

УДК 622.235

А. Цэдэнбат

ОПТИМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА МЕРЗЛЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

Предложены критериальные уравнения позволяющие оптимизировать параметры буровзрывных работ при подготовке к выемке пород с включениями вечной мерзлоты.

Ключевые слова: взрыв, включения вечной мерзлоты, оптимизация параметров буровзрывных работ, критериальные уравнения.

A. Tsedenbat

THE OPTIMIZATION OF MAJOR DRILL AND BLAST PARAMETERS WITH AN ADDITIONAL EXPOSURE ON FROST INCLUSIONS

The paper introduces criterial equations enabling to optimize the parameters of drill and blast operations when preparing to excavate rocks with permafrost inclusions.

Key words: explosion, particles of the permafrost, parameter optimization of the drilling and blasting works, criteria equations.

Проведенное исследование и анализ механизма разрушения массива горных пород при наличии в нем мерзлых включений [1] позволяет прийти к выводу, что основной причиной появления негабаритов при взрывании только основных скважин, сетка которых определена по обычной методике (для однородного массива), является образование неразрушенных зон в пределах включения. Это связано с неодинаковыми прочностными характеристиками талого массива и мерзлого включения, что приводит к существенному снижению радиуса зоны регулируемого дробления в мерзлой части по сравнению с талой. В результате характер дробления по высоте основной сква-

жины, пройденной через талые и мерзлые слои, имеет ступенчатый вид.

Достичь исключения выхода негабаритов и более равномерного дробления пород в мерзлом включении можно только путем дополнительного воздействия на него. Для этого разработан способ взрывания горных пород с включениями мерзлоты [2,3], при котором внутри сетки основных скважин в пределах контура мерзлого включения производят бурение дополнительных скважин через центры неразрушенных зон и размещают в них заряды ВВ. Чтобы обеспечить равномерное дробление во всем объеме массива необходимо найти оптимальные размеры сетки основных и дополнительных скважин, а также конструкцию и параметры заряда ВВ.

Сетку основных скважин определяем из условия соприкосновения зон регулируемого дробления и из свойств талого массива [4, 5]:

$$a = 2b = 2r_0 \sqrt{\frac{p_0}{\sigma_p}} = 2r_0 D \sqrt{\frac{\rho_{ВВ}}{\sigma_p (\gamma + 1)}}, \quad (1)$$

где a - расстояния между скважинами, м; b - радиус зоны регулируемого дробления, м; r_0 - радиус скважины (заряда ВВ), м; p_0 - начальное давле-

ние продуктов детонации $p_0 = \frac{\rho_{BB} D^2}{\gamma + 1}$,

Па; σ_p - предел прочности талой породы на растяжение, Па; D - скорость детонации ВВ, м/с; ρ_{BB} - плотность ВВ, кг/м³; γ - показатель изоэнтропии продуктов детонации.

Учитывая, что показатель изоэнтропии в точке Жуге для большинства конденсированных ВВ $\gamma \approx 3$, выражение (1) упрощается:

$$a = 2b = r_0 D \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{\sigma_p}}, \quad (2)$$

Диаметры основных и дополнительных скважин принимаем одинаковыми, исходя из наиболее часто применяемого на разрезах Монголии в рассматриваемых условиях бурового оборудования ($r_0 = 0,08$ м). Плотность ВВ в скважине принята равной $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Графики зависимостей расстояния $a = 2b$ между основными скважинами от предела прочности на растяжение σ_p для талых пород при различных значениях скорости детонации ВВ приведены на рис. 1.

Непосредственно видно, что расстояние $a = 2b$ существенно зависит как от предела прочности, так и от скорости детонации ВВ. В частности, для алевролитов Баганурского месторождения, у которых $\sigma_p = 4,1$ МПа, при использовании в качестве ВВ гранулита игданита с $D = 2800$ м/с расстояние между основными скважинами составляет примерно 5 м. При прямоугольной сетке расстояния между основными скважинами и их рядами будут неодинаковыми и должны колебаться вблизи этого значения, например 6×4 м.

