

## ОБОСНОВАНИЕ СЕЙСМОБЕЗОПАСНОЙ МАССЫ ЗАРЯДА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СЕЗОННОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В КАРЬЕРАХ

*А. М. Пасечник, магистр (НТУУ «КПИ»)*

*Запропоновано формулу для розрахунку сейсмобезпечної маси заряду при проведенні підривних робіт у масивах порід з порожнинами, в якій враховуються статичні і динамічні навантаження в різні пори року.*

*Ключові слова: вибухові речовини, навантаження, сейсмовибухова хвиля, полость.*

*Предложена формула для расчета сейсмобезопасной массы заряда при производстве взрывных работ в массивах пород с полостями, в которой учитываются статические и динамические нагрузки в различное время года.*

*Ключевые слова: взрывчатые вещества, напряжения, сейсмовзрывная волна, карст.*

*Formula for the calculation of seismic safe mass charge during blasting in rock with cavities that takes into account static and dynamic loads at various seasons is suggested.*

*Key words: explosives, loads, seismic explosive wave, cavity.*

**Введение.** В современной практике проведения промышленных взрывов существуют различные методики определения сейсмобезопасных параметров взрывных работ, основанные чаще всего на формуле Садовского [1, 2]. В современных условиях карьеров при их разработке необходимо учитывать много факторов, таких как совместное влияние статических (от расположенных над массивом объектов) и динамических (от сейсмовзрывных волн) нагрузок. Эти факторы особенно сложно учитывать при разработке массивов пород с имеющимися в них природными и искусственными полостями. Также слабо изучено влияние сезонности работ на распространение сейсмовзрывных волн в породах. Поэтому проведение исследований, связанных с установлением влияния указанных факторов на сейсмоэффект взрывных работ, и разработка практических рекомендаций по безопасному их ведению являются актуальными.

**Цель исследований** – определение формулы расчета безопасной массы ВВ с учетом влияния совместного действия статических и динамических нагрузок, а также влажности пород.

**Изложение основного материала.** Напряжение на фронте падающей волны определяется формулой [3]

$$\sigma_{-} = \rho \cdot c \cdot V, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – скорость звука, м/с;  $V$  – скорость распространения сейсмовзрывной волны в массиве пород, м/с.

С учетом коэффициента преломления по формуле М. А. Садовского скорость сейсмической волны, прошедшей через преграду, определяется выражением [4]:

$$V = K \left( \sqrt[3]{Q/R} \right)^n, \quad (2)$$

где  $K$  и  $n$  – коэффициент пропорциональности сейсмичности и показатель степени затухания, зависящие от свойств среды;  $Q$  – масса заряда, кг;  $R$  – расстояние от места взрыва до полости, м.

Напряженное состояние массива вокруг полости при отсутствии динамических нагрузок определяется только статическими нагрузками  $\sigma_0^c$  от давления толщи пород:

$$\sigma_0^c = \rho gh, \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $h$  – глубина залегания полости, м.

При рассмотрении горного массива с полостями, когда над ними расположены различные охраняемые объекты, статическое напряжение изменяется, и на его величину оказывает влияние масса потолочины полости  $\sigma_\gamma$ , а также масса здания  $\sigma_p$ , расположенного над полостью [5]:

$$\sigma^c = \sigma_p + \sigma_\gamma.$$

Коэффициент статической нагрузки  $k_c$  определяет относительное ее изменение при наличии в массиве полости и охраняемого объекта над ней:

$$k_c = \sigma_0^c / \rho gh. \quad (4)$$

При наличии динамических нагрузок соотношение распределения напряжения по контуру полости к напряжению в падающей волне  $\sigma_-$  определим коэффициентом динамического напряжения  $k_d$  [6]:

$$k_d = \sigma^\delta / \sigma_-. \quad (5)$$

Обрушение полости может произойти в случае достижения суммарными значениями статических и динамических нагрузок пределов прочности породы  $[\sigma]$ , что выражается неравенством:

$$\sigma^c + \sigma^\delta \geq [\sigma]. \quad (6)$$

Подставив (4) и (5) в (6) получим

$$k_c \rho gh + k_d \sigma_- \geq [\sigma].$$

Поскольку критическое состояние устойчивости системы может достигать пределов прочности, можно перейти от неравенства к равенству, из которого получим напряжение падающей волны:

$$\sigma_- = \frac{1}{k_d} ([\sigma] - k_c \rho gh). \quad (7)$$

Приравняв правые части уравнений (1) и (7), получим

$$\frac{1}{k_{\delta}}([\sigma] - k_c \rho gh) = \rho \cdot c \cdot V. \quad (8)$$

