

УДК 557.4:624.023

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИЕЙ ВЗРЫВА ПРИ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКЕ НЕРУДНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Ю. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Рассмотрены вопросы применения скважинных зарядов с регулируемой удельной энергией взрыва с целью уменьшения объемов пылевых выбросов в атмосферный воздух карьеров Кременчугского региона. Описан подход к определению экономической эффективности использования скважинных зарядов с регулируемой удельной энергией взрыва за счет экономии количества взрывчатых веществ, используемых для заряжания скважин, и уменьшения экологической нагрузки на атмосферу карьеров и прилегающих к ним территорий.

Ключевые слова: скважинные заряды, удельная энергия взрыва, пылевые выбросы, экономическая эффективность.

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СВЕРДЛОВИНИХ ЗАРЯДІВ З РЕГУЛЬОВАНОЮ ПИТОМОЮ ЕНЕРГІЄЮ ВИБУХУ ПРИ ВИБУХОВІЙ ВІДБІВЦІ НЕРУДНИХ КОПАЛИН

Ю. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

Розглянуто питання застосування свердловинних зарядів з регульованою питомою енергією вибуху з метою зменшення об'ємів пилових викидів до атмосферного повітря кар'єрів Кременчуцького регіону. Описаний підхід до визначення економічної ефективності застосування свердловинних зарядів з регульованою питомою енергією вибуху за рахунок економії кількості вибухових речовин, що використовуються для заряджання свердловин, і зменшення екологічного навантаження на атмосферу кар'єрів і прилеглих до них територій.

Ключові слова: свердловинні заряди, питома енергія вибуху, пилові викиди, економічна ефективність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. К основным источникам пыли при производстве буровзрывных работ на карьерах относятся: 1) буровая мелочь, образовавшаяся в процессе бурения скважин; 2) мелкодисперсные частицы забоечного материала и 3) переизмельченная порода в ближней зоне скважинного заряда (зона пластических деформаций) на контакте «заряд ВВ–порода».

Объем пылевидных частиц, образовавшихся в процессе бурения скважин, а также от использования сыпучего забоечного материала не зависит от типа применяемого ВВ, а поэтому их влияние на экологическое состояние окружающей среды при производстве массовых взрывов является величиной постоянной. В этой связи при оценке уровня загрязнения атмосферы карьера следует особое внимание уделять зоне пластических деформаций на контакте «заряд ВВ–порода» (переизмельченная порода), зависящей от типа применяемого ВВ и конструкции скважинного заряда (площади контакта ВВ со стенками скважин).

Основная проблема добычи строительного сырья с использованием энергии взрыва заключается в том, что при существующей в настоящее время тенденции широкомасштабного использования для дробления пород высокобрызгантных эмульсионных ВВ [1, 2] следует ожидать увеличения объемов переизмельченных фракций и, как следствие, увеличения потерь полезных ископаемых.

Одним из путей решения данной проблемы, как известно, является разработка и использование специальных конструкций скважинных зарядов, основанных на изменении площади контакта ВВ с породой, определяющий вероятный объем переизмельчения пород, в том числе мелких и пылевидных фракций.

Цель работы – установить взаимосвязь и экономическую целесообразность между изменением объемов пылевидных выбросов и конструкцией скважинных зарядов с регулируемой удельной энергией взрыва.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Экспериментальные исследования по установлению площади контакта ВВ со стенками зарядной полости на выход мелкодисперсных фракций проводили на гранитных моделях в форме куба с размерами ребра 150 мм. Всего было изготовлено 3 серии модели по 3 штуки в серии. В центре модели создавали зарядную полость диаметром 8, 12 и 16 мм. Длина заряда, представленного аммонитом № 6 ЖВ, составляла 100 мм [3–5].

Методика исследования взорванного материала модели (в закрытом металлическом обрезиненном боксе) включала просеивание его на лабораторных ситах (диаметр ячеек 400, 315, 160 и 100 мкм) и изготовление из небольшого количества выделенной мелкодисперсной фракции (0–100 мкм) специальных препаратов для их последующего анализа с помощью светооптического метода.

Изучение мелкодисперсных частиц, образовавшихся в основном на контакте «ВВ–порода», проводили с помощью поляризационного микроскопа МП–2, укомплектованного интегратором ИСА и измерительным окуляром, что позволяло количественно устанавливать минералогический состав продуктов разрушения гранитной модели и определять размеры пылевидных частиц в поле зрения объектива.

