

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БЕЗРАЗЛЁТНОГО ВЗРЫВАНИЯ ГОРНОГО МАССИВА

М. В. Беззубченкова, А. В. Воробьев, В. В. Воробьев

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

Теоретически исследован разработанный авторами метод снижения разлёта осколков горной массы при взрывном способе добычи полезных ископаемых. С учетом квадратичной зависимости силы сопротивления жидкости движению частицы получены величины максимальной толщины слоя воды для безразлётного взрывания, а также установлена взаимосвязь этого параметра с начальной скоростью разлёта осколков, плотностью жидкости и допустимой высотой подъёма горной массы. Установлено, что необходимая толщина слоя жидкости над взрываваемым блоком обратно пропорциональна её плотности и допустимой высоте подъёма горной массы, а также прямо пропорциональна диаметру осколка.

Ключевые слова: горная порода, разлёт, взрыв, высота, осколок, скорость, сила сопротивления, жидкость, зависимости.

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БЕЗРОЗЛІТНОГО ПІДРИВАННЯ ГІРСЬКОГО МАСИВУ

М. В. Беззубченкова, А. В. Воробйов, В. В. Воробйов

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

Теоретично досліджено розроблений авторами метод зниження розльоту осколків гірничої маси при вибуховому способі видобутку корисних копалин. З урахуванням квадратичної залежності сили опору рідини руху частинки отримані величини максимальної товщини шару води для безрозлітного підривання, а також встановлено взаємозв'язок цього параметра з початковою швидкістю розльоту осколків, щільністю рідини і допустимою висотою підйому гірничої маси. Встановлено, що необхідна товщина шару рідини над вибухає блоком обернено пропорційна її щільності і допустимій висоті підйому гірничої маси, а також прямо пропорційна діаметру осколка.

Ключові слова: гірська порода, розліт, вибух, висота, осколок, швидкість, сила опору, рідина, залежності.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Взрывное разрушение горных пород обеспечивает дробление необходимых объемов горной массы с заданным качеством и параметрами развала. Однако традиционные методы взрывного разрушения массивов имеют серьезные недостатки. Действие взрыва, как правило, распространяется далеко за пределы зоны, в которой выполняется полезная работа. Поэтому появляется опасность поражения людей, сооружений и техники разлетающимися на значительные расстояния кусками взорванной горной породы. В связи с этим при ведении взрывных работ следует применять такие методы, при которых хорошее качество рыхления достигается при наименьшем отрицательном воздействии на окружающую среду.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Наиболее распространённым способом снижения разлёта кусков горной породы при взрывном дроблении является установка над взрываемым блоком специальных укрытий различных конструкций [1]. При этом применяются сплошные укрытия металлическими листами. Для предотвращения разлёта кусков породы требуется большая масса укрытия – до 0,8–1,0 т на 1 м² укываемой площади, так как укрытие в первую очередь принимает на себя удар газов взрыва, а удар летящих кусков породы играет второстепенную роль. Для применения этого метода требуется большой расход материалов, а затраты на их приобретение в 1,5-3 раза превышают стоимость взрывных материалов, необходимых для рыхления пород. Однако такие укрытия не дают полной гарантии от разлёта кусков, напротив, в отдельных случаях происходят местные выбросы кусков породы, разлетающихся в случайных направлениях из-под приподнятого ударом газов сплошного укрытия, или отбрасывание отдельных листов укрытий, что создаёт дополнительные негативные последствия.

Также одним из используемых методов является гидрозабойка [2], которая выполняется с применением полиэтиленовых ёмкостей, заполненных водой. Их располагают непосредственно в скважине или над ней (вокруг). Однако это при взрыве скважинного заряда в основном препятствует вылету частиц забойки, мелкодисперсной пыли и незначительно влияет на разлёт осколков породы. В дополнении к этому методу предлагают располагать полиэтиленовые ёмкости по всей площади взрываемого блока в один или несколько рядов [3]. Это позволяет снизить разлёт частиц горной массы. Но теоретически параметры данного метода не рассмотрены и трудоёмкость формирования его тоже высокая. Исходя из этого, более рациональным является сплошное покрытие жидкостью взрываемого блока. Однако этот вопрос мало исследован и не установлено как влияют на разлёт основные параметры, среди которых необходимо отметить толщину слоя жидкости, её плотность, начальную скорость движения частицы горной массы.

Поэтому актуальной задачей является исследование этого вопроса, а так же поиск новых и усовершенствование существующих методов снижения распространения осколков породы в окружающую среду.

