

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С РАЗЛИЧНОЙ СТРУКТУРОЙ

Розглянуто особливості руйнування вибухом гірських порід різної структури та обґрунтовано параметри вибухових речовин для їх ефективного руйнування.

SUBSTATION OF CHOICE OF EXPLOSIVES PARAMETERS FOR ROCK WITH DIFFERENT STRUCTURE BLASTED BREAKING

The features of destruction by the explosion of mountain breeds of a different structure are considered and the parameters of explosives for their effective destruction are grounded

В начальный период развития теории проектирования взрыва за основной критерий разрушения принимали объемную массу породы, позднее – сопротивление породы сжатию и растяжению, а в настоящее время пытаются придать особое внимание в качестве определяющего значения структуры горных пород размеру их отдельностей, являющихся следствием трещиноватости, вне зависимости от ширины трещин и свойств заполняющего материала. Классификация пород по блочности приведена в табл. 1 [1].

Таблица 1 – Классификации пород по блочности

| Блочность массива | Категория трещиноватости | Среднее расстояние между трещинами, м | Удельная трещиноватость, м ⁻¹ | Содержание (%) в массиве отдельностей размером, мм | | |
|---|--------------------------|---------------------------------------|--|--|--------|--------|
| | | | | + 300 | + 700 | + 1000 |
| Мелкоблочный | I | до 0,1 | 10 | до 10 | 0 | Нет |
| Среднеблочный | II | 0,1-0,5 | 2-10 | 10-70 | до 30 | до 5 |
| Крупноблочный | III | 0,5-1 | 1-2 | 70-100 | 30-80 | 5-40 |
| Весьма крупноблочный | IV | 1,0-1,5 | 1,0-0,65 | 100 | 80-100 | 40-100 |
| Исключительно крупноблочный, практически монолитный | V | 1,5 | 0,65 | 100 | 100 | 100 |

В соответствии с приведенной классификацией предложена шкала удельного расхода ВВ, дифференцированная по заданной крупности дробления [2]. Согласно этой шкале, при одной и той же степени дробления затраты энергии на дробление пород с постоянной трещиноватостью изменяются в 1,5 раза в зависимости от прочности свойств, а на дробление пород постоянной прочности – в 3,5 раза в зависимости от блочности. Имеются также предложения устанавливать геометрические параметры зарядов ВВ в зависимости от степени трещиноватости,

с тем, чтобы в исключительно крупноблочных массивах пронизывать зарядом ВВ каждую отдельность.

При взрыве зарядов ВВ в среде с мелкоблочной структурой нет необходимости дробить отдельности, поэтому максимальное давление во взрывной полости должно быть небольшим. Доля энергии ВВ, идущая на дробление, в этом случае должна быть минимальной [3].

Имея ВВ с различными характеристиками, можно, применив соответствующую конструкцию заряда, получить любую, наперед заданную, форму взрывного импульса. Например, заряды с воздушными полостями или с инертными промежутками уменьшают пиковое давление во взрывной полости и изменяют длительность взрыва.

Рассмотрим заряды ВВ с одной или несколькими воздушными полостями. Длина части скважины, заполненной воздухом, пусть равна l_1 , а ВВ – l_2 . Пусть $l_1 + l_2 = l$. С момента детонации заряда во взрывной полости начнет устанавливаться среднее давление продуктов детонации (ПД). За время

$$t \approx \frac{l_2}{C_n}, \quad (1)$$

где C_n – начальная скорость звука в ПД, давление в полости, в основном, усредняется и будет равно

$$\bar{P} = \frac{P_n l_2^3 (l_2 + l')^{0,433}}{(l_2 + l_1)^{1,3}}, \quad (2)$$

где \bar{P} – усредненное давление; l' – определяет увеличение объема ПД при уменьшении давления до сопряженного; P_n – начальное давление в полости.