Результаты исследований гранулометрического состава мелкодисперсной пылевидной фракции при разрушении гранитных блоков зарядами аммонита № 6 ЖВ приведены в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень гранулометричного складу пилевидних фракцій гранітів, знищених зарядами різного діаметра

| Діаметр зарядної порожнини, мм | Висота заряду, см | Площа контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини, см ² | Середній розмір (медіана) 50 % фракцій $d_{ср}$, мкм | Середньозважений розмір пилевидних частинок, \bar{d} , мкм | Коефіцієнт рівномірності дроблення, S_0 |
|--------------------------------|-------------------|---|---|--|---|
| 8 | 6,96 | 44,24 | 6,30 | 20,08 | 2,88 |
| 12 | 3,10 | 20,61 | 7,75 | 22,07 | 2,72 |
| 16 | 1,74 | 12,95 | 20,58 | 29,66 | 1,79 |

Аналіз даних, наведених в табл. 1, показує, що з зменшенням площі контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини в гранітній моделі, з 44,24 см² до 12,95 см², т.е. майже в 3,5 рази (відповідно, діаметр заряду 8,0 і 16,0 мм), середньозважений розмір пилевидних частинок в гранулометричному складі знищеної вибухом моделі збільшується в 1,5 рази, а рівномірність дроблення в дрібній фракції підвищується майже на 60 %.

Таким чином, як свідчать результати експериментальних досліджень, площа контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини має суттєвий вплив на гранулометричний склад вибухонебезпечної маси, в тому числі пилевидної фракції.

Збільшення площі контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини веде до зростання частки найменших, переважно кварцевих частинок і нерівномірності дроблення, що свідчить про високі дисипативні втрати в зоні безпосереднього контакту.

Як свідчать отримані дані, при збільшенні площі контакту ВВ зі стінкою зарядної порожнини з 12,95 см² (діаметр порожнини 16,0 мм) до 20,61 см² (діаметр порожнини 12,0 мм) об'єм пилевидних частинок збільшується з 2,19 до 2,8 % або на 27,85 %.

В той же час, при збільшенні площі контакту ВВ з знищуваною середою з 12,95 до 44,25 см² за рахунок зменшення діаметра вибухової порожнини (при збереженні постійності удільного витрату ВВ) з 16,0 до 8,0 мм, об'єм пилевидних фракцій зростає в 1,5 рази (з 2,19 до 3,28 %).

Таким чином, середнє вміщення пилевидних частинок в вибухонебезпечній масі породи моделей, з урахуванням зміни площі контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини, становило 2,75 %.

Дані експериментальних досліджень на гранітних моделях підтверджують факт впливу площі контакту ВВ з знищуваною середою на об'єм переизмельчення твердих серед, в тому числі і на об'єм пилевидних фракцій, що може бути використано при визначенні об'ємів викиду пилевидних фракцій в атмосферу кар'єрів в процесі промислових вибухів.

Розв'язання проблеми переизмельчення гірських порід при їх вибуховому знищенні, відносительною характеристикою якою є вихід дрібних фракцій (0–200 мм), як це було встановлено ек-

спериментально і промисловими випробуваннями, можливо за рахунок використання низкобризантних вибухових речовин, спеціальних конструкцій скважинних зарядів вибухових речовин і др.

За даними різних авторів [3–5] зона переизмельчення залежить від типу ВВ і фізико-механічних властивостей вибухаємих порід і коливається в межах 2–7 радіусів заряду ВВ.

При діаметрі скважини 250 мм в нашому випадку зона переизмельчення становить 3–4 радіуса заряду (невисока міцність порід). При висоті уступу 12,0 м і сітці скважин 6,5 × 6,5 м об'єм гірської маси, що припадає на одну скважину, становить 500 м³.

При сплошній конструкції скважинного заряду колонка ВВ, що контактує зі стінками зарядної порожнини по довжині, в нашому випадку становить порядку 70 % висоти уступу.

При використанні скважинного заряду ступінчастої форми в процесі експериментальних вибухів на Крюковському гранітному кар'єрі безпосередній контакт ВВ зі стінками скважин становив всього 28–30 %.

