

Rakishev, B. R. and Moldabayev, S. K. (2014). Regarding the selection of dumping station construction and parameters of concentration horizon. *12th International Symposium Continuous Surface Mining*. Aachen, Germany, pp. 459-471.

4. Молдабаев С. К. Эффективное использование мощных экскаваторно-автомобильных комплексов в глубоких карьерах [Электронный ресурс] / С. К. Молдабаев, Ж. Ж. Султанбекова, Е. Абен // Инновации для бизнеса России и Казахстана: материалы Форума инновационных бизнес-лидеров Российской Федерации и Республики Казахстан. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Федер. ун-та, 2015. – С. 44-53.

Moldabaev, S. K., Sultanbekova Zh. Zh. and Aben Y. (2015). Effective use of powerful excavator-automobile complexes in deep pits. *The materials of the Forum of innovative business leaders of the Russian Federation and the Republic of Kazakhstan*, Yekaterinburg, Russia, pp. 44-53.

Purpose. Testing of the algorithm to optimize the position of a working Board in the development stages of the lower part of Stripping zone career considering keeping the required ratio between the low-ash and high-ash coal in open stockpiles.

Findings. The article describes the method of transition to working off high ledges lateral panels with two levels of standing of excavators to construction of temporary access roadways on the flanks of the quarry field. The algorithm was developed to optimize the position of the lower part of Stripping zone under the new order of its mining with the use of the excavator-automobile complexes.

Originality. In one algorithm, combined optimization mode of mining operations and scheduling of mining operations, allowing to establish the optimum value of the width of the lateral panels at a minimum sufficient volume of overburden removal for a given performance career in commercial minerals.

Practical value. Optimized the position of the working Board on the proposed scheme of development of the lower part of the Stripping zone to the open pit depth is 350 m, compared with the design layout reduces the volume of overburden for 16 years, 209 million m³. The value of the average operating strip ratio reduced from 2.4 to 1.75 m³/t (27.1%).

Key words: coal mine, inclined falling of layers, cyclic-flow and flow technology, heating Board, cross Board, high ledges, regime of mining works.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 03.10.2016



УДК 622.272

Наука

С. В. Тищенко /д. т. н./, Г. И. Еременко /к. т. н./

Криворожский национальный университет,
г. Кривой Рог, Украина

Д. Ю. Малых

ПАО «ИНГОК», г. Кривой Рог, Украина

Определение импульсного воздействия взрыва скважинного заряда на разрушаемый горный массив

S. V. Tishchenko /Dr. Sci. (Tech.),

G. I. Eremenko /Cand. Sci. (Tech.)/

D. Yu. Malych

Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih,
Ukraine

PJSC "InGOK", Kryvyi Rih, Ukraine

Determination of pulse impact of the explosion of blasthole charges on destroying the rock mass

Цель. На железорудных карьерах ежегодно увеличивается удельный вес ведения горных работ на нижних горизонтах, а соответственно, и буровзрывных работ.

Методика. Существующие методы ведения взрывных работ на железорудных карьерах в некоторой степени позволяют достичь необходимого качества взорванной горной массы.

Результаты. Этого достигают путем изменения параметров буровзрывных работ и увеличения удельного расхода взрывчатых материалов. При этом в отдельных случаях, наблюдается увеличение

выхода негабаритной фракции и увеличение мелкой фракции за счет неэффективного использования энергии взрыва.

Научная новизна. Поэтому совершенствование буровзрывных работ для улучшения качества дробления горной массы и повышения эффективности всех звеньев горного производства является весьма актуальным.

Сплошную среду в виде горного массива будем рассматривать как абсолютно несжимаемую, пренебрегая изменением ее объема. Вторым условием является допущение, что взрыв скважинного заряда происходит мгновенно.

Энергия, выделяющаяся при взрыве, имеет конечную величину, поэтому и кинетическая энергия среды также будет конечной. Это обуславливает конечные значения скоростей частиц среды. При условии мгновенного действия взрыва частицы среды лишь получают некоторую начальную скорость, с которой будут двигаться уже после того, как закончится фаза импульсного действия взрыва.