После определения сетки основных скважин и рационального типа ВВ для них необходимо осуществить

выбор оптимального типа ВВ для дополнительных скважин, проходимых в центрах неразрушенных зон. При этом выбор ВВ должен быть увязан с параметрами буровзрывных работ для основных скважин и прочностными свойствами мерзлых и немерзлых пород.

Известно, что радиус неразрушенной зоны во включении $r_{вкл}$ определяется формулой [1]:

$$r_{вкл} = \sqrt{2} \cdot b - b_m, \quad \text{м} \quad (3)$$

где b_m - радиус зоны регулируемого дробления мерзлой породы.

С учетом того, что основные скважины заряжаются одним типом ВВ, характеризуемым одинаковым начальным давлением p_0 в мерзлом включении и немерзлой породы, а также выражения (1) это соотношение переписывается в виде

$$\begin{aligned} r_{вкл} &= \sqrt{2} \cdot b - b_m = \sqrt{2} \cdot r_0 \sqrt{\frac{p_0}{\sigma_p}} - r_0 \sqrt{\frac{p_0}{\sigma_p^m}} = \\ &= r_0 \sqrt{p_0} \left(\sqrt{\frac{2}{\sigma_p}} - \sqrt{\frac{1}{\sigma_p^m}} \right), \quad \text{м} \end{aligned}$$

или

$$r_{вкл} = r_0 D \sqrt{\frac{\rho_{BB}}{\gamma + 1}} \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{\sigma_p}} - \sqrt{\frac{1}{\sigma_p^m}} \right), \quad (4)$$

где σ_p^m - предел прочности мерзлой породы на растяжение, Па.

Таким образом, радиус неразрушенной зоны во включении зависит от радиуса основной скважины, свойств принятого для них ВВ и прочностных свойств немерзлой и мерзлой слоев породы по высоте скважины. Для алевролитов Баганурского месторождения с $\sigma_p = 4,1$ МПа при использовании в качестве ВВ гранулита игданита с $D = 2800$ м/с и плотностью ВВ в скважине, равной $0,9 \cdot 10^3$ кг/м³ график зависимости (4) дан на рис. 2.

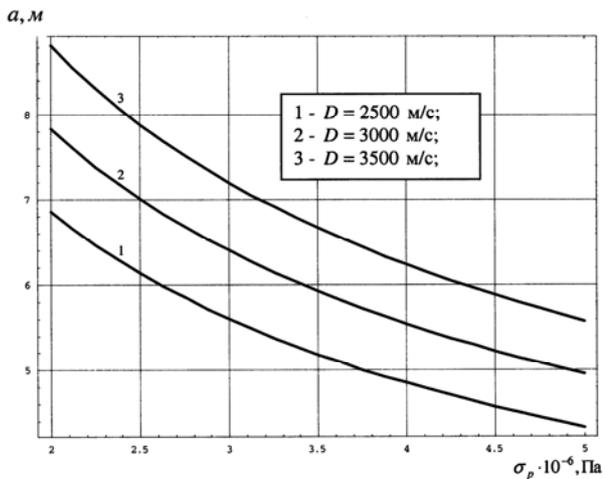


Рис. 1. Зависимости расстояния $a = 2b$ между основными скважинами от предела прочности на растяжение σ_p для талых пород при различных значениях скорости детонации ВВ D

Величина $r_{вкл}$ является монотонно возрастающей функцией от предела прочности на растяжение мерзлой породы, составляющей неразрушенную зону. Причем темп роста снижается по мере увеличения предела σ_p^M . Однако даже при малых значениях параметра σ_p^M радиус $r_{вкл}$ превышает 1 метр, т.е. неразрушенная при взрыве основной скважины мерзлая неразрушенная зона может иметь диаметр более двух метров. Это недопустимо с позиций образования негабаритов и

равномерности дробления породы. Поэтому заряд ВВ в дополнительной скважине должен обеспечить зону регулируемого дробления радиусом не менее $r_{вкл}$. Подставляя в уравнение [1]