Эффективная длительность взрыва сплошного заряда и заряда с полостями равна

$$t_{1,2} = \frac{D_{1,2}}{2\bar{u}_{1,2}}. \quad (3)$$

Индекс “1” в (3) принадлежит сплошному заряду, а “2” – заряду с полостями. $D_{1,2}$ – условные диаметры полостей после расширения. $\bar{u}_{1,2}$ – средние скорости движения стенок полости, определяются из формулы

$$\bar{u}_{1,2} = 0,3u_{1,2}, \quad (4)$$

где $u_{1,2}$ – начальные скорости.

Начальные скорости движения стенок взрывной полости находятся из уравнений:

$$u_1 = \sqrt{(\bar{P}_1 - P_n)(V_n - V)} = C_n - C; \quad (5)$$

$$u_2 = \sqrt{(\bar{P}_2 - P_n)V_n \left(1 - \left(1 + \frac{P}{2,35 \cdot 10^{10}} \right)^{-1,4} \right)}, \quad (6)$$

где P , V_n – давление и удельный объем породы на фронте ударной волны (УВ).

Удельные объемы ПД после расширения равны

$$V_{a1} = V_n \left(\frac{P_n}{P_k} \right)^{0,33} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{0,77}; \quad V_{a2} = V_n \left(\frac{\bar{P}}{P_k} \right)^{0,33} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{0,77}, \quad (7)$$

где P_k – давление в точке сопряжения изоэнтроп; P_a – атмосферное давление.

Из выражений (7) легко найти диаметры полостей

$$D_1 = D_3 \left(\frac{P_n}{P_k} \right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{\frac{1}{2,6}}; \quad D_2 = D_3 \left(\frac{\bar{P}}{P_k} \right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{\frac{1}{2,6}}, \quad (8)$$

где D_3 – диаметр скважины.

Длительности взрывных импульсов будут равны

$$t_1 = \frac{D_3 \left(\frac{P_n}{P_k} \right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{\frac{1}{2,6}}}{2\bar{u}_1}; \quad t_2 = \frac{D_3 \left(\frac{\bar{P}}{P_k} \right)^{\frac{1}{6}} \left(\frac{P_k}{P_a} \right)^{\frac{1}{2,6}}}{2\bar{u}_2}. \quad (9)$$

Общую длину воздушных полостей в колонке заряда можно найти из формулы

$$l_1 = \frac{P_k^{1/1,3} (l_2 + l')^{1/3} l_2^{2,3}}{P_{opt}^{0,77}} - l_2, \quad (10)$$

где P_{opt} – оптимальное пиковое давление в полости для взрывания в сильно-трещиноватой среде.

Из (9) легко получить длительность взрыва в зависимости от длины воздушной полости и наоборот.

Имея несколько типов ВВ, можно, комбинируя их количество в скважине, получить требуемый взрывной импульс по длительности и амплитуде.

Усредненное давление в полости будет равно

$$P = \frac{\sum_{i=1}^k P_i V_i^3}{\sum_{i=1}^k \bar{V}_i^3}, \quad (11)$$

где P_i – давление в полости от i -го типа ВВ; V_i – объем ПД i -го ВВ; \bar{V}_i – объем ПД i -го ВВ при усредненном давлении; $i = 1, 2, 3, \dots, k$.

Длительность взрывного импульса комбинированного заряда ВВ приближенно находится из уравнений

$$\bar{t} = \frac{\bar{D}}{2\bar{u}}; \quad \bar{D} = D_3 \left(\frac{\bar{P}}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{6}}; \quad \bar{u} = 0,3u = 0,3 \sqrt{\frac{\bar{P} - P_y}{\rho_a} \left(1 - \left(1 + \frac{P_y}{P_a} \right)^{\frac{1}{4}} \right)} = 0,3C_n \left(1 - \left(\frac{P_y}{P_a} \right)^{\frac{1}{3}} \right), \quad (12)$$

где \bar{t} – длительность взрывного импульса; \bar{D} – конечный эффективный диаметр взрывной полости; P_y – начальное давление на фронте УВ в породе.