Практическая значимость. Получены закономерности импульсного действия, которое передается разрушающей среде. Установлена зависимость между плотностью энергии и начальным полем скоростей в разрушающей среде. (Ил. 1. Библиогр.: 9 назв.)

Ключевые слова: взрыв, баланс энергии, скважинный заряд, горный массив.

На железорудных карьерах ежегодно увеличивается удельный вес ведения горных работ на нижних горизонтах, а соответственно, и буровзрывных работ.

Существующие методы ведения взрывных работ на железорудных карьерах в некоторой степени позволяют достичь необходимого качества взорванной горной массы. Этого достигают путем изменения параметров буровзрывных работ и увеличения удельного расхода взрывчатых материалов. При этом в отдельных случаях, наблюдается увеличение выхода негабаритной фракции и увеличение мелкой фракции за счет неэффективного использования энергии взрыва. Поэтому совершенствование буровзрывных работ для улучшения качества дробления горной массы и повышения эффективности всех звеньев горного производства является весьма актуальными.

Сплошную среду в виде горного массива будем рассматривать как абсолютно несжимаемую, пренебрегая изменением ее объема. Вторым условием является допущение, что взрыв скважинного заряда происходит мгновенно.

Энергия, выделяющаяся при взрыве, имеет конечную величину, поэтому и кинетическая энергия среды также будет конечной. Это обуславливает конечные значения скоростей частиц среды. При условии мгновенного действия взрыва частицы среды лишь получают некоторую начальную скорость, с которой будут двигаться уже после того, как закончится фаза импульсного действия взрыва.

Рассмотрим в прямоугольной системе координат вокруг произвольной точки среды элементарный прямоугольный параллелепипед, ребра которого расположены параллельно осям координат декартовой системы и равны, соответственно, dx , dy , dz . Пользуясь методикой, изложенной в работах [1; 2], координаты вектора начальной скорости для произвольной точки обозначим $U_0(u_x, u_y, u_z)$.

Рассмотрим движение среды в объеме параллелепипеда. На его грани, которые расположены перпендикулярно оси Ox , при взрыве будет действовать импульсное давление. На ближнюю грань – давление P , на грань, расположенную и находящуюся от нее на расстоянии dx : $P + \frac{\partial P}{\partial x}$. Поскольку площади этих граней равны $dy \cdot dz$, то силы, действующие на эти грани, соответственно, будут равны:

$$F_1 = P \cdot dy \cdot dz ;$$

$$F_2 = \left(P + \frac{\partial P}{\partial x} dx \right) \cdot dy \cdot dz.$$

Отсюда равнодействующая F этих сил определяется как:

$$F = F_1 - F_2 = \frac{\partial P}{\partial x} dx \cdot dy \cdot dz. \quad (1)$$

Рассмотрим ускорение, возникающее в среде в результате импульсного воздействия взрыва.

При этом отметим, что масса, заключенная внутри рассматриваемого объема среды, равна:

$$m = \rho dx dy dz, \quad (2)$$

где ρ – плотность среды; dx , dy , dz – объем параллелепипеда.

Ускорение в направлении оси Ox равно изменению в единицу времени скорости $\frac{du_x}{dt}$. Так как сила равна произведению массы на ускорение, то с учетом формул (1) и (2) получаем:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \rho \frac{du_x}{dt} \quad \text{или} \quad \frac{du_x}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}. \quad (3)$$

Рассуждая аналогично при рассмотрении граней, перпендикулярных осям Oy и Oz , получим:

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} \quad (4)$$

$$\frac{du_z}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z}. \quad (5)$$

Уравнения (3)–(5) проинтегрируем по времени. Рассмотрим уравнение (3). В момент времени $t = 0$, т. е. до взрыва, среда находится в покое.