Таким чином, об'єм переизмельчення при сплошній колонці заряду за розрахунками становить

$$V_{изм} = \pi(r_u^2 - r_o^2) \cdot l,$$

де r_o – радіус заряду (0,125 м); r_u – радіус зони переизмельчення ($r_u = 3,0 r_o$), м.

В цьому випадку $V_{изм} = 3,14 \times 0,176 \times 6,5 = 3,6 \text{ м}^3$.

Отже, частка пилевидних частинок при вибуху 500 м³ гірської маси зарядами сплошної конструкції за розрахунками становить 0,72 %.

При переході на заряди ступінчастої форми об'єм пилевидних частинок буде за розрахунками

$$V_{изм} = 3,14 \times 0,176 \times 4,0 = 2,2 \text{ м}^3,$$

т.е. зменшиться в 1,6 рази.

При цьому необхідно відзначити той факт, що при дослідженні впливу конструкції скважинного заряду (площади контакту ВВ зі стінками зарядної порожнини) на характер знищення гранітних блоків і утворення пилевидних фракцій були отримані аналогічні дані: при зменшенні площі контакту ВВ зі стінкою зарядної порожнини (збільшення діаметра заряду в 1,5 рази) об'єм пилевидних фракцій (0–100 мкм) знизився з 3,28 до 2,19 %, т.е. в 1,5 рази.

Полученные результаты подтверждают достоверность расчетов относительно оценки вероятных объемов пылевых выбросов при производстве промышленных взрывов в зависимости от технологии формирования и конструкций скважинных зарядов.

Наибольшая крупность пылинок, которые попадают в легкие человека, обычно не превышают 10 мкм. Ориентировочно в зоне переизмельчения пылевых частиц подобного размера находится не более 50 % и это является показателем уровня запыленности окружающей среды за счет данного источника пыли [84].

Годовой объем горной массы на карьере Крюковского карьероуправления в 2010 г. составил 278 тыс. м³ (588 скважин). Суммарный объем пылевидных частиц в этом случае при использовании сплошного скважинного заряда по расчетам составляет: $0,5 \times 3,6 \times 588 = 1058 \text{ м}^3$ (2650 т).

При переходе предприятия на использование скважинных зарядов ступенчатой формы объем пылевых фракций сократится и составит 650 м³ или 1620 тонн, т.е. уменьшится в 1,6 раза.

При проведении экспериментальных взрывов на

Крюковском гранитном карьере было взорвано 47 скважин новой конструкции. При этом на каждой скважине уменьшение объема выброса пыли по расчетам составляет 1,75 тонны. Таким образом, только в период проведения экспериментальных взрывов объем выброса пыли в атмосферу карьера был уменьшен на 82 т.

Аналогичные результаты по выбросам пыли при производстве экспериментальных взрывов были получены на Рыжевском и Редутском карьерах.

Техническое решение, направленное на сокращение объема переизмельченных фракций (заряды ступенчатой формы и переменного сечения по высоте) за счет уменьшения площади контакта ВВ с разрушаемой породой, предусматривает также сокращение расхода ВВ.

Как отмечалось выше, при производстве 6 экспериментальных взрывов (75 скважин) было сэкономлено 2,22 тонны взрывчатых веществ (Анемикса). Согласно техническим данным (табл. 2), при взрыве 1 кг эмульсионных ВВ типа Анемикс выделяется до 20 литров вредных газов («СО»).

Таблица 2 – Характеристика ВВ по образованию вредных газов

| Тип ВВ | Кислородный баланс, % | Объем вредных газов, л/кг | | Объем газов, л/кг | Условное содержание СО, л/кг |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|------------------------------|
| | | СО | NO _x | | |
| Игданит | + 0,2 | 8,65 | 8,65 | 980 | 64,9 |
| КС- 1 | + 8,22 | – | 57,6 | 940 | 374,4 |
| ПВС-1У | – 0,05 | 4,7 | – | 905 | 4,7 |
| Граммонит 79/21 | + 0,3 | 48,2 | 5,6 | 895 | 84,6 |
| Анемикс | – 1,0-1,9 | 12 - 20 | – | – | 12 – 20 |

Таким образом, во время проведения промышленных испытаний только при взрыве 75 экспериментальных скважин в атмосферу карьеров было выброшено вредных газов на 44,5 м³ меньше.

Экологический эффект, достигнутый при проведении экспериментальных взрывов с использованием скважинных зарядов с изменяющейся удельной энергией взрыва по высоте уступа, составил: в атмосферу карьеров выброс пылевых частиц уменьшен на 82 тонны; выброс вредных газов уменьшен на 44,5 м³.