Цель работы – теоретическая оценка взаимосвязи высоты разлёта осколков с параметрами слоя жидкости над взрываемым блоком.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для теоретической оценки эффективности использования данного способа рассмотрим движение куска горной породы в слое жидкости. Как известно, на осколок действуют следующие силы: сила тяжести и сила сопротивления среды (рис. 1).

Движение куска породы запишем в виде дифференциального уравнения:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum \vec{F}_k^e, \quad (1)$$

где m – масса осколка горной породы, кг;

v – скорость движения тела в жидкости, м/с;

$\sum F_k^e$ – силы, действующие на осколок, Н.

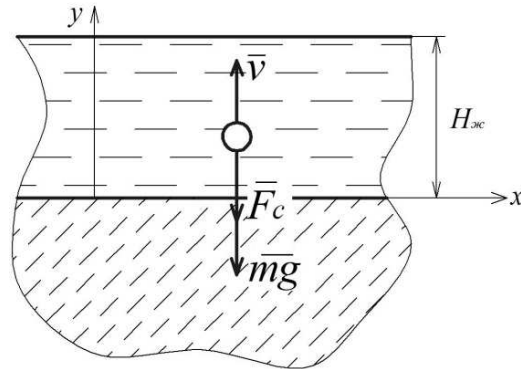


Рисунок 1 – Силы, действующие на осколок горной породы при взрыве

Сложность решения уравнения (1) состоит в учете силы сопротивления (F_c). При движении в жидкости она может быть представлена в виде [4]:

$$F_c = k_c \rho_{\text{ж}} \frac{v^2}{2} S_n, \quad (2)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³;

k_c – коэффициент лобового сопротивления;

S_n – площадь сечения куска горной породы, м²;

v – скорость движения тела в жидкости, м/с.

В этом случае уравнение вертикального движения куска горной породы в слое жидкости будет иметь следующий вид:

$$m \frac{dv}{dt} = -k_c \rho_{\text{ж}} \frac{v^2}{2} S_n - mg. \quad (3)$$

Решением этого дифференциального уравнения является следующее выражение, которое позволяет получить значение максимальной высоты слоя жидкости [4]:

$$H = \frac{16d\rho_{\text{T}}}{3k_c\rho_{\text{ж}}} \ln \frac{g + \frac{3k_c\rho_{\text{ж}}v_0^2}{32d\rho_{\text{T}}}}{g}, \quad (4)$$

где ρ_{T} – плотность тела (осколка горной породы), кг/м³;

d – диаметр осколка горной массы, м.

Используя это выражение можно оценить влияние начальной скорости и диаметра куска на изменение максимальной высоты слоя жидкости, которое обеспечивает безразлётное взрывание.

Начальную скорость разлёта осколков определяем по эмпирической зависимости [7]:

$$v_0 = 72000 \frac{g}{\rho_{\text{T}}}, \quad (5)$$

где g – удельный расход взрывчатого вещества (ВВ), кг/м³.

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Для карьеров нерудных полезных ископаемых удельный расход ВВ колеблется в пределах $0,5\text{--}1,0\text{ кг/м}^3$. Исходя из этого максимальная начальная скорость разлёта кусков будет находиться в пределах от 13 до 27 м/с. В расчётах будем принимать предел изменения скорости от 10 до 30 м/с.

Результаты расчета по (4) максимальной толщины слоя жидкости, которая находится над взрываемым блоком и обеспечивает безразлётное взрывание, приведены на рис. 2, 3.

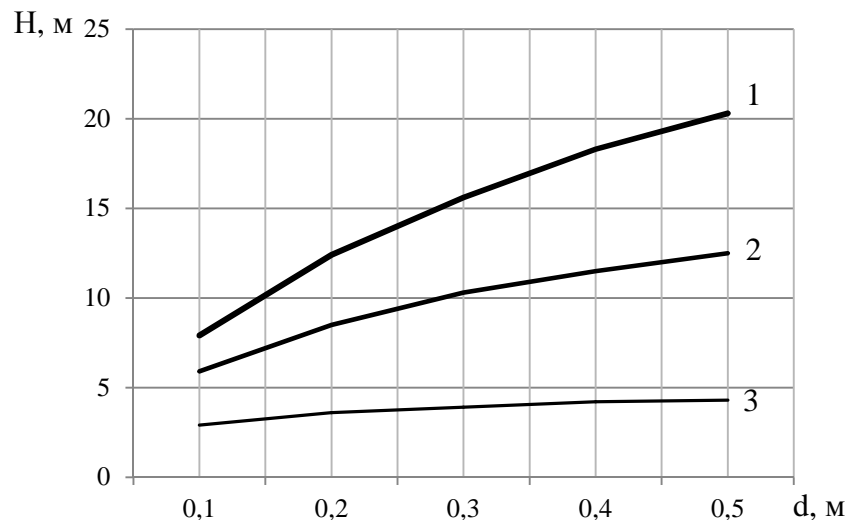


Рисунок 2 – Зависимость максимальной высоты слоя жидкости от диаметра куска взорванной горной массы:

