

УДК 622.235.5

Э. А. Петелин, канд. техн. наук

*Донецкий национальный технический университет, Красноармейский индустриальный институт,
Красноармейск, Украина*

О критерии рационального энергонасыщения горных пород

Рассмотрено взаимодействие продуктов взрыва заряда взрывчатого вещества с горной породой во взаимосвязи с ее механическими свойствами. Предполагается, что разрушение горных пород без переизмельчения происходит под действием давления продуктов взрыва в зарядной полости, изменяющимся в диапазоне от динамического до статического пределов прочности горной породы на сжатие. Создание давления продуктов взрыва в зарядной полости выше динамического предела прочности горной породы на сжатие ведет к потерям минеральных ресурсов. Обоснован критерий рационального энергонасыщения горных пород, обусловленный характером распределения энергии взрыва заряда взрывчатого вещества в горной породе по видам работы. Это позволяет аналитически определить диссипативные потери энергии взрыва, связанные с переизмельчением горной породы, величину энергии на выполнение работы дробления и перемещения горной массы. Соотношения между различными видами работы взрыва дают возможность рассчитать величину оптимальной плотности заряжения для конкретных взрывчатых веществ и горных пород, обеспечивающую комплексное энерго- и ресурсосбережение при ведении открытых горных работ.

Ключевые слова: взрывоподготовка, ресурсосбережение, переизмельчение, энергия взрыва, средства взрывного дробления, критерий рационального энергонасыщения, продукты взрыва, предел прочности.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время энерго и ресурсосбережение являются одними из приоритетных направлений повышения эффективности работы промышленных предприятий. Это в полной мере относится к предприятиям горнодобывающей промышленности, в частности, к одному из основных технологических процессов открытых горных работ – взрывоподготовке скальных массивов полезного ископаемого.

Имеющиеся данные [1, 2] о реальных потерях минерального сырья как в процессе взрывоподготовки, так и на последующих стадиях технологической переработки свидетельствуют об их низкой эффективности и высокой энергоемкости процесса разрушения горных пород энергией взрыва. Несмотря на значительные достижения в области управления действием взрыва, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых, например известняков и доломитов, горные предприятия теряют от 20 до 30% продукции в результате переизмельчения горной массы в процессе взрывной и механической подготовки [3]. В настоящее время более 5,0 млн.т/год полезных ископаемых на карьерах Донбасса теряется за счет переизмельчения на стадии взрывоподготовки [4].

Таким образом, совершенствование технологического процесса взрывоподготовки на основе рационального использования энергии взрывчатых веществ (ВВ) и сокращения потерь полезного ископаемого (ресурсосбережение), является актуальной научно-технической проблемой.

Анализ исследований и публикаций. Существующие требования к процессу взрывоподготовки и применяемая технология ведения буровзрывных работ (БВР) не позволяют успешно решать вопросы комплексного сбережения минеральных и энергетических ресурсов [1].

Изучению процесса разрушения горных пород энергией взрыва посвящено достаточное количество работ Н.В. Мельникова, Б.Н. Кутузова, Э.И. Ефремова, В.М. Комира, А.Н. Ханукаева, М.Ф. Друкованного и многих других ученых и специалистов-практиков [1, 2, 5-8 и др.]. При этом одним из основных вопросов исследования является зависимость между энергией, затраченной на разрушение горной породы и ее физическими параметрами при требуемом качестве дробления.

В последние годы созданы и нашли широкое применение ряд эффективных средств взрывного дробления горных пород и методов управления действием взрыва. Однако, как показывает практика открытых горных работ, они в своей основе не преследовали целей комплексного ресурсосбережения, будучи использованы для конкретных целей и в конкретных условиях.

Постановка задачи. Целью данной работы является обоснование критерия рационального энергонасыщения¹ горных пород в процессе разрушения их энергией взрыва, обеспечивающего комплексное энерго и ресурсосбережение.

Изложение материала и результаты. Процесс воздействия заряда ВВ на горную породу и определение условий ее рационального энергонасыщения рассмотрим на примере взрыва заряда камуфлета. При этом примем следующие допущения:

- расширение зарядной полости от начального объема V_n до конечного V_k оценивается по изменению внутренней энергии продуктов взрыва (ПВ);
- между ПВ и горной породой отсутствует теплообмен, а проникновение их в трещины в процессе расширения вследствие кратковременности процесса – незначительно;
- момент начала расширения зарядной полости характеризуется полным превращением ВВ в ПВ и установлением среднего давления;
- изменение внутренней энергии ПВ будет происходить равномерно по всему объему.