При импульсном воздействии взрыва, скорость получает значение \bar{U}_0 . Преобразуем выражение (3):

$$u_x = \frac{1}{\rho} \int_0^t \frac{\partial p}{\partial x} dt. \quad (6)$$

Меняя порядок интегрирования и дифференцирования в выражении (6), получим:

$$u_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} \int_0^t P dt \right). \quad (7)$$

Интеграл, стоящий в правой части формулы (7), определяет величину удельного импульса взрывного воздействия на среду $i = \int_0^t P dt$.

Следовательно, имеем, что $u_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\rho} i \right)$.

А так как мы рассматриваем абсолютно несжимаемую среду, то в этом случае плотность среды остается постоянной вокруг каждой движущейся частицы $\rho = const$. Поэтому окончательно имеем $u_x = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial x}$.

Аналогично рассуждая, получим и остальные координаты вектора \bar{U}_0 :

$$u_y = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial y},$$

$$u_z = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial z}.$$

Следовательно, координаты вектора начальной скорости \bar{U}_0 для произвольной точки среды, воспринявшей действие импульсной взрывной нагрузки, могут быть определены как:

$$\bar{U}_0 = (i'_x \ i'_y \ i'_z).$$

Тогда величина начальной скорости определяется как:

$$\bar{U}_0 = \sqrt{i_x'^2 + i_y'^2 + i_z'^2}.$$

Таким образом, образование поля скоростей и связанного с ним количества движения, должно отвечать импульсу внешних сил. Так как при взрыве скважинного заряда взрывчатого вещества передается конечное количество кинетической энергии, то и образующееся количество движения, а следовательно, и импульс взрыва имеют конечные значения. На поверхности заряда значение i можно считать постоянным. Это условие выполняется, если зарядная камера равномерно заполнена взрывчатым веществом и детонация последнего приближается к мгновенной.

В этом случае давление от взрыва оказывает одинаковое воздействие на все участки поверхности зарядной камеры скважинного заряда. Численное значение удельного импульса взрыва определяется по балансу энергии, сообщаемой взрывом среде.

Исследуем взаимосвязь между распределением энергии взрыва в среде и величиной удельного импульса взрывной энергии. Кинетическая энергия среды образуется исключительно за счет энергии, сообщаемой разрушаемой среде взрывом скважинного заряда ВВ. Энергия, сообщаемая среде взрывом заряда, согласно закону сохранения, должна быть равна работе, произведенной при передаче энергии. Если обозначить элемент поверхности скважинного заряда через dS , а давление во взрывной камере через P , то сила, действующая на рассматриваемую поверхность, будет равна $P \cdot dS$. Соответственно, элементарная работа dA будет определяться как $dA = PhdL$, где h – соответствующие смещения. С учетом продолжительности действия взрыва t последнее выражение примет вид:

$$dA = Pt \frac{h}{t} dL. \quad (8)$$

Так как произведение $P \cdot t$ равно локальному удельному импульсу i , частное h/t равно среднему значению нормальной составляющей скорости $v/2$, то выражение (8) можно записать как $dA = \frac{iv}{2} dL$. Скорость v может быть определена как производная от i по нормам \bar{n} и поверхности L , т. е. $v = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial n}$, и тогда окончательно имеем:

$$dA = \frac{i}{2\rho} \cdot \frac{\partial i}{\partial n} dL. \quad (9)$$

Поверхностный интеграл по всей поверхности L , $Q = \int_L dA$ дает полную энергию среды и с учетом формулы (9) значение кинетической энергии, полученной средой, может быть определено как:

$$Q = \frac{i}{2\rho} \int_L \frac{\partial i}{\partial n} dL. \quad (10)$$

Исследуем распределение энергии взрыва в среде. Плотность энергии q согласно [3–5] определяется как:

$$q = \frac{\rho}{2} (\varphi_x'^2 + \varphi_y'^2 + \varphi_z'^2). \quad (11)$$

Принимая во внимание, что $\varphi = i/\rho$ и $\rho = const$, для конкретной среды имеем

$$q = \frac{1}{2\rho} (i_x'^2 + i_y'^2 + i_z'^2). \quad (12)$$

Формула (12) устанавливает взаимосвязь между плотностью энергии, аккумулялированной

