

Д. Ю. Малых

ООО «МЕТИНВЕСТ ХОЛДИНГ», г. Киев,  
Украина

## Разрушения горных пород линейно дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ

D. Yu. Malih

«METINVEST HOLDING» LLC, Kyiv, Ukraine

### The destruction of rocks by linearly differentiated wells

**Цель.** Повышение эффективности отбойки горных пород на основе использования скважинных зарядов с линейно дифференцированной взрывчатых веществ (ВВ), при разработке железорудных месторождений открытым способом.

**Методика.** Для решения поставленных задач использована комплексная методика исследований, которая включает анализ информационных источников и мировой опыт в сфере передовых технологий ведения взрывных работ, теоретические исследования.

**Результаты.** Разработаны типичные паспорта буроподрывных работ с использованием разработанного нового способа разрушения горных пород с рассредоточенным размещением скважинных зарядов ВВ по высоте уступа.

**Научная новизна.** Установлена закономерность рационального формирования в скважинных зарядах, начиная со второго ряда скважин, инертных промежутков и перебуров, причем рост последних по рядам в зарядах ВВ происходит на величину, пропорциональную коэффициенту линейной дифференциации зарядов ВВ ( $m = 0,025f$ ).

**Практическая значимость.** Разработан новый способ разрушения горных пород с использованием скважинных зарядов ВВ рассредоточенных по высоте уступа на железорудных карьерах (патент Украины № 84967 от 11.11.2013 г. на полезную модель), предложена технология взрывной уступной отбойки горных пород с использованием нового способа разрушения горных пород с рассредоточенными по высоте уступа скважинными зарядами ВВ. (Ил. 3. Библиогр.: 8 назв.)

**Ключевые слова:** горный массив, скважинные заряды ВВ, энергия взрыва, импульс.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Причиной, усложняющей обеспечение горного производства качественно взорванной горной массой, является нарушение естественной структуры горного массива предыдущими взрывами. В сложившихся условиях область массива, примыкающая к свободным поверхностям разрушаемого уступа горных пород, часто является зоной нерегулируемого дробления. С другой стороны, постоянный рост себестоимости работ по буровзрывному комплексу, широкое внедрение новых взрывчатых материалов требует новых решений в технологии ведения взрывных работ.

Для решения данной задачи был разработан способ разрушения горных пород скважинными зарядами с линейно дифференцированным ВВ. Во взрывном деле разработано много технологических приемов, позволяющих управлять действием взрыва в зависимости от конкретных горно-геологических условий ведения взрывных работ. Для получения необходимого результата

варьируют пространственным расположением зарядов ВВ в горном массиве, временем их последовательного взрывания, конструкцией зарядов [1–4].

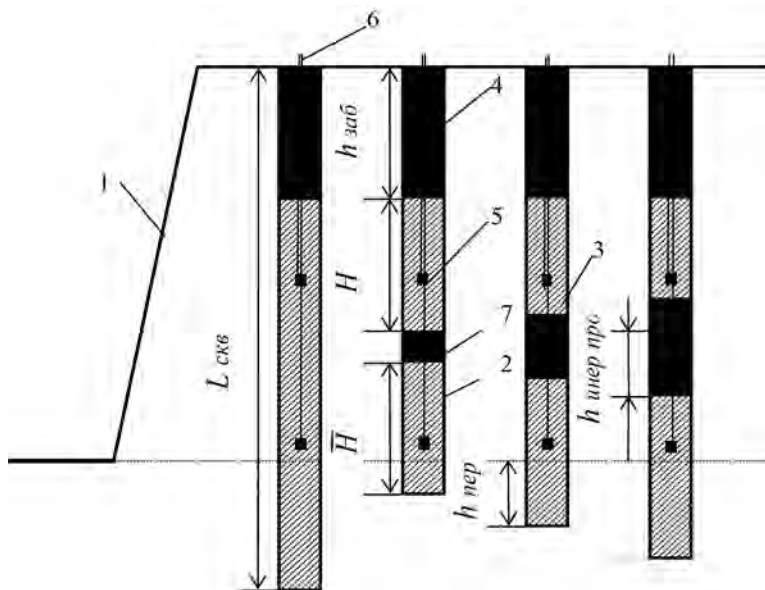
Разработанный способ заключается в следующем (рис. 1). При разработке рудного тела бурят скважины 2 и формируют в них заряды ВВ 3. Скважины на уступе 1 бурятся в соответствии с разработанным паспортом буровзрывных работ, исходя из технологии ведения горных работ и физико-механических свойств горных пород.