1, 2, 3 – при начальной скорости соответственно 30, 20, 10 м/с

Анализируя данные, приведенные на рис. 2 мы видим, что с увеличением диаметра куска горной породы возрастает необходимая толщина слоя жидкости: при диаметре 0,1 м и начальной скорости частицы 10 м/с расчётная величина слоя жидкости составляет 3 м, а при диаметре 0,5 м и скорости 30 м/с – практически 21 м. С увеличением начальной скорости толщина слоя жидкости возрастает, в большей степени это происходит с увеличением диаметра осколков породы: так для куска диаметром 0,1 м увеличение начальной скорости в 3 раза приводит к возрастанию необходимой толщины слоя жидкости в 2 раза, а для куска 0,5 м – практически в 4 раза.

Известно, что в момент взрыва газы, прорываясь первыми, меняют состояние жидкости. Образуется газожидкостная среда. Соответственно происходит изменение её плотности в меньшую сторону. И следует ожидать снижение эффективности данного способа. Что мы и видим по результатам, приведенным на рис. 3 – уменьшение плотности воды приводит к увеличению необходимой высоты слоя жидкости, находящегося над взрываемым массивом. Кроме того необходимо отметить, что при меньших размерах осколка влияние величины плотности сказывается в большей степени: для $d = 0,5\text{ м}$ снижение плотности в два раза приводит к росту толщины слоя в 1,1 раза, а для $d = 0,1\text{ м}$ – уже в 1,7 раз.

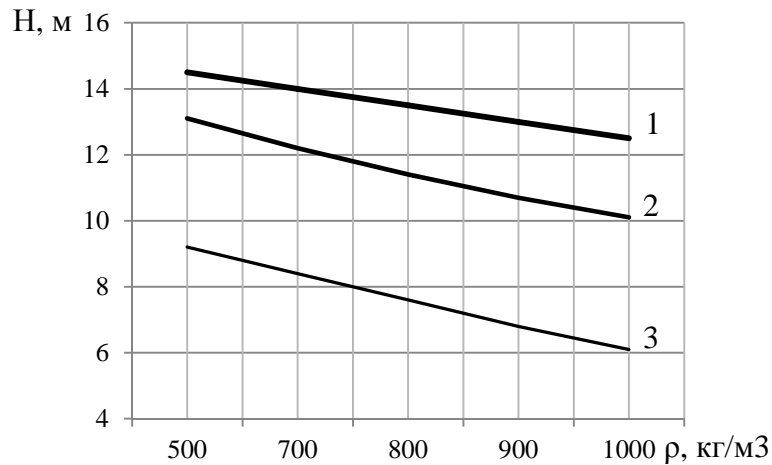


Рисунок 3 – Залежність максимальної висоти слоя жидкости від зміни її щільності: 1, 2, 3 – при діаметрах куска відповідно 0,5; 0,3; 0,1 м

Чаще всего, в реальных условиях добычные горизонты располагаются ниже поверхности, т.е. вверху находятся вскрышные породы. Исходя из этого, нам необходимо уменьшить разлёт осколков за пределы карьерного поля, где могут находиться рабочие помещения и жилые районы.

В этих условиях необходимо вводить так называемую допускаемую высоту подъёма, достигнув которой кусок горной породы не вылетит за пределы карьера.

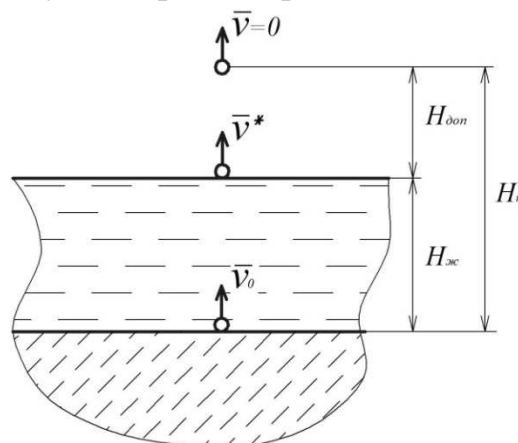


Рисунок 4 – Схема к определению взаимосвязи допускаемой высоты подъёма осколка и необходимой толщины слоя жидкости