средой после взрыва, и величиной начального удельного импульса в любой точке с координатами x, y, z . Так как величина начальной скорости, возникающей в среде после взрыва, непосредственно связана с импульсом внешних сил, то формула (12) может быть записана в виде:

$$q = \frac{\rho}{2} |\overline{U_0}|^2. \quad (13)$$

Из выражения (13) следует, что плотность энергии в произвольной точке разрушаемой среды прямо пропорциональна квадрату величины начальной скорости в этой точке, полученной в результате импульсного взрывного воздействия заряда взрывчатого вещества.

Графически зависимость (13) представлена на рис. 1, где $c_i=c(\rho)$ функционально зависит от плотности рассматриваемой среды [3].

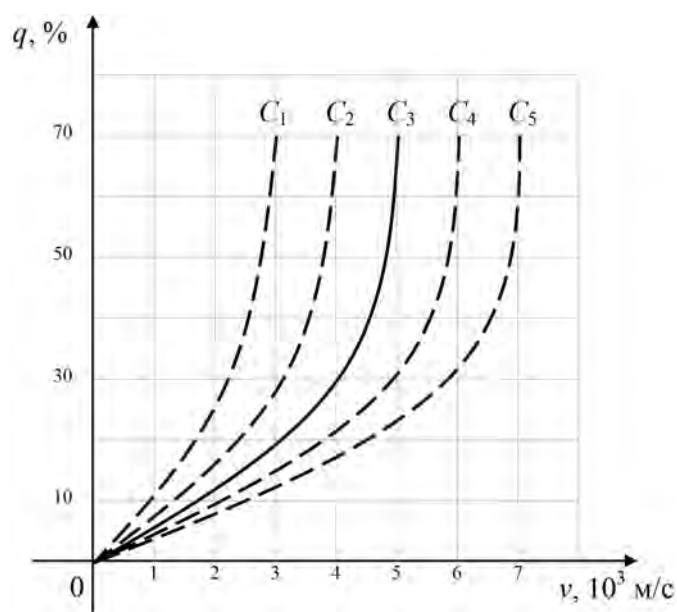


Рис. 1. Зависимость между плотностью энергии и начальным полем скоростей в разрушаемой среде

Согласно [5; 7-9] величина энергии дробления при изменении размера куска от X до x равна:

$$W = A \int_x^X x^{-k} dx.$$

Выводы

1. Получены закономерности импульсного воздействия взрыва, связанного с общим балансом энергии, сообщаемой разрушаемой среде. Они могут служить шкалой оценки эффективности разрушающего действия скважинных зарядов, взрывааемых одновременно или через определенное замедление.

2. Установлена зависимость между плотностью энергии и начальным полем скоростей в разрушаемой среде.

Библиографический список / References

1. Физика взрыва / Ф. А. Баум, Л. П. Орленко, К. П. Станюкович [и др.]; под. ред. К. П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 407 с.

Baum F. A., Orlenko L. P., Stanyukovich K. P. *Fizika vzryva*. Moscow, Nauka, 1975, 407 p.

2. Жуков С. А. Физические процессы взрывных геотехнологий / С. А. Жуков, С. В. Тищенко. – Кривой Рог: Минерал, 2007. – 212 с.

Zhukov S. A., Tishchenko S. V. *Fizicheskie protsessy vzryvnykh geotekhnologiy*. Krivoy Rog, Mineral, 2007, 212 p.

3. Родионов В. Н. К вопросу о повышении эффективности взрыва в твердой среде / В. Н. Родионов. – М.: Изд-во ИГД АН СССР, 1962. – 29 с.

Rodionov V. N. *K voprosu o povyshenii effektivnosti vzryva v tverдой srede*. Moscow, IGD AN SSSR, 1962, 29 p.

4. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом / А. Н. Ханукаев. – М.: Госгортехиздат, 1962. – 200 с.

Khanukaev A. N. *Energiya voln napryazheniy pri razrushenii porod vzryvom*. Moscow, Gosgortekhizdat, 1962, 200 p.

5. Ханукаев А. Н. Физические процессы при отбойке горных пород взрывом / А. Н. Ханукаев. – М.: Недра, 1974. – 224 с.

Khanukaev A. N. *Fizicheskie protsessy pri otboike gornyykh porod vzryvom*. Moscow, Nedra, 1974, 224 p.

6. Мосинец В. Н. Разрушение трещиноватых и нарушенных горных пород / В. Н. Мосинец, А. В. Абрамов. – М.: Недра, 1982. – 248 с.

Mosinets V. N., Abramov A. V. *Razrushenie treshchinovatykh i narushennykh gornyykh porod*. Moscow, Nedra, 1982, 248 p.

7. Демидюк Г. П. Современное представление о действии взрыва в среде / Г. П. Демидюк // Буровзрывные работы в горной промышленности. – М.: Госгортехиздат, 1962. – С. 223-240.

Demidyuk G. P. *Sovremennoe predstavlenie o deystvii vzryva v srede*. Burovzryvnye raboty v gornoy promyshlennosti. Moscow, Gosgortekhizdat, 1962, pp. 223-240.

7. Демидюк Г. П. К вопросу управлением действием взрыва скважинных зарядов / Г. П. Демидюк // Взрывное дело. – М.: Недра, 1964. – Вып. 54/11. – С. 174-185.

Demidyuk G. P. *K voprosu upravleniem deystviem vzryva skvazhinnykh zaryadov*. Vzryvnoe delo. – Moscow, Nedra, 1964, issue 54/11, pp. 174-185.

8. Кутузов Б. Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород / Б. Н. Кутузов. – М.: Недра, 1973. – 210 с.

Kutuzov B. N. *Vzryvnoe i mekhanicheskoe razrushenie gornyykh porod*. Moscow, Nedra, 1973, 210 p.

9. Тищенко С. В. Вплив енергії вибуху на процес тріщиноутворення у гірському масиві / С. В. Тищенко, С. О. Жуков // Вісник ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – № 2 (26). – С. 232–234.

Tishchenko S. V., Zhukov S. O. Vpliv energii vibukhu na protses trishchinoutvorenniya u girs'komu masivi. Visnik ZhDTU. Zhitomir, ZhDTU, 2003, no. 2 (26), pp. 232-234.

Purpose. In the iron ore quarries annually increases the proportion of mining operations at the lower levels, and accordingly burovzryv-tion works.

Methodology. Existing methods of blasting for iron-ore quarries to some extent allow to achieve the necessary ka-operation blasted rock mass.

Findings. This is achieved by changing parameters burovzryv-tion of work and increase the specific consumption of explosive materials. At the same time, in some cases, observed an increase in output and an increase in the fraction of oversized fines due to inefficient uses of energy of the explosion.

Originality. Therefore, improving drilling and blasting operations to improve the quality of the rock mass fragmentation and improve efficiency-sti of all parts of the mining industry are highly relevant.

Continuous medium, in the form of a mountain range, will be considered as ab-lutely incompressible, neglecting the change of its volume. The second condition is the assumption that a downhole charge explosion occurs instantly.

The energy released in the explosion, has a finite value, and therefore the kinetic energy of the environment will also be finite. This leads to the finite values-medium particle velocities. Assuming an instantaneous explosion of particles of the medium action just get some initial velocity, which will move after you have finished the phase of the pulse action of the explosion.

Practical value. Regularities pulsed, which is transmitted destructive environment. The dependence between the energy density and the initial velocity field in a destructive environment.

Key words: blast, energy balance, downhole charge massif.

Рекомендована к публикации
д. т. н. М. С. Четвериком

Поступила 04.10.2016