В разработанном способе взрывного разрушения горных пород бурение скважин и формирование скважинных зарядов проводят при выполнении условий:

$$H \geq \bar{H}$$

где  $H$  – длина верхнего заряда ВВ, м;  $\bar{H}$  – длина нижнего заряда ВВ (м).

Длина каждого последующего инертного промежутка и перебура, начиная со второго ряда, определяют из уравнения:



**Рис. 1. Способ разрушения горных пород скважинными зарядами с линейно дифференцированным ВВ:**

1 – уступ; 2 – скважины; 3 – взрывчатое вещество(ВВ); 4 – забойка; 5 – промежуточный детонатор; 6 – волноводы; 7 – инертный промежуток

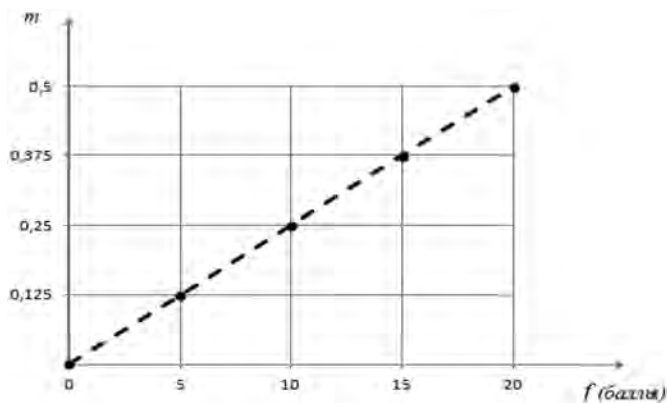
$$h_i = \bar{h}_i = h_0 + m(i - 2), \quad (i = 2, 3, \dots)$$

$$m = 0,025f$$

где  $h_0$  – минимально допустимая длина инертного промежутка по паспорту БВР,  $m$ ;  $\bar{h}_i$  – длина инертного промежутка  $i$ -й скважины,  $m$ ;  $h_i$  – длина перебура  $i$ -й скважины,  $m$ ;  $m$  – коэффициент линейной дифференциации зарядов ВВ;  $f$  – коэффициент крепости горных пород по шкале проф. М. М. Протоdjeяконова.

На рис. 2 представлена связь между коэффициентом линейной дифференциации зарядов ВВ и коэффициентом крепости горных пород.

Величина перебура первой скважины берется согласно паспорту БВР для конкретных горнотехнических условий ведения взрывных работ. Длина забойки 4 для первого и для всех последующих скважин 2 – величина постоянная, обусловленная



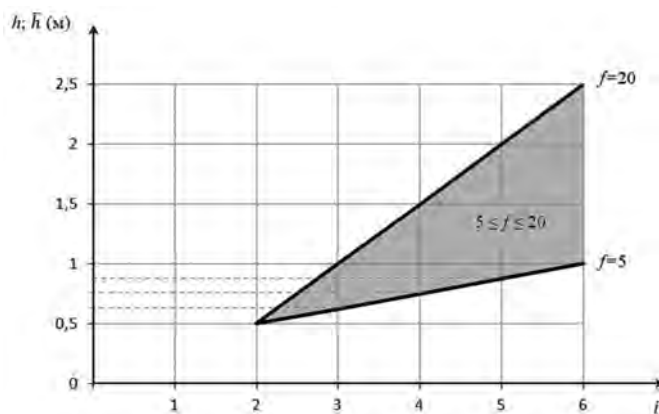
**Рис. 2. Зависимость между коэффициентом линейной дифференциации зарядов ВВ ( $m$ ) и коэффициентом крепости горных пород ( $f$ )**

действующим паспортом БВР. Согласно с паспортом БВР определяются и параметры заряда ВВ для первой скважины.