Считаем, что мы имеем определённый слой жидкости над поверхностью взрываемого блока. И теперь будем рассматривать следующую задачу. Кусок породы движется в этом слое жидкости и вылетает из него со скоростью v^* , величина которой зависит от толщины слоя [4]:

$$H_{ж} = \frac{16d\rho_{т}}{3k_{с}\rho_{ж}} \ln \frac{g + \frac{3k_{с}\rho_{ж}v_0^2}{32d\rho_{т}}}{g + \frac{3k_{с}\rho_{ж}v_*^2}{32d\rho_{т}}} \quad (6)$$

ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ВИБУХОМ

Дальнейшее движение осколка породы происходит в воздухе, при этом в максимальной точке подъёма его скорость равна 0 и данная высота определяется следующей зависимостью:

$$H_{\text{доп}} = \frac{16d\rho_{\text{г}}}{3k_c\rho_{\text{в}}} \ln \frac{g + \frac{3k_c\rho_{\text{в}}v_0^2}{32d\rho_{\text{г}}}}{g}, \quad (7)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, кг/м³.

Решая совместно (7) и (6) мы получаем взаимосвязь допускаемой высоты разлёта осколка ($H_{\text{доп}}$) и необходимой толщины слоя жидкости ($H_{\text{ж}}$), которая представлена на рис. 5.

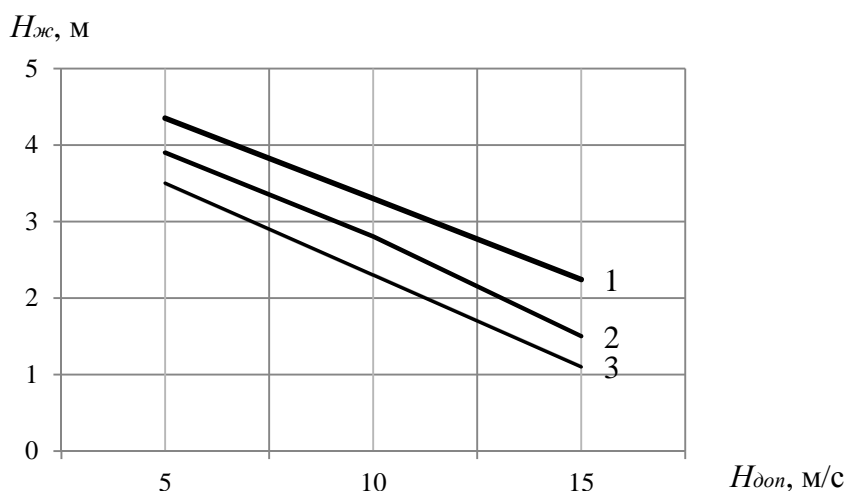


Рисунок 5 – Изменение толщины слоя жидкости в зависимости от допустимой высоты подъема осколка и его начальной скорости:

1, 2, 3 – соответственно 30, 20, 10 м/с

Как видно из данного рисунка, величина слоя жидкости уменьшается практически линейно с ростом допустимой высоты разлёта и, например, для $H_{\text{доп}} = 15$ м составляет 1 – 2,5 м.

Учитывая определённые допущения и упрощения, которые были приняты для решения задачи, данные значения будут представлять собой нижнюю оценку, которая требует экспериментального уточнения.

ВЫВОДЫ. Выполненные теоретические исследования снижения разлёта горной породы с помощью слоя жидкости показали:

-для безразлётного взрывания толщина слоя жидкости возрастает с увеличением диаметра осколка и его начальной скорости;

-необходимая толщина слоя жидкости линейно увеличивается с уменьшением плотности воды;

-впервые установлена взаимосвязь допустимой высоты подъема осколка с его начальной скоростью и толщиной слоя жидкости.

Дальнейшие исследования будут направлены на экспериментальную проверку полученных теоретических результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. Концепция аккуратного взрывного рыхления скальных горных пород // Вестник ТОГУ, 2005. – № 1. – С. 115–127.
2. Аэрология карьеров: Справочник. / П.В. Бересневич, В.А. Михайлов, С.С. Филатов. – М.: Недра, 1990. – 280 с.
3. Спосіб підривання свердловинних зарядів / М.В. Беззубченкова, В.В. Воробйов, А.В. Воробйов // Патент на корисну модель № 109831. – 12.09.2016.
4. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю. и др. Теоретическая механика в примерах и задачах. – М.: Наука, 1972. – 624 с.
5. Повышение эффективности действия взрыва в твёрдой среде / В.М. Комир, В.М. Кузнецов, В.В. Воробйов, В.Н. Чебенко – М.: Недра, 1988. – 209 с.
6. Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. – М.: Госстройиздат, 1957. – 276 с.
7. Воробйова Л.Д. Про зниження розльоту осколків при виконанні спеціальних підривних робіт / Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Зб. наук. праць. – Київ:НТУУ»КПІ», – 2001. – Вип. 5. – С. 83–85.
8. Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного воздействия взрывов. – М.: Недра, 1982. – 162 с.
9. Воробйов В.В., Пеев А.М., Щетинін В.Т. Промислові дослідження впливу розташування ініціаторів у свердловині на якість дроблення гірської маси / Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 2 (12). – С. 63–67.