Для определения величины энергии взрыва, затрачиваемой на дробление горной породы, введен прочностной параметр среды P_{max} [9] считая, что максимальная полезная работа при заданной энергии, расходуемой на расширение зарядной полости, может быть достигнута только в том случае, когда в каждый момент времени давление ПВ будет уравновешено силами прочности среды.

Допустим, что P_{max} (по В.Н. Родионову) соответствует динамическому пределу прочности горной породы на сжатие $\sigma_{дин}$ [10-12], величина которого определяется по выражению [10]

$$\sigma_{дин} = k\sigma_{ст},$$

где $\sigma_{ст}$ – статический предел прочности горной породы на одноосное сжатие, Па;

k – коэффициент, учитывающий скорость изменения компонент тензора деформаций, диаметр образца и скорость продольных волн.

Явление повышения прочности горных пород при увеличении скорости нагружения отмечено и другими авторами [13]. Развивая это положение, можно допустить, что диапазон изменения прочностных характеристик горных пород лежит в пределах от $\sigma_{дин}$ до $\sigma_{ст}$ и дробление последних будет происходить в этом диапазоне изменения давления взрывного нагружения. Причем, предельное значение $k = 11$ при скорости изменения компонент тензора деформаций стремящейся к бесконечности [10].

Установлено [12], что прочность горных пород линейно связана с логарифмом времени нагружения

$$\ln t = A - B\sigma,$$

где t – время (долговечность) существования образца породы до разрушения, с;

σ – амплитуда нагружения, численно равная пределу прочности породы при времени нагружения t , Па;

A, B – константы, зависящие от состава пород, их свойств и температуры (здесь B [Па⁻¹]).

Значение предельной динамической прочности

¹ Энергонасыщение – процесс передачи определенного количества энергии взрыва в скальную среду, характеризующийся различным распределением этой энергии по видам работы, совершаемой взрывом. Соответствие этого распределения реальным условиям разрушения определяется параметрами нагружения среды и ее физико-техническими свойствами [14].

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{(A - \ln t)}{B}.$$

Между предельной динамической и статической прочностями горных пород отмечается устойчивая корреляционная связь линейного вида [12]

$$\sigma_{\text{пр}} = 10,625\sigma_0,$$

где σ_0 – статическая прочность породы при одноосном сжатии, Па.

Для рассмотрения процесса воздействия взрыва заряда ВВ на горную породу построим изоэнтропу расширения ПВ (рис.1) в логарифмической системе координат $P-V$ (с указанием величин $\sigma_{\text{дин}}$ и $\sigma_{\text{ст}}$ для горной породы), т.к. в соответствии с принятым нами допущением, мы условились оценивать расширение зарядной полости по изменению внутренней энергии ПВ [14].

Процесс воздействия взрыва заряда ВВ на горную породу можно представить следующим образом. После окончания процесса детонации ВВ в зарядной полости установится среднее давление P_n , величина которого почти на порядок, а иногда и более превышает значение $\sigma_{\text{дин}}$. Это превышение давления вызывает переизмельчение горной породы в ближней зоне, непосредственно прилегающей к заряду ВВ.