В скважинных зарядах 3, начиная со второй скважины 2, используют инертные промежутки 7, с последующим увеличением их величины по аналогичному алгоритму, как и для случаев формирования перебура. При этом соотношение между длиной верхнего заряда ВВ и нижнего заряда должно быть больше или равным.

Во всех скважинных зарядах ВВ 3 в верхней и нижней частях устанавливают промежуточные детонаторы 5.

Использование коэффициента линейной дифференциации зарядов ВВ ( $m$ ) позволяет очень легко производить расчет параметров скважинных зарядов ВВ при внедрении разработанного способа разрушения горных пород (рис. 3).



**Рис. 3. Расчет параметров скважинных зарядов ВВ ( $i$  – номер скважины)**

Исследуем процесс взрывного нагружения горного массива при данной технологии ведения буровзрывных работ.

Энергия, выделяющаяся при взрыве, имеет конечную величину, поэтому и кинетическая энергия среды также будет конечной, что обуславливает конечные значения скоростей частиц среды. При условии мгновенного действия взрыва частицы среды лишь получают некоторую начальную скорость [5], с которой будут двигаться после того, как закончится фаза импульсного действия взрыва.

Для решения поставленной задачи 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 работе [6], координаты вектора начальной скорости для произвольной точки обозначим  $U_0 (u_x, u_y, u_z)$ .

Рассмотрим движение среды в объеме рассматриваемого 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, –  $dx : P + (\partial p / \partial x)$ . Так как площади этих граней равны  $dy, dz$ , то силы, действующие на эти грани, соответственно будут равны:

$$F_1 = P \times dy \times dz$$

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

Отсюда равнодействующая  $F$  этих сил определяется как:

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

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

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

$$m = \rho dx dy dz,$$

где  $\rho$  – плотность среды –  $m$ );  $dx, dy, dz$  – объем параллелепипеда.

Ускорение в направлении оси  $Ox$  равно изменению в единицу времени скорости ( $du_x / dt$ ). Так как сила равна произведению массы на ускорение, то:

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

Аналогично рассуждая, рассматривая грани, перпендикулярные осям  $Oy$  и  $Oz$ , получим:

$$\frac{du_y}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{du_z}{dt} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}. \quad (3)$$

Уравнения (1)–(3) проинтегрируем по времени. Рассмотрим уравнение (1). В момент времени  $t = 0$ , т. е. до взрыва, среда находится в покое.

При импульсном воздействии взрыва, скорость получает значение  $U_0$ .

Преобразуем выражение (1):

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

Меняя порядок интегрирования и дифференцирования в выражении (1), получим:

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

Интеграл, стоящий в правой части в последней формуле, определяет величину удельного импульса взрывного воздействия на среду:  $i = \int_0^t P dt$ .

При взрыве серии линейно дифференцированных скважинных зарядов ВВ величина  $P$  с достаточной точностью [7; 8] может быть определена как:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i,$$

тогда:

$$i = \int_0^t \sum_{i=1}^n P_i \cdot dt,$$

где  $P_i$  – часть воздействия  $i$ -го заряда ВВ.

Следовательно, имеем:

$$u_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^t \sum_{i=1}^n P_i \cdot dt \right).$$

А так как рассматриваем абсолютно несжимаемую среду, то в этом случае плотность среды остается постоянной вокруг каждой движущейся частицы  $\rho = \text{const}$ . Поэтому окончательно имеем:

$$u_x = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left( \int_0^t \sum_{i=1}^n P_i \cdot dt \right).$$

Аналогично рассуждая, получим  $u_y, u_z$  – остальные координаты вектора  $U_0$

$$u_y = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left( \int_0^t \sum_{i=1}^n P_i \cdot dt \right);$$

$$u_z = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left( \int_0^t \sum_{i=1}^n P_i \cdot dt \right).$$

Мы получили координаты вектора начальной скорости  $U_0$  для произвольной точки среды, воспринявшей действие импульсной взрывной нагрузки, при взрыве серии линейно дифференцированных скважинных зарядов.