Амплитуда и длительность взрывного импульса на стенке взрывной полости для зарядов с водными и инертными промежутками нетрудно получить, воспользовавшись вышеприведенной методикой расчета.

Для разрушения среднеблочных пород применяются те же конструкции зарядов, что и для мелкоблочных. Исключением являются заряды с достаточно большими воздушными промежутками. Такие заряды имеют недостаточно большую площадь взрывного импульса [4].

Подбором ВВ в комбинированном заряде можно получить необходимую амплитуду и площадь взрывного импульса. Инертные промежутки эффективно уменьшают длительность взрыва. Пиковое давление в полости заряда с инертными промежутками зависит от ударной сжимаемости и плотности материала промежутка и может быть значительно выше, чем у заряда ВВ с воздушными полостями.

На рис. 1 показано изменение плотности гранита, воды, сухого и влажного отсева в зависимости от давления (при изоэнтروпийном процессе сжатия). Ударная сжимаемость и плотность материала промежутка определяет скорость установления среднего давления в скважине. Уменьшение амплитуды импульса определяется количеством и сжимаемостью инертного материала. Зависимость плотности от давления необходимо брать в виде:

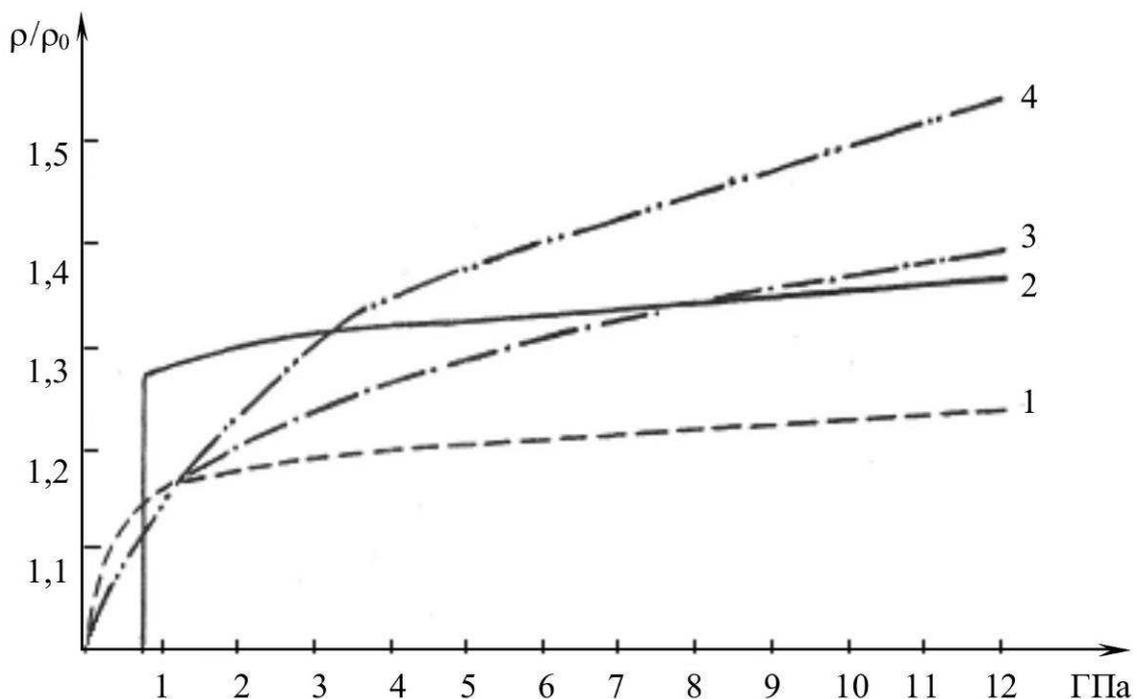
$$\text{для воды} \quad \rho = 3840 \left(\left(\frac{P_\epsilon}{P_{0\epsilon}} \right)^8 - 1 \right), \text{ кг/м}^3; \quad (13)$$