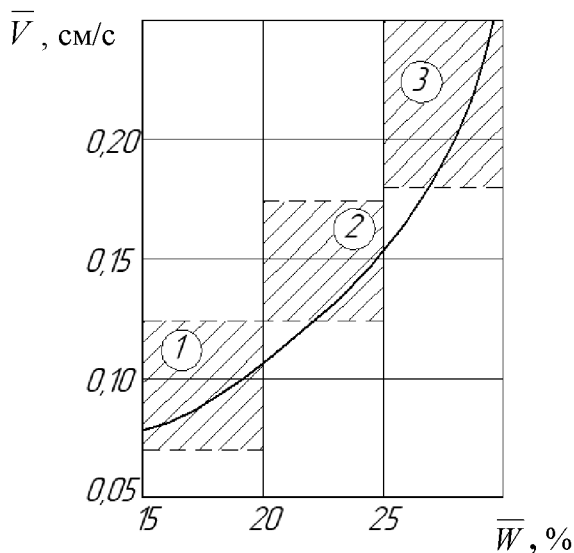
После подстановки (2) в (8) получим результирующее уравнение

$$\frac{1}{k_{\delta}}([\sigma] - k_c \rho gh) = \rho \cdot c \cdot K \left( \sqrt[3]{Q/R} \right)^n,$$

из которого можно определить массу взрываемого заряда ВВ

$$Q = \left[ \frac{R([\sigma] - k_c \rho gh)}{\rho \cdot c \cdot K \cdot k_{\delta}} \right]^{\frac{3}{n}}. \quad (9)$$

В результате экспериментальных исследований [7] установлено, что среднее значение влажности для данных условий находилось в пределах 15...30 % (летом – 15...20 %; осенью – 21...23 %, зимой – 23...25 % и весной – 26...30 %). Учитывая ту закономерность, что с увеличением влажности грунта скорость звука растет и изменяется по криволинейной зависимости, для определения сейсмобезопасной массы заряда с учетом сезонности работ в (9) включен коэффициент влажности  $k_W$ . Его величина изменяется по зависимости, приведенной на рисунке. Очевидно, что наименьшее влияние на распространение сейсмозрывных волн влажность грунта имеет летом, поэтому величина  $k_W$  принята равной 1 (таблица).



Зависимость изменения скорости  $\bar{V}$  от влажности  $\bar{W}$  в разные времена года: 1 – летом; 2 – в осенне-зимний период; 3 – весной

Коэффициент влажности пород в различное время года

Время года	Влажность, $W$ , %	Скорость звука $c$ , м/с	Коэффициент влажности, $k_W$
Лето	15...20	670...750	1,0
Зима, осень	21...25	725...800	1,08

Весна	26...30	775...827	1,13
-------	---------	-----------	------

Результирующая формула для определения сейсмобезопасной массы ВВ с учетом влажности пород имеет вид:

$$Q = \left[ \frac{R([\sigma] - k_c \rho gh)}{\rho \cdot c \cdot K \cdot k_d \cdot k_W} \right]^{\frac{3}{n}} \quad (10)$$

Полученная формула (10) позволяет проводить расчет сейсмобезопасной массы ВВ для массивов пород с полостями, над которыми располагаются охраняемые объекты различного назначения, с учетом таких параметров: масса охраняемого объекта, масса потолочины полости, динамическая нагрузка от падающей на полость сейсмической волны, координата на поверхности полости, которая позволяет определить наиболее вероятные точки начала разрушения, влажность подстилающего объект грунта.

В результате проведенных исследований обоснована сейсмобезопасная масса заряда ВВ с учетом совместного действия статических и динамических нагрузок при взрывах на карьерах в различное время года.

1. *Исследование и разработка рациональных методов взрывных работ для обеспечения проектных параметров развала горной массы с сохранением качества дробления и сейсмобезопасности промышленных и гражданских объектов: Отчет о НИР (заключ.) / Отдел. геодин. взрыва ИГФ АН УССР; № ГР 01.8.80 051824; Инв. №02.8.90 061773. – К., 1989. – 191 с.*

2. *Кравець В. Г., Воробйов В. Д., Кузьменко А. О. Підривні роботи на кар'єрах / Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1994. – 376 с.*

3. *Ляхов Г. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах / Ляхов Г. М. – М.: Наука, 1982. – 286 с.*

4. *Проведення замірів сейсмоколивань при вибухових роботах на кар'єрах ВАТ «Миколаївцемент» для визначення безпечної маси заряду зі зміною відстані до будівель сіл Добрянки і Піски з урахуванням кліматичних умов: Звіт про НДР (заключ.) / ННДІОП; № ДР 0107U004968; Инв. № 0308U001523. – К., 2007. – 23 с.*

5. *Пасечник А. М. Условия устойчивости карстовых полостей в горном массиве при статических нагрузках / Пасечник А. М. // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Наук.-вироб. збірник. – 2008. – Вип. № 2/2008(2). – С. 102–110.*

6. *Воробьев В. Д. Математическая модель распространения сейсмозрывных волн в неоднородном слоистом массиве горных пород / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, А. М. Пасечник, Н. И. Жукова // Научное обеспечение совершенствования методов производства открытых и подземных горных работ. Сб. науч. трудов. – 2009. – Кривой Рог: НИГРИ. – С. 93–99.*

7. *Воробьев В. Д. Исследование сейсмического действия массовых взрывов в различное время года при разработке Песковского месторождения гипса / В. Д. Воробьев, А. И. Крючков, А. М. Пасечник, Р. М. Сидор // Вісник НТУУ «КПІ». Серія "Гірництво". – 2008. – Вип. 17. – С. 25–34.*