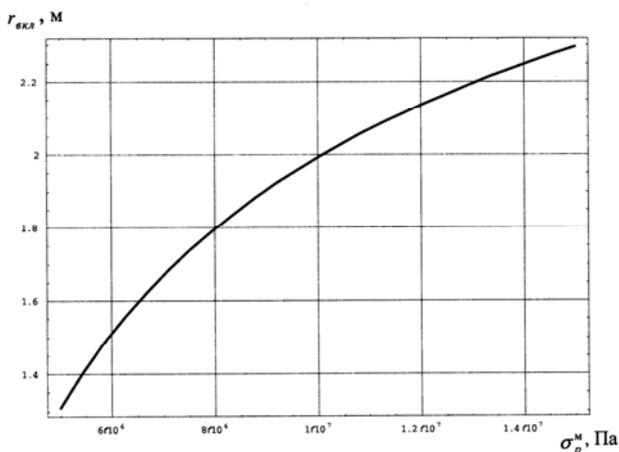
$$\frac{\rho_{ВВ}^M D_M^2}{\gamma_M + 1} = \sigma_p^M \left(\frac{\sqrt{2} \cdot b - b_M}{r_0} \right)^2, \quad (5)$$

где D_M - скорость детонации ВВ в дополнительных скважинах, м/с, величину $r_{вкл}$ согласно (4) получим

$$\frac{\rho_{ВВ}^M D_M^2}{\gamma_M + 1} = \sigma_p^M D^2 \frac{\rho_{ВВ}}{\gamma + 1} \left(\sqrt{\frac{2}{\sigma_p}} - \sqrt{\frac{1}{\sigma_p^M}} \right)^2.$$

В результате преобразований данное выражение переписывается в виде следующего безразмерного уравнения:

$$\frac{\gamma + 1}{\gamma_M + 1} \cdot \frac{\rho_{ВВ}^M D_M^2}{\rho_{ВВ} D^2} = 2 \frac{\sigma_p^M}{\sigma_p} - 2 \sqrt{\frac{2\sigma_p^M}{\sigma_p}} + 1, \quad (6)$$



Данное критериальное уравнение связывает отношение параметров зарядов ВВ в основных и дополнительных скважинах с функцией от отношения прочностных свойств (пределов

Рис. 2. Зависимость радиуса неразрушенной зоны во включении $r_{вкл}$ от предела прочности мерзлой породы на растяжение σ_p^M

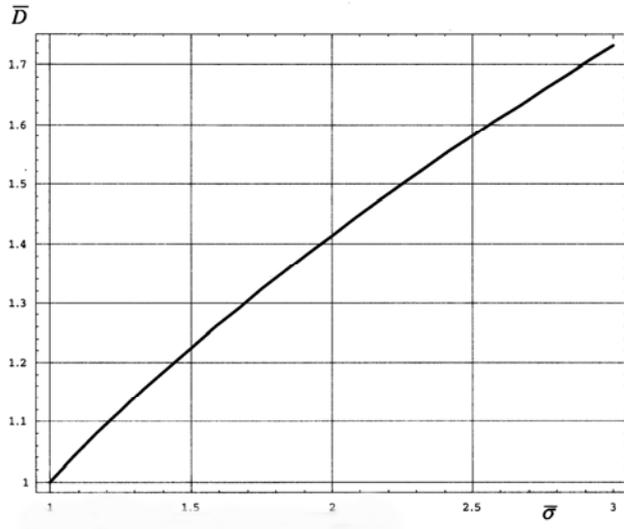


Рис. 3. Расчетная зависимость $\bar{D} = (\bar{\sigma})$

$$\frac{D_m}{D} = \sqrt{2 \frac{\sigma_p^m}{\sigma_p} - 2 \sqrt{2 \frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}} + 1}, \quad (8)$$

или

$$\bar{D} = \sqrt{2\bar{\sigma} - 2\sqrt{2\bar{\sigma}} + 1}, \quad (9)$$

$$\text{где } \bar{D} = \frac{D_m}{D}, \quad \bar{\sigma} = \frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}.$$

