

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ДИАМЕТРА СКВАЖИН ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ**

**Фролов А.А.**

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина*

*Предложено для определения рационального диаметра скважин при ведении буровзрывных работ на карьерах использовать технико-экономические показатели бурения и взрывания. Представлена расчетная формула для определения рационального диаметра скважинного заряда. Получена графическая зависимость для определения рационального диаметра скважины при конкретных технико-экономических показателях для различной степени трещиноватости горного массива.*

Эффективное управление процессом взрывного разрушения скальных горных массивов является одной из важнейших научно-технических задач разработки полезных ископаемых. Решение ее обеспечивает уменьшение затрат как на проведение буровзрывных работ (БВР) в карьере, так и в целом на добычу полезных ископаемых.

Практический опыт проведения БВР на карьерах свидетельствует о том, что получение необходимого качества взрывного дробления скальных пород только за счет увеличения удельного расхода взрывчатых веществ (ВВ) является не всегда эффективным. Поэтому возникает потребность в разработке и совершенствовании иных способов управления взрывным разрушением, которые позволят получать нужное качество дробления горной массы без увеличения затрат на взрывные работы [1 – 4]. Поскольку диаметр скважинного заряда определяет основные параметры буровзрывных работ, то совершенствование методики определения рационального диаметра взрывных скважин на карьерах является актуальной научно-технической задачей.

На современных карьерах применяют скважины диаметром от 100 до 320 мм. К настоящему времени нет однозначного решения о наиболее рациональном диаметре скважин. В частности, уменьшение диаметра скважин приводит к увеличению скорости бурения. Однако при этом производительность бурового станка по общему показателю выхода горной массы снижается по сравнению со скважинами большого диаметра. В

каждом конкретном случае целесообразность применения определенного диаметра скважины должна проверяться технико-экономическим расчетом с учетом необходимой степени дробления породы, качества проработки подошвы уступа, производительности бурового и горно-транспортного оборудования.

Авторы работы [5] отмечают, что при меньших диаметрах зарядов уменьшаются заколы по линии зарядов вглубь массива, уменьшается объем переизмельчения породы вокруг заряда и происходит распространение энергии по массиву с меньшими потерями. Однако на некоторых предприятиях при уменьшении диаметра заряда с 200 до 100 мм не было получено существенного снижения затрат на БВР. Это объясняется тем, что удельные затраты на использование скважин уменьшенного диаметра значительно выше.

В [6] исследовано влияние диаметра заряда на эффективность открытых горных работ Кривбасса. Было рекомендовано для железорудных карьеров, характеризующихся наличием сильно- и средне трещиноватых горных массивов, применять скважины диаметром 300 мм, как имеющие наиболее эффективные технологические и энергетические показатели.

В работе [7] отмечается, что резервом повышения эффективности БВР в карьере на больших глубинах может быть переход на применение скважин оптимального диаметра. Для этого была разработана математическая модель определения диаметра скважины, которая базируется на общих аспектах взрывного дела.

В то же время некоторые ученые отмечают, что качество дробления горной массы, хотя зависит от диаметра заряда, однако не является определяющим из числа общих параметров БВР [8].

Таким образом, вышеприведенный анализ предыдущих исследований показал, что вопросы обоснования выбора рационального диаметра скважинного заряда ВВ для разрушения скальных горных пород на карьерах исследованы не в полной мере и являются неоднозначным. Поэтому целью работы является совершенствование методики определения рационального диаметра скважинного заряда для конкретных горно-геологических условий отработки месторождения.

Для определения рационального диаметра скважинного заряда на карьерах предлагается использовать методику, которая основывается на технико-экономической оценке БВР [9, 10].

В целом общие удельные затраты на буровзрывные работы составляют, руб/м<sup>3</sup>

$$C_{\text{БВР}} = C_{\text{Б}} + C_{\text{ВР}} \quad (1)$$

где  $C_{\text{Б}}$  – удельные затраты на бурение скважин, руб/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{ВР}}$  – удельные затраты на взрывные работы, руб/м<sup>3</sup>.

Удельные затраты на бурение можно представить в виде, руб/м<sup>3</sup>

$$C_{\text{Б}} = \frac{c_{\text{бур}}}{B}, \quad (2)$$

где  $c_{\text{бур}}$  – эксплуатационные затраты на бурение 1 м скважин, руб/м;

$B$  – выход горной массы с 1 м скважины, м<sup>3</sup>/м.

Расходы на взрывные работы, руб/м<sup>3</sup>

$$C_{\text{ВР}} = c_{\text{ВВ}}q, \quad (3)$$

где  $c_{\text{ВВ}}$  – стоимость 1 кг ВВ с учетом расходов на зарядание скважин, руб/кг;

$q$  – расчетный удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>.