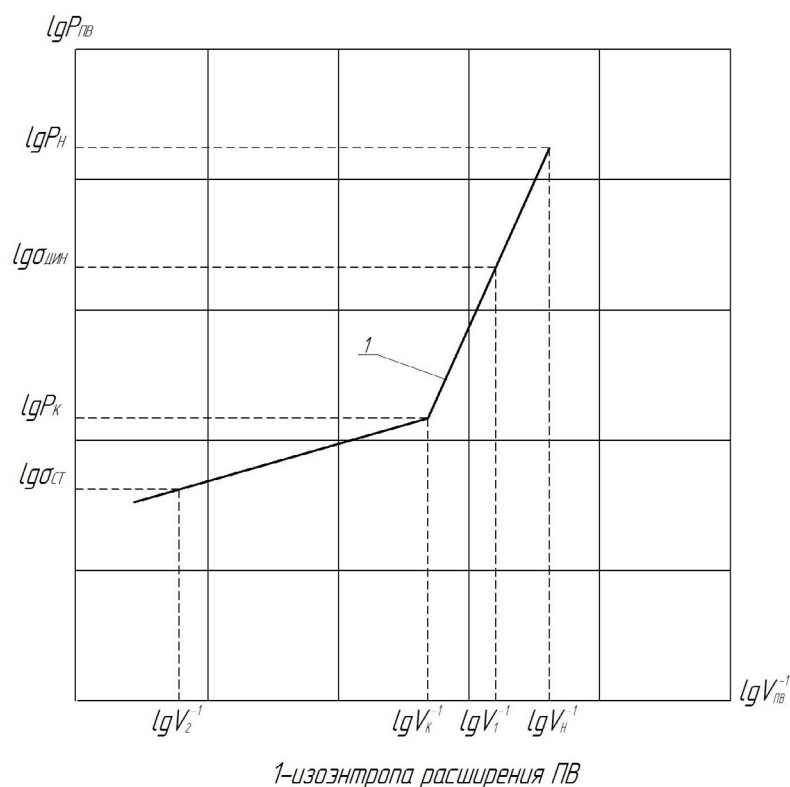


Рис.1. Изменение давления ПВ в зарядной полости

При расширении полости давление ПВ $P_{\text{пв}}$ в ней начнет падать, и при снижении его до величины $P_{\text{пв}} = \sigma_{\text{дин}}$ начнется процесс дробления горной породы, который будет продолжаться пока величина $P_{\text{пв}}$ не станет равной $\sigma_{\text{ст}}$. В этот момент давление ПВ в полости будет уравновешено силами прочности среды, и расширение полости прекратится.

На рис.1 видно, что изменение объема полости от V_n , которому соответствует давление ПВ равное P_n до объема V_1 , с давлением ПВ равным $\sigma_{\text{дин}}$, сопровождается диссипативными потерями

энергии взрыва, вызывающими переизмельчение горной породы. Дальнейшее изменение объема полости от V_1 , которому соответствует давление ПВ равное $\sigma_{дин}$ до объема V_2 , с давлением ПВ равным $\sigma_{ст}$, соответствует работе дробления. Оставшаяся в полости объемом V_2 доля энергии ПВ в случае камуфлета безвозвратно теряется, а при взрыве скважинного заряда ВВ используется на перемещение разрушенной горной породы при расширении ПВ от давления, соответствующего объему V_2 до давления окружающей среды.

Приведенный анализ позволяет установить критерий достижения рационального энергонасыщения горных пород. Этот критерий обусловлен характером распределения энергии взрыва заряда ВВ в горной породе по видам работы.

Таким образом, критерий рационального энергонасыщения горных пород – это:

- максимум затрат энергии взрыва заряда ВВ на работу дробления в диапазоне давления, создаваемого ПВ, от $P_{пв} = \sigma_{дин}$ до $P_{пв} = \sigma_{ст}$ для конкретных сочетаний типов ВВ и видов горных пород;
- отсутствие диссипативных потерь (переизмельчение горной породы) в диапазоне давлений ПВ ($P_{н...P_{пв}} = \sigma_{дин}$);
- минимальные затраты энергии взрыва на перемещение раздробленной горной породы в диапазоне давлений ПВ от $P_{пв} = \sigma_{ст}$ до атмосферного давления.

При этом следует учесть, что некоторое переизмельчение горной породы в ближней зоне всегда будет иметь место вследствие воздействия детонационной волны (ДВ) на стенки зарядной полости.

Выводы и направления дальнейших исследований. Рассмотрение процесса воздействия взрыва заряда ВВ на горную породу с выделением в нем 3-х стадий, сопряженных с прочностными свойствами горных пород, позволяет:

- обосновать критерий рационального энергонасыщения горных пород, обеспечивающий комплексное энерго и ресурсосбережение;
- определить диссипативные потери энергии взрыва или же ее затраты на выполнение работы по переизмельчению горной породы ($A_{дис}$, Дж/кг);
- определить величину энергии на выполнение работы дробления горной породы ($A_{др}$, Дж/кг);
- определить величину энергии на выполнение работы по перемещению дробленной горной массы ($A_{ост}$, Дж/кг);
- установить соотношения между различными видами работы взрыва;
- определить величину оптимальной плотности заряжания для конкретных ВВ и горных пород, обеспечивающую максимальный расход энергии взрыва заряда ВВ на выполнение работы дробления.

Библиографический список

1. Ресурсосберегающие технологии взрывного разрушения горных пород / [Э.И. Ефремов, В.М. Комир, И.А. Краснопольский, В.П. Мартыненко]. – К.: Техника, 1990. – 149 с.
2. Комир В.М. Совершенствование работы предприятий по производству щебня / В.М. Комир, В.Г. Назаренко. – К.: Будивельник, 1985. – 80 с., ил. – Библиогр.: 3-я с. обл.
3. Возможности повышения эффективности взрывоподготовки флюсового сырья на карьерах Докучаевского ФДК / [Е.Г. Баранов, И.И. Клочко, Э.А. Петелин, А.Ф. Грибовода] // Огнеупоры. – 1991. – №12. – С.19-21.
4. Клочко И.И. Повышение выхода готовой продукции на карьерах строительных материалов и флюсового сырья на стадии взрывоподготовки / И.И. Клочко, Э.И. Пирич, Н.В. Монастырев // Материалы научно-практической конференции “Донбасс – 2020 : наука и техника – производству”, (г. Донецк, 5 – 6 января 2002 г.). – Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 203 – 206.
5. Теория и практика открытых разработок / под общ. ред. акад. Н. В. Мельникова. - М.: Недра, 1973. – 636 с.
6. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов / Б.Н. Кутузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МНИ, 1992. - 516 с.
7. Подготовка горной массы на карьерах / Э. И. Ефремов. - М.: Недра, 1980. – 271 с.
8. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А.Н. Ханукаев. - М.: Недра, 1974. – 224 с.