При годовом количестве 588 скважин, взорванных на Крюковском карьере, при внедрении новой технологии формирования скважинных зарядов эмульсионных ВВ объемы выбросов сократятся: пылевидных частиц – на 1029 тонны и вредных газов – на 347 м³.

Основная проблема, возникающая при разработке нерудных полезных ископаемых с использованием энергии взрыва, – это обеспечение минимального выхода мелких (переизмельченных) фракций, которые относятся к некондиционным и, более того, – к потерям полезных ископаемых.

Как было отмечено выше, всего было проведено 6 экспериментальных массовых взрывов на трёх гранитных карьерах. Более представительными следует признать результаты четырех опытных взрывов, проведенных в условиях Крюковского гранитного карье-

ра. Именно этим объясняется факт расчета экономического эффекта, достигнутого при производстве опытных взрывов на Крюковском карьере. Колебание сетки скважин составляло 6,5×6,5 и 6,0×6,0 м, а высота уступа – 12,0 и 16,0 м. Количество экспериментальных скважин при проведении 4-х массовых взрывов – 47, а общий объем взорванной горной массы при этом составил 24380 м³ (табл. 3).

Таблица 3 – Расчет объема горной массы при взрывании экспериментальных скважин на Крюковском карьере

| Дата взрыва за 2011 г. | Высота уступа, м | Сетка скважин, м × м | Кол-во скважин, шт. | V взорв. горной массы, м ³ |
|------------------------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------------|
| 08.04. 2011 г. | 12,0 | 6,5 × 6,5 | 10 | 5070 |
| 22.04. 2011 г. | 12,0 | 6,5 × 6,5 | 17 | 8618 |
| 27.05. 2011 г. | 12,0 | 6,5 × 6,5 | 12 | 6084 |
| 25.07. 2011 г. | 16,0 | 6,0 × 6,0 | 8 | 4608 |
| Итого | | | 47 | 24380 |

Установлено, что использование в процессе экспериментов полипропиленовых рукавов переменного диаметра по длине скважинного заряда позволило осуществить регулирование удельной энергии заряда ВВ за счет изменения площади контакта заряда взрывчатого вещества (Анемикса) со стенками зарядной полости. Как следствие, был сокращен объём переизмельченных фракций (отсев).

Исследования показали, что в результате использования скважинных зарядов переменного сечения объём отсева в целом снизился на 1,1 %, что в целом составляет 268 м³ от общего объёма взорванного массива горных пород.

При объёмном весе щебеночной продукции 1,36 т/м³ это составляет 364,5 т щебня или 375 т отсева (объёмный вес отсева – 1,4 т/м³).

По состоянию на 01.07.2011 г. стоимость 1т щебня в среднем составляет 86 грн., отсева – 13,76 грн.

Реализация дополнительных 364 т щебня, полученных в результате внедрения новых конструкций скважинных зарядов ВВ позволила получить дополнительно 31,3 тыс. грн.

Реализация возможного (при старой технологии взрывания) 375 т отсева позволила бы получить 5,16 тыс. грн.

Таким образом, только при производстве 4-х экспериментальных массовых взрывов в результате сокращения выхода переизмельченных фракций (отсева) был получен реальный экономический эффект в размере 26,14 тыс. грн. (1,07 грн. на 1,0 м³ взорванной горной массы).

Уменьшение площади непосредственного контакта скважинного заряда со стенками зарядной полости за счет использования технологии формирования цилиндрических зарядов переменного сечения по высоте уступа предусматривает, кроме всего, снижение расхода ВВ.

В частности, при использовании ступенчатой формы скважинного заряда (взрывы от 8 и 22 апреля) экономия ВВ на каждой скважине составляла от 15 до 25 кг (общая масса сэкономленного ВВ составила 505 кг).

При производстве экспериментальных взрывов с использование двух и трех заужений удлиненного заряда по высоте уступа (взрывы от 27 мая и 25 июня) экономия ВВ на каждой скважине возросла и составила 30-45 кг. На 20 скважинах было сэкономлено 720 кг.

Суммарная экономия ВВ на 4-х экспериментальных взрывах составила 1,22 тонны. При стоимости 1тонны эмульсионного ВВ типа Анемикс – от 4500–5000 грн. общий фактический экономический эффект от экономии ВВ составил порядка 5800 грн.