Выход горной массы с 1 м скважины с учетом коэффициента использования скважины составляет

$$B = k_{\text{в}} \frac{p}{q}, \quad (4)$$

где  $k_{\text{в}}$  – коэффициент использования скважины ( $k_{\text{в}}=0,65-0,75$ );

$p$  – вместимость скважины, кг:

$$p = \frac{10^{-6} \pi d_3^2}{4} \Delta, \quad (5)$$

где  $d_3$  – диаметр скважинного заряда, мм;

$\Delta$  – плотность зарядания ВВ в заряде, кг/м<sup>3</sup>.

Удельный расход ВВ в зависимости от диаметра скважинного заряда [9] рекомендовано определять по формуле, кг/м<sup>3</sup>

$$q = q_{\text{р}} (0,6 + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d_3) k_{\text{п}} \quad (6)$$

где  $q_{\text{р}}$  – расчетный удельный расход ВВ для разрушения горного массива, кг/м<sup>3</sup>;

$$q_p = 0,13\gamma^4\sqrt{f}, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – плотность горной породы, т/м<sup>3</sup>;

$f$  – коэффициент крепости по шкале проф. Протоdjeяконова;

$d_0$  – средний размер отдельности в горном массиве, м;

$k_n$  – поправочный коэффициент, в случае, если максимально допустимый размер куска разрушенной горной массы  $d_n$  не 500 мм:

$$k_n = \sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_n}\right)^2}. \quad (8)$$

С учетом формул (2 – 8) выражение для определения общих удельных затрат на буровзрывные работы, после определенных преобразований, будет иметь вид

$$C_{\text{БВР}} = 0,13\gamma^4\sqrt{f}\sqrt[5]{\left(\frac{500}{d_n}\right)^2} \times \left( 0,6c_{\text{БВ}} + 3,3 \cdot 10^{-3} d_0 d_3 c_{\text{БВ}} + \frac{2,4c_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d_3^2 \Delta k_b} + \frac{13,2 \cdot 10^{-3} d_0 c_{\text{бур}}}{10^{-6}\pi d_3 \Delta k_b} \right). \quad (9)$$

Для определения рационального значения диаметра скважинного заряда для конкретных горно-геологических условий разработки месторождения возьмем частную производную из выражения (9) по  $d_3$  и приравняв ее к нулю, получим после преобразования неполное кубическое уравнение

$$d_3^3 - \frac{4 \cdot 10^6 c_{\text{бур}}}{\pi k_b c_{\text{БВ}} \Delta} d_3 - \frac{1,45 \cdot 10^9 c_{\text{бур}}}{\pi k_b d_0 c_{\text{БВ}} \Delta} = 0. \quad (10)$$

Решением уравнения (10) будет следующее выражение для диаметра скважинного заряда [10]:

$$d_3 = 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}} k_{\text{в}} \Delta} \left( \frac{0,33}{d_0} + \sqrt{\frac{0,11}{d_0^2} - \frac{0,22 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}} k_{\text{в}} \Delta}} \right)} +$$

$$+ 10^3 \sqrt[3]{\frac{c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}} k_{\text{в}} \Delta} \left( \frac{0,33}{d_0} - \sqrt{\frac{0,11}{d_0^2} - \frac{0,22 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}} k_{\text{в}} \Delta}} \right)}. \quad (11)$$

На сегодняшний день наиболее распространенными ВВ являются эмульсионные взрывчатые вещества, плотность заряжения которых в среднем составляет  $\Delta=1250 \text{ кг/м}^3$ , а среднее значение коэффициента использования скважины –  $k_{\text{в}}=0,7$ . С учетом этого формула (11) окончательно примет вид

$$d_3 = 100 \sqrt[3]{\frac{0,8 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}}} \left( \frac{0,33}{d_0} + \sqrt{\frac{0,11}{d_0^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}}}} \right)} +$$

$$+ \sqrt[3]{\frac{0,8 c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}}} \left( \frac{0,33}{d_0} - \sqrt{\frac{0,11}{d_0^2} - \frac{1,76 \cdot 10^{-4} c_{\text{бур}}}{c_{\text{ВВ}}}} \right)}. \quad (12)$$

На основании (12) получена графическая зависимость определения рационального диаметра скважины для различной трещиноватости горного массива (рис. 1) при следующих технико-экономических показателях: эксплуатационные затраты на бурение 1 м скважин составляют  $c_{\text{бур}} = 700 \text{ руб/м}$ , стоимость 1 кг ВВ –  $c_{\text{ВВ}}=40 \text{ руб/кг}$ . Трещиноватость горного массива учитывается посредством среднего размера естественной отдельности  $d_0$ . Для I категории трещиноватости среднее значение составляет  $d_0=0,05 \text{ м}$ ; для второй категории –  $d_0=0,3 \text{ м}$ ; для III категории пород –  $d_0=0,75 \text{ м}$ ; для IV категории –  $d_0=1,25 \text{ м}$ ; для V категории –  $d_0=1,75 \text{ м}$ .