9. Родионов В.Н. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде / В.Н. Родионов // Взрывное дело. – 1963. – № 51/18. – С. 50-60.
10. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках / А.В. Михалюк. – К.: Наук.думка, 1980. – 154 с.
11. Михалюк А.В. Об оптимальной плотности заряжания при проходке подземных сооружений взрывом в сжимаемых грунтах / А.В. Михалюк, К.А. Гундарев; отв. ред. В.В. Недин // Взрыв в пористых и дисперсных средах: сб. науч. тр. / Ин-т геотехн. механики. – К.: Наук. думка. 1969. – С.53-59.
12. Михалюк А.В. Прогноз динамической прочности горных пород / А.В. Михалюк, Н.И. Лобода // Изв. вузов. Горный журнал. – 1989. – №7. – С. 10-14.
13. Деформационные свойства горных пород при высоких давлениях и температурах / [Л.А. Шрейнер, Б.В. Байдюк, Н.Н. Павлова и др.]. – М.: Недра, 1968. – 358 с.
14. Петелин Э.А. Разработка высокоэффективных средств взрывного дробления скальных массивов с учетом их энергонасыщения: Дис...канд.техн.наук: спец. 05.15.11 / Петелин Эдуард Анатоліевич; Днепропетровский горный ин-т. – Днепропетровск, 1993. – 170 с.

Надійшла до редакції 10.05.2013

Е. А. Петелін

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна
Красноармійський індустріальний інститут, Красноармійськ, Україна*

Про критерій раціонального енергонасичення гірничих порід

Розглянута взаємодія продуктів вибуху заряду вибухової речовини з гірничою породою у взаємозв'язку з її механічними властивостями. Припускається, що руйнування гірничих порід без перездрібнювання відбувається під дією тиску продуктів вибуху в зарядній порожнині, що змінюються в діапазоні від динамічної до статичної межі міцності гірничої породи на стиснення. Створення тиску продуктів вибуху в зарядній порожнині вище динамічної межі міцності гірничої породи на стиснення веде до втрат мінеральних ресурсів. Обґрунтовано критерій раціонального енергонасичення гірничих порід, обумовлений характером розподілу енергії вибуху заряду вибухової речовини в гірничій породі по видах роботи. Це дозволяє аналітично визначити дисипативні втрати енергії вибуху, пов'язані з перездрібнюванням гірничої породи, величину енергії на виконання роботи дроблення й переміщення гірничої маси. Співвідношення між різними видами роботи вибуху дають можливість розрахувати величину оптимальної щільності заряджання для конкретних вибухових речовин і гірничих порід, що забезпечує комплексне енерго- та ресурсозбереження при веденні відкритих гірничих робіт.

Ключові слова: вибухопідготовка, ресурсозбереження, перездрібнювання, енергія вибуху, засоби підривного дроблення, межа міцності, продукти вибуху, критерій раціонального енергонасичення.

Е. А. Petelin

*Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine
Krasnoarmiysk Industrial Institute, Krasnoarmiysk, Ukraine*

About criteria of rational energo-saturation of mine rocks

The author considers the interaction of the products of explosion of the explosive charge with the mine rocks in relation to its mechanical properties. It is assumed that the destruction of rocks without overgrinding occurs under the pressure of the explosion products in the charge cavity, that is varying in the range from dynamic to static limits of strength of mine rocks in compression. Creating pressure of the explosion products in the charge cavity above the dynamic limit strength of the mine rocks in compression leads to the loss of mineral resources. We justified a criterion of rational energo-saturation of mine rocks caused by the nature of the distribution of energy of the explosion of an explosive charge in the rocks by type of operation. This allows to analytically determine the dissipative losses of explosive energy that are associated with rocks overgrinding, the amount of energy to do the work of crushing and moving the rocks. The relationships between the different types of operation of explosion enable to calculate the optimal density of charging for specific explosives and mine rocks, providing comprehensive saving of mineral and energy resources during open cast mining.

Keywords: rock blasting, resource saving, re-crushing, energy of explosion, means of explosive crushing, strength limit, products of explosion, criterion of rational energo-saturation of mine rocks.