**THEORETICAL BASIS OF BLASTING PARAMETERS
OF ROCK MASS WITHOUT SPREAD**

M. Bezzubchenkova, A. Vorobyov, V. Vorobyov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vvv@kdu.edu.ua

Purpose. A theoretical estimate of the relationship of spread height of the fragments with the parameters of the layer of liquid over the blasted block. **Methodology.** It was used basic laws of mechanics, as well as the second order differential equation of motion, in which the force of resistance depends on the initial speed. **Results.** Performed theoretical researches of reduce of spread the rock with the help of fluid layer have shown that with an increase the diameter of a piece of rock increases the required thickness of the liquid layer: with a diameter of 0,1 m and initial velocity of particles of 10 m/s the calculated value of the liquid layer is 3 m, and with a diameter of 0,5 m and a speed of 30 m/s – 21 m practically. With an increase of the initial velocity the liquid layer thickness increases to a greater extent it occurs with increasing rock fragments diameter: for piece with diameter of 0,1 m the increase of the initial velocity of 3 times leads to an increase of fluid required thickness of 2 times, for a piece of 0,5 m – almost 4 times. The required thickness of the layer of liquid increases linearly with decreasing of fluid density. Also the value of the liquid layer decreases almost linearly with an increase in the permissible height of spread and, for example, for $H_{perm} = 15$ m is 1 – 2,5 m. **Originality.** For the first time, it is shown the interrelation of permissible lifting

height of the fragment with its initial velocity and thickness of the liquid layer. **Practical value.** Is proposed a method of blasting rock mass without spread. Theoretical studies of which indicate the possibility of its application in real conditions. References 10, figures 5.

Key words: rock, spread, explosion, height, fragment, speed, resistance strength, fluid, depending.

REFERENCES

1. Shevkun, E.B., Leszczynski, A.V. (2005), "Concept of accurate explosive loosening of rocks", *Vestnyk TOGU*, no.1, pp. 115–127.
2. Beresnevych, P.V., Myhaylov, V.A., Fylatov, S.S. (1990), *Aerologiya karierov: Spravochnyk* [Aerology quarries: Handbook], Nedra, Moscow, Russia.
3. Bezzubchenkova, M.V., Vorobyov, V.V., Vorobyov, A.V. (2016), "Method for blasting hole charges", *The patent for utility model №109831*, Ukraine.
4. Bat', M.I., Dzhanelydze, G.Yu. (1972), *Teoretycheskaya mekhanika v prymerah i zadachah* [Theoretical mechanics in the examples and problems], Nedra, Moscow, Russia.
5. Komir, V.M., Kuznetsov, V.M., Vorobyov, V.V., Chebenko, V.N. (1988), *Povyshenie effektivnosti deystviia vzryva v tverdoy srede* [Increasing the effectiveness of the explosion in a solid medium], Nedra, Moscow, Russia.
6. Pokrovskiy, G.I., Fedorov, I.S. (1957), *Deystviie udara i vzryva v deformiruemyyh sredah* [Action impact and explosion in deformable environments], Gosstroyizdat, Moscow, Russia.
7. Vorobyova, L.D. (2001), "On the reduction of fragments for special blasting", *Vysnyk NTUU "Kyivskiy polytechnychnyi instytut". Seriya "Gyrnytstvo". Zbyrnyk naukovykh pratz*, Iss. 5, pp. 83–85.
8. Bogatskiy, V.F., Fridman, A.G. (1982), *Ohrana ingenernykh sooruzheniy I okruzhayushchey sredy ot vrednogo deystviya vzryvov* [Protection of civil engineering and the environment from the harmful effects of explosions] Nedra, Moscow, Russia.
9. Vorobyov, V.V., Pejev, A.M., Shchetinin, V.T. (2013), "Industrial research the impact of location of the initiators of the well on the quality of the rock mass fragmentation", *Suchasni resursoenergozberigayuchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 12, pp. 63–67.

Стаття надійшла 01.12.2016.