Таким образом, образование поля скоростей и связанного с ним количества движения зависят от импульса внешних сил. При взрыве скважинного заряда передается конечное количество кинетической энергии, т. о. и образующееся количество движения, следовательно и импульс взрыва имеют конечные значения.

Используя при расчетах скважинных зарядов коэффициент линейной дифференциации  $m$ , можно формировать заряды ВВ так, чтобы снизить одновременно отрицательное взрывное воздействие на смежный массив. Это достигается за счет перераспределения ВВ в разрушаемом уступе горных пород и тем самым уменьшает зоны хаотической искусственной системы структурных нарушений и заколов от действия произведенного взрыва.

#### Библиографический список / References

1. Ставрогин А. Н. Прочность горных пород и устойчивость выработок на больших глубинах / А. Н. Ставрогин, А. Г. Протосеня. – М.: Недра, 1985. – 270 с.

Stavrogin A. N., Protosenya A. G. *Prochnost' gornyx porod i ustoychivost' vyrabotok na bol'shikh glubinakh*. Moscow, Nedra, 1985, 270 p.

2. Баранов Е. Г. Оценка энергоемкости горных пород при взрыве / Е. Г. Баранов, В. Е. Клаповский // ФТПРПИ. – 1969. – № 5. – С. 85–94.

Baranov E. G., Klapovskiy V. E. *Otsenka energoemkosti gornyx porod pri vzryve*. FTRPI, 1969, no. 5, pp. 85-94.

3. Griffith A. A. The phenomenon of rupture and flow in solids. *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 221, 1920, p. 1201–1206.

4. Moth N. F. Fracture of metals. *Theor. Conq. Enqng.* 1948. Vol. 1657, no. 16, pp. 321–348.

5. Баренблатт Г. И. Математическая теория равновесных трещин, образующихся при хрупком разрушении / Г. И. Баренблатт // ПМТФ. – 1969. – № 4. – С. 3–56.

Barenblatt G. I. *Matematicheskaya teoriya ravnovesnykh treshchin, obrazuyushchikhsya pri khrupkom razrushenii*. PMTF, 1969, no. 4, pp. 3-56.

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

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

7. 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.

8. Кузнецов В. М. Математические модели взрывного дела / В. М. Кузнецов. – Новосибирск: Наука, 1977. – 259 с.

Kuznetsov V. M. *Matematicheskie modeli vzryvnogo dela*. Novosibirsk, Nauka, 1977, 259 p.

**Мета.** Підвищення ефективності відбійки гірських порід на основі використання свердловинних зарядів з лінійно диференційованою ВР, при розробці залізорудних родовищ відкритим способом.

**Методика.** Для вирішення поставлених завдань використали комплексну методику досліджень, яка включає аналіз інформаційних джерел і світовий досвід у сфері передових технологій ведення вибухових робіт, теоретичні дослідження.

**Результати.** Розроблено типові паспорти буропідричних робіт з використанням розробленого нового способу руйнування гірських порід з розосередженим розміщенням свердловинних зарядів ВР по висоті уступу.

**Наукова новизна.** Встановлено закономірність раціонального формування у свердловинних зарядах, починаючи з другого ряду свердловин, інертних проміжків і переburів, причому зростання останніх за рядами в зарядах ВР відбувається на величину, пропорційну коефіцієнту лінійної диференціації зарядів ВР ( $m = 0,025f$ ).

**Практична значущість.** Розроблено новий спосіб руйнування гірських порід з використанням свердловинних зарядів ВР розосереджених по висоті уступу на залізорудних кар'єрах (патент України № 84967 від 11.11.2013 р. на корисну модель), запропоновано технологію вибухової уступної відбійки гірських порід з використанням нового способу руйнування гірських порід з розосередженими по висоті уступу свердловинними зарядами ВР.

**Ключові слова:** гірничий масив, свердловинні заряди ВР, енергія вибуху, імпульс.

**Purpose.** The purpose of work is an increase of efficiency of відбійки of mountain breeds on the basis of the use downhole charges with the arcwise differentiated SR, at development of iron-ore deposits an open method.