для гранита
$$\rho = 2,35 \cdot 10^5 \left(\left(\frac{P_{zp}}{P_{0zp}} \right)^4 - 1 \right), \text{ кг/м}^3 \quad (14);$$

для сухого отсева

$$\rho = 10^4 \text{ при } P \leq 1 \text{ ГПа}, \quad (15)$$

$$\rho = 2,35 \cdot 10^5 \left(\left(\frac{P_{zp}}{P_{0zp}} \right)^4 - 1 \right) \text{ при } P > 1 \text{ ГПа}. \quad (16)$$



1 – гранит; 2 – отсев; 3 – влажный отсев; 4 – вода

Рис. 1 – Изменение плотности различных материалов в зависимости от приложенного давления

Сжатие отсева (песка), заполненного водой, происходит по аддитивному закону.

На рис. 2 приведен график зависимости плотности песка с водой от давления

$$\rho = \alpha \rho_1 + (1 - \alpha) \rho_2 = \alpha \rho_{01} \left(\frac{P}{A_1} + 1 \right)^{1/m_1} + (1 - \alpha) \rho_{02} \left(\frac{P}{A_2} + 1 \right)^{1/m_2}, \quad (17)$$

где индекс 1 соответствует воде, а 2 – веществу частиц песка; α – часть объема, занимаемого водой; ρ_0, ρ – соответственно плотность при атмосферном давлении и давлении P ; A, m – коэффициенты в уравнении Тэта.

Рассчитать комбинированный заряд для разрушения среднеблочного массива можно по формулам (11)-(12).

При разрушении крупноблочного массива необходимо, чтобы максимально большое количество энергии ВВ шло на дробление. В данном случае большую роль играет форма взрывного импульса. Для разрушения крупноблочных пород необходимо применять заряды ВВ с большой площадью взрывного импульса.

Комбинированные заряды и заряды с водными и инертными промежутками в сочетании с высокобризантными ВВ могут увеличить дробящее действие заряда за счет создания неоднородного поля напряжений. При взрыве сплошного заряда порода разрушается, в основном, от сжимающих напряжений. В неоднородном поле порода разрушается еще и от сдвиговых и растягивающих напряжений [4].