Таким образом, по результатам научных исследований представлена расчетная формула для определения рационального диаметра скважинного заряда ВВ, которая связывает стоимостные показатели бурения и взрывания, а также характеристику трещиноватости горного массива.

Анализ графической зависимости, полученной из формулы (12), показывает, что при приведенных выше технико-экономических показателях бурения и взрывания, рациональными будут

следующие диаметры скважинного заряда: для практически монолитного массива – 200 мм, для средне трещиноватого – 216 и 250 мм, для сильно трещиноватого горного массива – 320 мм.

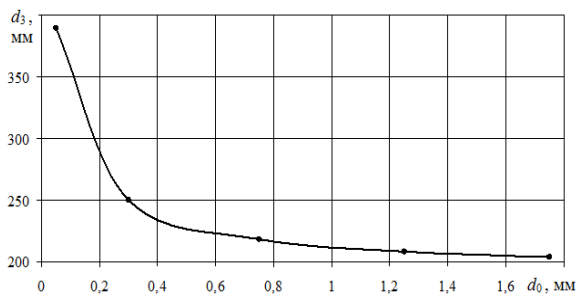


Рис. 1 – Значения рационального диаметра скважины в зависимости от среднего размера естественной отдельности горного массива

### Библиографический список

1. Тищенко С.В. Особенности механизма разрушения горных пород дифференцированными скважинными зарядами взрывчатых веществ / С.В. Тищенко, Г.И. Еременко, К.А. Федин // *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.* – 2012. – № 32. – С. 25 – 28.

2. Frolov O. Establishment of effective technological parameters at the contour blasting of borehole charges /O. Frolov, T. Kosenko, Yu. Maltseva // *Современные ресурсосберегающие технологии горного производства. Научно-производственный журнал. Кременчуг: КрНУ, 2018. – Вып. 1/2018 (21). – С. 29–37.*

3. Шапурін О.В. Оптимізація комбінованого буріння свердловин з утворенням котловин великого діаметру / О.В. Шапурін, П.М. Синичич // *Вісник Криворізького національного університету: Зб. наук. праць.* – 2015. – Вып. 39. – С. 107 – 113.

4. Ефремов Э.И. Влияние диаметра скважины на площадь контакта взрывчатого вещества с разрушаемой породой и на выход мелких фракций / Э.И. Ефремов, В.А. Никифорова, Ю.Н. Чебенко // *Современные ресурсо-сберегающие технологии горного производства. Научно-производственный журнал. Кременчуг, 2012. Вып. 2/2012(10). С. 9–15.*

5. Фролов А.А. Проблемы выбора рационального диаметра скважинных зарядов на карьерах / Ю.С. Мальцева, А.А. Фролов //

*Материалы 7-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Опыт прошлого – взгляд в будущее» – Тула: Тульский государственный университет.– 2017. –С. 30-35.*

6. Шапурин А.В. О влиянии диаметра заряда на эффективность открытых горных работ / А.В. Шапурин, А.С. Левуцкий, В.П. Темный // Разработка рудных месторождений: сборник научных трудов. – 2010. – №93. – С. 23-27.

7. Мец С.Ю. Эффективный комплекс буровзрывных работ при отработке уступов увеличенной высоты /С.Ю. Мец, А.Ю. Антонов Гірничий вісник: зб. наук. праць. – 2014. – № 97. – С. 7–11.

8. Шапурін О.В. Дослідження взаємозв'язків між властивостями гірських порід, їх енергонасичення при підриванні і кускуватістю у розвалі / О.В. Шапурін, В.М. Серебреніков, Є.М. Швець // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2012. – № 30. – С. 18 – 23.

9. Кутузов Б. Н. Выбор рационального диаметра взрывных скважин на карьерах / Б.Н. Кутузов, А.А. Вареничев // Горн. журн. –1976. –№ 8. –С. 47-51.

10. Фролов О. О. Визначення ефективного діаметру свердловинного заряду з урахуванням техніко-економічної оцінки буропідривних робіт / О.О. Фролов, Ю.С. Мальцева // Вісник Криворізького національного університету: Зб. Наук. Праць. – 2018. – Вип.46. – С. 9 – 14.

УДК 622.2

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ПРИ ПОДЗЕМНОМ СКВАЖИННОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ Хайруллаев Н.Б., Абен Х.Х., Рахманбердиев А.**

*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева  
ТОО "ДП "ОРТАЛЫК", г. Шымкент, Казахстан*

*В статье приведены данные о запасах урановой руды в Республике Казахстан, геологические особенности и способ их разработки подземным скважинным выщелачиванием. Описаны преимущества и недостатки, основным из которых является кольматация фильтров и прифильтровых зон. На основе анализа известных способов интенсификации подземного выщелачивания предложено использовать эф-*