Полученные критериальные уравнения справедливы, когда выполняется условие

$$1,41 \cdot b \approx \sqrt{2} \cdot b > r_{\text{вкл}} > (\sqrt{2} - 1) \cdot b \approx 0,41 \cdot b \quad (10)$$

В противном случае зона регулируемого дробления дополнительных скважин не будет покрывать всю область неразрушенных зоны. Для обеспечения гарантированного разрушения во всей этой области необходимо ввести новое условие

$$r_{\text{вкл}} = b = r_0 \sqrt{\frac{p_0}{\sigma_p}}. \quad (11)$$

Объединяя уравнение (5) и условие (11), находим следующее критериальное уравнение

$$\zeta \cdot \frac{D_m}{D} = \sqrt{\frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}}. \quad (12)$$

При условии $\zeta = 1$ данное критериальное уравнение упрощается и имеет вид

$$\frac{D_m}{D} = \sqrt{\frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}}. \quad (13)$$

или

$$\bar{D} = \sqrt{\bar{\sigma}}. \quad (14)$$

прочности на растяжение) мерзлого включения и немерзлого массива.

Следовательно, если известны параметры ВВ в основных скважинах, то параметры ВВ в дополнительных скважинах определяются как некоторая функция отношения $\frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}$.

Характерно, что при выводе уравнения (6) в результате сокращения выпадает радиус r_0 (при условии, что он одинаков для основных и дополнительных скважин). Таким образом, в критериальное уравнение входят только параметры заряда ВВ и прочностные свойства породы.

Представим уравнение (6) в виде

$$\zeta \cdot \frac{D_m}{D} = \sqrt{2 \frac{\sigma_p^m}{\sigma_p} - 2 \sqrt{2 \frac{\sigma_p^m}{\sigma_p}} + 1}, \quad (7)$$

$$\text{где } \zeta = \sqrt{\frac{\gamma + 1}{\gamma_m + 1} \cdot \frac{\rho_{\text{ВВ}}^m}{\rho_{\text{ВВ}}}}.$$

В частном случае, когда показатели изэнтропии и плотности ВВ в основных и дополнительных скважинах равны ($\zeta = 1$), то уравнение (7) приводится к виду

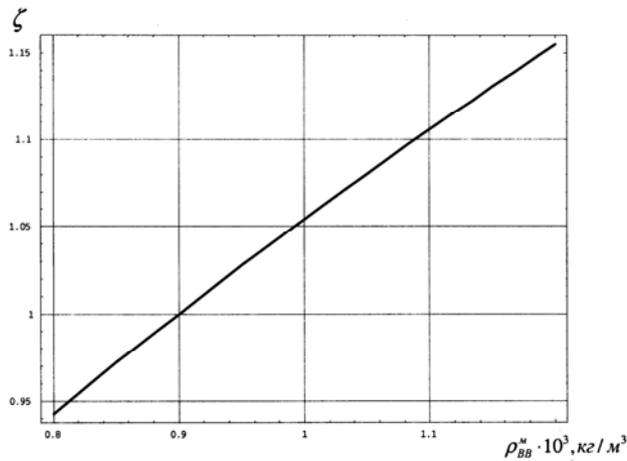


Рис. 4. Зависимость коэффициента ζ от плотности ВВ

$\rho_{ВВ}^m$ в дополнительных скважинах

Для пород Баганурского месторождения $\bar{\sigma} = 1,75$ и для гранулита игданита, применяемого для основных скважин $D = 2800$ м/с и $\rho_{ВВ} = 0,8 \div 0,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Поскольку для конденсированных ВВ имеем $\gamma \approx 3$, то коэффициент ζ имеет вид

$$\zeta = \sqrt{\frac{\rho_{ВВ}^m}{0,9 \cdot 10^3}}$$

Характер изменения коэффициента ζ от предела $\rho_{ВВ}^m$ представлен на рис. 4.