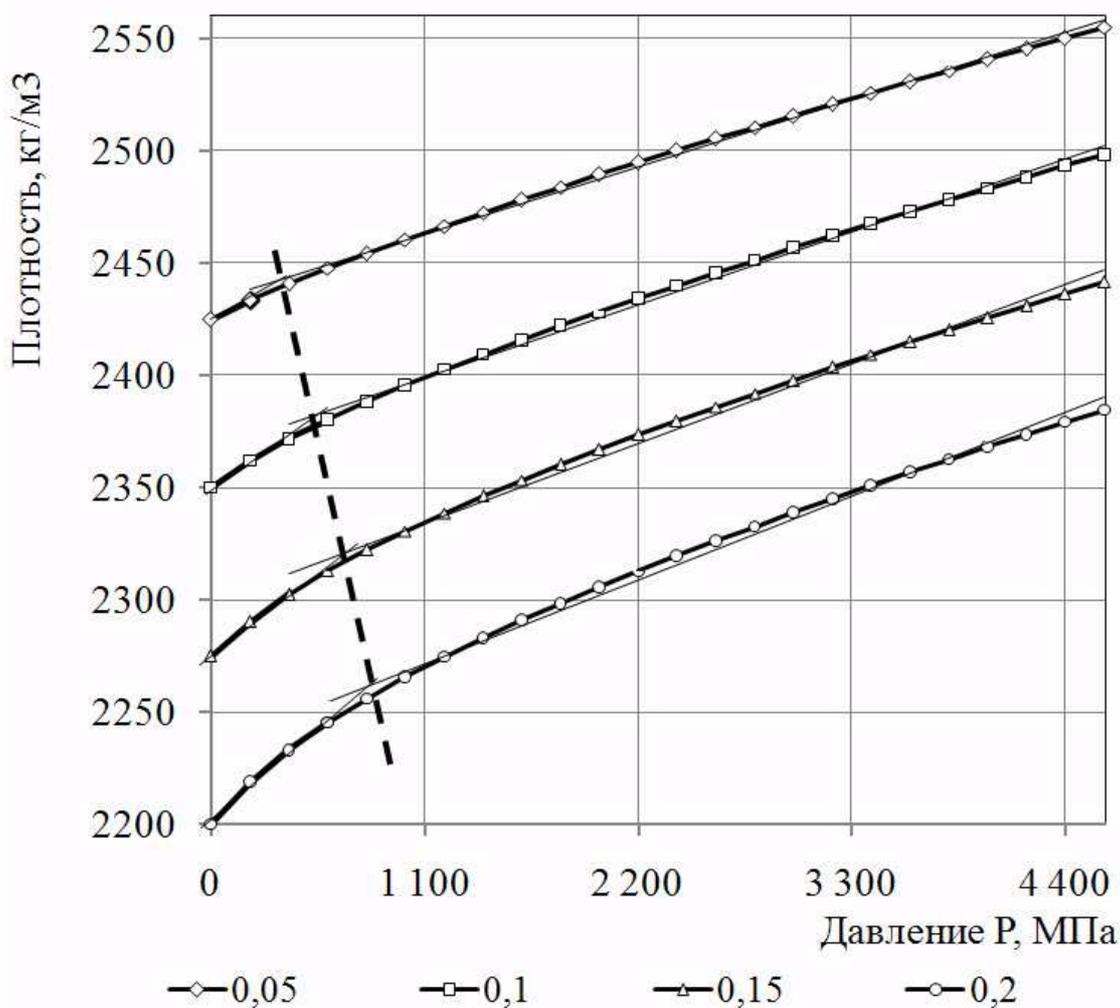


Рис. 2 – Зависимость плотности песка с водой от давления

Рассмотрим сплошной комбинированный заряд, составленный из чередующихся частей двух типов ВВ – 1ВВ и 2ВВ. 1ВВ имеет большую скорость детонации и плотность, а 2ВВ – малую. Иницируется заряд на серединах более бризантного ВВ. В этом случае ПД будут совершать пульсацию вдоль оси заряда к середине каждой части ВВ. Пульсации ПД приводят к появлению в среде у середины частей 1ВВ и 2ВВ попеременно сжимающих и растягивающих напряжений. Предел прочности гранита на разрыв приблизительно в десять раз меньше предела прочности на сжатие, следовательно, среда у середин частей ВВ (особенно в местах иницирования) будет разрушаться более интенсивно, чем при однородном заряде.

Если комбинированный заряд иницировать снизу (или сверху), то в породе у контактов ВВ, где происходит перегиб фронта ударной волны, возникают дополнительные сжимающие и растягивающие напряжения, приводящие к улучшению дробления. Дополнительные сжимающие напряжения возникают в породе при переходе детонационной волны из ВВ с малой скоростью детонации в ВВ с большой, а растягивающие – наоборот. Кроме того, у контактов ВВ возникают сдвиговые напряжения. Это можно показать, определив начальные параметры ударных волн в среде от каждой части ВВ. Начальная скорость стенок взрывной полости равна

$$u = \sqrt{\frac{P_y}{P_{огр}} \left(1 - \left(1 + \frac{P_y}{2,35 \cdot 10^{10}} \right)^{-0,25} \right)} = C_n \left(1 - \left(\frac{P_y}{P_n} \right)^{1/3} \right). \quad (18)$$

