественский В.Н., Ермолаев А.И. Состояние буровзрывных работ на железорудных карьерах Урала и современные методы повышения эффективности и взрывной подготовки горных пород // Изв. вузов. - Горный журнал, 1997. - №9-10. - С. 33-37.
10. Клочко И.И. Разработка высокоэффективных конструкций кумулятивных зарядов для дробления негабаритных кусков горных пород на карьерах / Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва Зб. Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського, м. Кременчук – КДПУ, 2010, вип. №2/2010 (6). - С. 16-21.

Рукопись поступила в редакцию 26.03.16

УДК 622.272: 622.611

М.І. СТУПНІК, В.О. КАЛІНІЧЕНКО, доктори техн. наук, проф.,  
В.М. ТАРАСЮТІН, О.Я. ХІВРЕНКО, кандидати техн. наук, доц.,  
А.В. КОСЕНКО, аспірант, Криворізький національний університет

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИПУСКУ І ДОСТАВКИ РУДИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ САМОХІДНОЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-ДОСТАВОЧНОЇ ТЕХНІКИ В СКЛАДНИХ ГЕОМЕХАНІЧНИХ УМОВАХ ШАХТ КРИВБАСУ

У роботі вказано, що основною проблемою розробки родовищ природно-багатих залізних руд є інтенсифікація її видобутку і впровадження сучасних методів виробництва із застосуванням сучасної механізації всіх виробничих процесів. Доведено, що інтенсифікація ведення очисних робіт дозволить підвищити конкурентну спроможність гірничо-видобувних підприємств Криворізького басейну. Проаналізовано та узагальнено вітчизняний та зарубіжний досвід, наукові праці і проектні матеріали щодо використання самохідної техніки в підземних умовах. Зроблено висновки з приводу того, що масштабному застосуванню комплексів самохідної техніки суперечать складні геомеханічні умови глибоких горизонтів.

Для вирішення цієї проблеми здійснене удосконалення існуючого комбінованого способу доставки рудної маси, шляхом суміщення покрівлі навантажувально-доставочного орта і підшви штреків скреперування та застосування багатоковшевих скреперних установок на горизонті первинної доставки. Це суміщення дає змогу збільшити об'єм навалу рудної маси на підшві навантажувально-доставочного орта, у результаті збільшення його висоти, що підвищить коефіцієнт використання самохідної навантажувально-доставочної машини у часі протягом зміни та у разі можливих технологічних простоїв однієї зі скреперних установок. На горизонті первинної скреперної доставки створюється наскрізне провітрювання свіжим струменем повітря штреків скреперування, що забезпечить якісні санітарно-гігієнічні умови праці машиніста скреперної установки. Застосування багатоковшевих скреперних установок дає змогу здійснювати випуск руди з усіх випускних виробок по всій площині виробки доставки рівномірними дозами, для сприяння покращенню кількісних та якісних показників вилучення. Продуктивність скреперної установки становить 340-420 т/зміну, за умов виходу негабаритних кусків рудної маси у межах 5-6%, а самохідної навантажувально-доставочної машини - 700-800 т/зміну, в залежності від її типу, на відстані середньої довжини доставки 90-

© Ступнік М.І., Калініченко В.О., Тарасютін В.М., Хівренко О.Я., Косенко А.В., 2016