Видно, что в пределах изменения $\rho_{ВВ}^m$ от $0,8 \cdot 10^3$ кг/м³ до $1,2 \cdot 10^3$ кг/м³ коэффициент ζ увеличивается от 0,94 до 1,15. Поскольку наибольшее влияние на выбор ВВ оказывает скорость детонации, примем в первом приближении $\zeta = 1$ и по упрощенному критериальному уравнению (14) находим $\bar{D} = 1,323$. Следовательно, скорость детонации заряда ВВ в дополнительной скважине составит $D_m = \bar{D} \cdot D = 2800 \cdot 1,323 = 3704$ м/с.

Наиболее близкой к этому значению скоростью детонации обладает граммонит 79/21 [5]. Пределы изменения плотности для этого ВВ составляют $\rho_{ВВ}^m = 0,9 \div 1,0$, что, как видно по графику на рис. 4, вполне оправдывает принятое приближение $\zeta = 1$.

Таким образом, применительно к Баганурскому месторождению Монголии для основных скважин целесообразно использовать гранулит игданит, а

Назовем величины \bar{D} и $\bar{\sigma}$, соответственно, приведенной скоростью детонации и приведенным пределом прочности на растяжение. График расчетной зависимости $\bar{D}(\bar{\sigma})$, полученный по уравнению (14), представлен на рис. 3.

Критериальные уравнения имеют общий характер и позволяют независимо от пород конкретного месторождения получить для массивов с включениями необходимые параметры заряда ВВ для дополнительных скважин, если известны таковые параметры для основных скважин. Как указывалось ранее, параметры заряда ВВ для основных скважин определяются по стандартной методике.

Для пород данного месторождения по данным экспериментальных исследований определяют приведенный предел прочности $\bar{\sigma}$. Далее по критериальным зависимостям или соответствующим графикам, приведенным выше, находят приведенную скорость детонации \bar{D} . Затем, используя соотношение $\bar{D} = \frac{D_m}{D}$ или $D_m = \bar{D} \cdot D$, можно получить скорость детонации D_m для дополнительных скважин.

для дополнительных – графмит 79/21. Предложенные методика расчета и способ взрывания горных пород с включениями мерзлоты [2,3] используются на разрезе Баганур, где на участке 5 с линзообразными включениями вечной мерзлоты достигнуто снижение выхода негабарита с 17,5 до 7,5% и среднего размера куска с 0,5 до 0,35 м.

Необходимо также отметить, что указанные методика и способ с полным основанием могут быть распространены и на технологию ведения БВР в сложноструктурных массивах при взрывании пород с твердыми пропластками или включениями в условиях отсутствия мерзлоты.

Список литературы

1. *Белин В.А., Дугарцыренов А.В., Цэдэнбат А.* Взрывание неоднородных массивов горных пород с вечномерзлыми линзообразными включениями. Взрывное дело: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. - 2007. - № ОВ7. - С. 266-272. – М.: Издательство "Мир горной книги".

2. *Белин В.А., Трусов А.А., Батсуурь Л., Гомбосурэн П., Цэдэнбат А.* Способ взрывания горных пород с включениями мерзлоты. Патент Российской Федерации на изобретение № 2263877. Опубликовано: 10.11.2005 Бюл. № 31.

3. *Белин В.А., Трусов А.А., Цэдэнбат А.* Особенности ведения взрывных работ в

условиях вечной мерзлоты на угольных разрезах Монголии. Взрывное дело: Сборник научных трудов. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. - 2007. - № ОВ7. - С.113-118. – М.: Издательство "Мир горной книги".

4. *Крюков Г.М., Глазков Ю.В.* Феноменологическая квазистатистическая теория деформирования и разрушения материалов взрывом промышленных ВВ. Взрывное дело: Сборник научных трудов. Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2003. - № 11.– М.: МГУ, - 67 с.

5. *Орленко Л.П.* Физика взрыва и удара. – М.: Физматлит, 2006. – 304 с. **ИЛАС**

Коротко об авторе

Цэдэнбат Ариунжаргал - аспирант кафедры "Взрывное дело",
Московский государственный горный университет,
Moscow state mining university, Russia, ud@msmu.ru