Давление P_y находится из формулы

$$P_y = 2,35 \cdot 10^{10} \left(\left(\frac{P_{огр}}{P_n} \right)^4 - 1 \right), \text{ Па.} \quad (19)$$

При $D_1 = 5500$ м/с, $\rho_{1ВВ} = 1000$ кг/м³, $D_2 = 3000$ м/с, $\rho_{2ВВ} = 900$ кг/м³ получим:

- начальные скорости ударных волн в породе – $D_{1y} = 6400$ м/с, $D_{2y} = 5680$ м/с;
- давления на фронте ударных волн в начальный момент времени – $P_{1н} = 5,8$ ГПа, $P_{2н} = 1,7$ ГПа;
- начальные скорости стенок полости – $u_1 = 355$ м/с, $u_2 = 115$ м/с.

Начальные параметры УВ от 1ВВ имеют значительно большие значения, чем от 2ВВ, что и приводит к сдвиговым напряжениям в среде у стыков ВВ.

Размеры частей ВВ можно оценить из (14). Исходя из вышеизложенного, количество пар должно быть максимально большим. Минимальные размеры каждой части ВВ определяются из требования нормальной детонации колонки заряда.

Заряды с водными промежутками, так же как и комбинированные заряды, создают неоднородное поле напряжений в массиве. У волн в воде малый коэффициент поглощения УВ при сравнительно небольшой плотности и достаточно большой сжимаемости при давлении 1-10 ГПа (рис. 1), поэтому она является хорошим материалом для инертного промежутка. Действительно, давление на фронте УВ в воде будет иметь перегиб образующей, то есть возникнет неоднородное поле напряжений.

При взрыве в среднеблочном массиве вода в основном раскрывает уже имеющиеся трещины и переизмельчение в зоне промежутка отсутствует. Сказанное можно повторить для заряда с инертными промежутками, заполненными водой.

Таким образом, подбором ВВ в комбинированном заряде и выбором материала инертного промежутка (по плотности, сжимаемости и коэффициенту затухания УВ) в заряде с инертным промежутком можно, в известных пределах, целенаправленно изменять амплитуду, длительность, площадь и форму взрывного импульса на стенке полости. Для разрушения сильнотрещиноватого массива необходимо применять заряды с малой амплитудой и площадью взрывного импульса. Таким требованиям удовлетворяют сплошные скважинные заряды с максимальной зоной химических реакций. Для разрушения среднетрещиноватого массива, как наиболее труднодробимого, необходимо применять заряды с большой амплитудой и площадью взрывного импульса. Наиболее пригодными для этого случая являются комбинированные заряды. Можно применять заряды с необходимым инертным промежутком. Заряды с большой амплитудой и небольшой длительностью взрывного импульса следует применять для разрушения крупноблочного массива. Такой взрывной импульс имеют заряды с инертными и водяными промежутками. Комбинированные заряды также хорошо применять для разрушения монолитных пород благодаря неоднородному полю напряжений, которое они создают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидюк Г.П. Удельные затраты энергии взрыва и эффективность ее использования на дробление горных пород / Г.П. Демидюк // Основные направления развития техники и технологии обогащения полезных ископаемых. - М.: Из-во Механобр, 1983. - С. 105-110.
2. Кутузов Б.Н. Физика взрывного разрушения горных пород / Б.Н. Кутузов, В.К. Рубцов – М.: МГИ, 1970.- 231 с.
3. Гаркуша И.П. Расчет параметров зарядов для отбойки мелкоблочных массивов горных пород / И.П. Гаркуша, В.Д. Петренко, В.П. Куринной // Геотех-ническая механика. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 1998. - Вып. 8. - С. 59-62.
4. Гаркуша И.П. Выбор зарядов для наиболее оптимального разрушения средне- и крупноблочных пород / И.П. Гаркуша, В.П. Куринной // Науковий вісник. – Дніпропетровськ: НГАУ, 1998. – № 1. – С. 67-68.