**Methodology.** For the decision of the put tasks used complex methods of researches, which includes the analysis of informative sources and world experience in the field of front-rank technologies of conduct of explosive works, theoretical researches.

**Findings.** The typical passports of буроподричних works are worked out with the use of the worked out new method of destruction of mountain breeds with the dispersed placing of downhole charges of SR on the height of ledge.

**Originality.** Conformity to law of the rational forming is set in downhole charges, since the second row of mining holes, inert intervals and переburів, at what height last on rows in the charges of SR, take place on a

size proportional коэффициенту of linear differentiation of charges of SR ( $m = 0,025f$ ).

**Practical value.** The new method of destruction of mountain breeds is worked out with the use of downhole charges of SR of разосередженних on the height of ledge on iron-ore careers (patent of Ukraine № 84967 from 11.11.2013 on an useful model), technology is offered by an explosion ledge of відбіюку of mountain breeds with the use of new method of destruction of mountain breeds

with dispersed on the height of ledge by the downhole charges of SR.

**Key words:** mountain range, downhole charges of BB, energy of explosion, impulse.

Рекомендована к публикации  
д. т. н. М. С. Четвериком  
Поступила 25.05.2018



УДК 622. 232.522. 24

Виробництво

В. Є. Мальцева, Т. М. Уколова, Є. О. Вялушкін,  
В. Є. Антончик, Л. М. Васильєв /д. т. н./,  
М. Я. Трохимець /к. т. н./

Інститут геотехнічної механіки  
ім. М. С. Полякова Національної академії наук  
України, м. Дніпро, Україна  
e-mail: vdl\_2007@mail.ru

## Спосіб і пристрій обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних

V. Ye. Maltseva, T. M. Ukolova,  
Ye. O. Vialushkyn, V. Ye. Antonchik,  
L. M. Vasilyev /Dr. Sci. (Tech.)/,  
M. Ya. Trohimets /Cand. Sci. (Tech.)/

Institute of Geotechnical Mechanics  
M. S. Polyakov NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine  
e-mail: vdl\_2007@mail.ru

## Method and a device rotational-vibroloading drilling holes or wells in rocks of medium hardness and hard

**Ціль.** Обґрунтування способу обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних і розробка пристрою для його здійснення.

**Методика.** Аналіз чинників неефективності застосування обертального та обертально-ударного способів буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних, визначення шляхів удосконалення існуючих способів і технічних пристроїв обертального буріння шпурів або свердловин, визначення математичної моделі руйнування гірської породи на вибої шпуру або свердловини при здійсненні одночасного і саморегулюючого механічного вібронавантаження на породоруйнівний інструмент пристрою як в осьовому напрямку, так і в площині прикладання обертального моменту.

**Результати.** Обґрунтовано спосіб обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних, що складається з постійних зусиль механічного осьового притискання і прикладання обертального моменту до пристрою, що здійснює цей спосіб, та подачі промивної рідини під тиском на вибій шпуру або свердловини, який відрізняється тим, що у пристрої в процесі буріння здійснюють одночасне і саморегулююче механічне вібронавантаження на його породоруйнівний інструмент як в осьовому напрямку, так і в площині прикладання обертального моменту.

**Наукова новизна.** На основі визначеної математичної моделі руйнування гірської породи на вибої шпуру або свердловини на рівні патенту України на винахід розроблено нові спосіб і пристрій обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних.

**Практична значущість.** Інтенсифікація процесу обертально-вібронавантажного буріння шпурів або свердловин у гірських породах середньої міцності та міцних шляхом підвищення швидкості буріння і зменшення енергоємності процесу, які досягаються одночасністю і саморегулюванням механічного вібронавантаження на породоруйнівний інструмент пристрою в процесі буріння як в осьовому напрямку, так і в площині прикладання обертального моменту без використання додаткових енергоносіїв. (Іл. 1. Бібліогр.: 4 назв.)

**Ключові слова:** спосіб, пристрій, обертально-вібронавантажне буріння шпурів, свердловина, гірська порода, породоруйнівний інструмент.