Таким образом, использование новой технологии

формирования скважинных зарядов с изменяющейся удельной энергией взрыва при отбойке 24,4 тыс. м³ горной массы обеспечило реальный экономический эффект в сумме 31,94 тыс. грн.

ВЫВОДЫ. Основная проблема при добыче строительного сырья с использованием энергии взрыва при существующей в последние годы тенденции активного использования для дробления пород высокобризантных ВВ – это вероятность увеличения объемов переизмельченных фракций (в том числе и пылевидных), и, как следствие, увеличение потерь полезных ископаемых, а также уровня загрязнения окружающей среды.

Одним из путей решения данной проблемы является разработка и использование специальных конструкций скважинных зарядов, основанных на регулировании управлении удельной энергии взрыва, передаваемой через единицу боковой поверхности зарядной полости, посредством изменения площади контакта ВВ с разрушаемой средой, которая оказывает существенное влияние на гранулометрический состав взорванной горной массы, в том числе пылевидной фракции.

Увеличение площади контакта ВВ со стенками зарядной полости ведет к возрастанию доли мельчайших, преимущественно кварцевых частиц и неравномерности дробления, что свидетельствует о высоких диссипативных потерях в зоне непосредственного контакта.

Также показано, что уменьшение площади непосредственного контакта заряда ВВ с разрушаемой породой, реализуемой специальными конструкциями скважинных зарядов, способствует снижению объёмов выбросов вредных газов в атмосферу карьеров при производстве массовых взрывов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захаренков Е.И. Состояние взрывного дела в Украине. Государственный надзор в сфере обращения со взрывчатыми материалами промышленного назначения // Информ. бюл. Украинского союза инженеров-взрывников (УСИВ). – 2010. – № 4. – С. 4–8.
2. Современные тенденции в использовании взрывчатых веществ на нерудных карьерах Украины / Э.И. Ефремов, Н.В. Савченко, И.В. Махоня и др. // Научно-виробничий збірник „Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва”. – Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2011. – № 1(7). – С. 37–44.
3. Чебенко Ю.Н. Влияние площади контакта ВВ с породой на выход мелкодисперсных фракций // Научно-виробничий збірник „Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва”. – Кременчук, 2010. – № 2/2010(6). – С. 67–71.
4. Ханукаев А. Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом. – М.: Недра, 1974. – 222 с.
5. Разрушение горных пород взрывом / А.Ф. Суханов, Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1983. – 344 с.

ECONOMIC EFFICIENCY OF DOWNHOLE CHARGES WITH THE SPECIFIC EXPLOSIVE ENERGY CONTROLLED AT BLASTING OF NON-METALLIC MINERALS

Yu. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

The problems of downhole charges usage with the specific explosive energy controlled with the prospect of air dust emissions diminishing at quarries of the Kremenchuk region are considered. The approach to the of economic efficiency determination of use of downhole charges with the specific explosive energy controlled due to the hole charging explosives saving and atmosphere ecological loading cutting at quarries and surrounding areas is described.

Key words: downhole charges, specific energy of explosion, dust emissions, economic efficiency.

REFERENCES

1. Zakharenkov E. I. The blasting work in Ukraine. National supervision over the explosive materials industrial use // *Inform. bul. of Ukrainian union of explosives engineers*. – 2010. – № 4. – PP. 4–8. [in Russian]

2. Current trends of use of explosives at the non-metallic quarries of Ukraine / E.I. Efremov, N.V. Savchenko, I.V. Makhonya at all. // *Modern resource- and energy-saving technologies in mining industry*. – Kremenchuk, 2011. – Iss. 1/2011 (7). – PP. 37–44. [in Russian]

3. Chebenko Yu. N. Influence of contact area of explosives with a rock on the output of fine powder factions // *Modern resource- and energy-saving technologies in mining industry*. – Kremenchuk, 2010. – Iss. 2/2010 (6). – PP. 67–71. [in Russian]

4. Khanukaev A.N. *Physical processes at rock removing via explosion*. – M.: Nedra, 1974. – 222 p. [in Russian]

5. *Explosive rocks destruction* / A.F. Sukhanov, B.N. Kutuzov. – M.: Недра, 1983. – 344 p. [in Russian]

Стаття надійшла 12.10.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Воробйовим В.В.