

СХЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ЦИКЛИЧНОГО ЗВЕНА ЦПТ

С. Н. Жариков, В. А. Кутуев

Charge initiation schemes for ensuring high-performance operation of cyclic-flow technology cyclic link

S. N. Zharikov, V. A. Kutuev

The authors consider the issue of ensuring the quality of crushing rock mass by drilling and blasting method for high productivity of a cyclic link of a cyclic-flow technology complex. The article contains recommendations for calculating certain parameters of drilling and blasting operations, such as the width of the retaining wall $B_{p,c}$, the collapse with account for the retaining wall B_r , the width of the collapse of the rock mass B_ϕ when blasting onto a free surface (for the first row of vertical wells and for the first series of inclined wells), the width of the collapse from the first series of wells B_1 , the deceleration time τ , the coefficient k_p that takes into account the incline angle of wells β to the horizon. The authors prove the expediency of using a retaining wall in explosions of technological blocks. The authors raise the question about the management of detonation characteristics of explosives produced in the field of application for the most rational impact of an explosion on a rock mass. Since the technological schemes for preparing the rock mass to the excavation, which ensure the high-performance operation of the cyclic link of the cyclic-flow technology, can be different, then the choice of a specific drilling and blasting circuit is depends on the geological conditions and elements of the development system. As a preliminary method of breaking, one can consider the explosion of charges along the diagonal (diagonal blasting schemes) on the retaining wall. This method provides sufficient reliability of technological explosions, and with the development of modern means of blasting with decelerations between charges of more than 67 ms, there are nearly no back emissions.

Keywords: mining technology; drilling and blasting operations; explosion; charge initiation schemes; explosives.

Рассмотрен вопрос обеспечения качества дробления горной массы буровзрывным способом для высокой производительности циклического звена комплекса циклично-поточной технологии. Приведены рекомендации по расчету некоторых параметров буровзрывных работ, таких как ширина подпорной стенки $B_{p,c}$, развал с учетом подпорной стенки B_r , ширина развала горной массы B_ϕ при взрывании на свободную поверхность (при первом ряде вертикальных скважин и при первом ряде наклонных скважин), ширина развала от первого ряда скважин B_1 , время замедления τ , коэффициент k_p , учитывающий угол наклона скважин β , град. к горизонту. Отражена целесообразность применения подпорной стенки при взрывах технологических блоков. Поставлен вопрос об управлении детонационными характеристиками взрывчатых веществ, изготавливаемых в местах применения, для наиболее рационального воздействия взрыва на горный массив. Так как технологические схемы подготовки горной массы к выемке, обеспечивающие высокопроизводительную работу циклического звена циклично-поточной технологии, могут быть различны, то выбор конкретной схемы буровзрывной отбойки определяется геологическими условиями и элементами системы разработки. В качестве предварительного способа отбойки можно рассматривать взрывание зарядов по диагонали (диагональные схемы взрывания) на подпорную стенку. Данный способ обеспечивает достаточную надежность технологических взрывов, а с развитием современных средств взрывания при замедлениях между зарядами более 67 мс обратные выбросы в большинстве случаев исключены.

Ключевые слова: технология горных работ; буровзрывные работы; взрыв; схемы инициирования зарядов; взрывчатые вещества.

Для высокой производительности циклично-поточной технологии (ЦПТ) буровзрывные работы должны обеспечивать достаточное качество дробления горной массы при минимальном сейсмическом эффекте. Указанная задача на практике решается применением при отбойке выемочных блоков короткозамедленного взрывания (КЗВ), при нем сейсмический эффект значительно снижается, а схемы последовательности подрыва зарядов обеспечивают направленное действие взрыва в зависимости от условий расположения забоев. При этом применяются следующие основные схемы взрывания, указанные в таблице [1].

Выбор схемы взрывания для конкретных условий зависит от технологических требований к результатам взрыва и связан с решением следующих основных задач взрывной отбойки: организация дополнительных свободных поверхностей для нормальной работы зарядов (врубные схемы); создание взрывом зарядов первой серии по контуру выемочного блока экрана из взорванной горной массы для снижения техногенного воздействия на законтурный массив; закрытие (схлопывание) естественных трещин для организации наиболее равномерного радиуса работы зарядов (наилучший эффект достигается при подвижке массива вкрест простирания трещин) [2].

Следует отметить, что, как правило, выбор схем взрывания осуществляется при отсутствии информации о естественном состоянии горного массива в границах выемочных блоков (коэффициент структурного ослабления горных пород, направление трещин). Поэтому для снижения повышенного выхода энергии в направлении откоса уступа применяют подпорную стенку из ранее взорванной горной массы. Однако при этом способе возможен обратный выброс горной породы на вышележащий уступ. В связи с этим оптимальным вариантом при подпорной стенке являются диагональные схемы, которые обеспечивают четкую линию отрыва за последним рядом скважин и минимальное заколообразование в тыл массива. Обратные выбросы в этом случае исключаются путем подбора оптимального времени замедления между зарядами.

Ширину подпорной стенки можно определить согласно:

$$B_{п.с} = k_p W \left(\frac{\sqrt{2k_{и.в} q_{п.с} eE}}{\sigma_{ск}} \right),$$

где k_p – коэффициент разрыхления горной массы (1,05–1,2); W – линия сопротивления по подошве, м; $k_{и.в}$ – эмпирический коэффициент, учитывающий использование энергии взрыва на дробление и перемещение горной массы. В зависимости от величины удельного расхода $ВВ$ этот коэффициент колеблется в пределах 0,04–0,2; e – удельная теплота взрыва, Дж/кг; E – модуль упругости взрываеваемой горной массы, Па; $\sigma_{ск}$ – предел прочности пород при одноосном сжатии, Па.

Развал с учетом подпорной стенки:

$$B_p = \left(1 - \frac{(B_{п.с})^{3/2} (k_p W + B_{п.с.макс})}{(B_{п.с.макс})^{3/2} (k_p W + B_{п.с.})} \right) B_\phi,$$

где $B_{п.с.макс}$ – предельная ширина подпорной стенки, при которой отсутствует развал горной массы. На основании опытных данных ее величина зависит от крепости пород и принята равной:

Коэффициент крепости	17–20	10–17	4–10
Предельная ширина подпорной стенки, м	45	40	30

Ширина развала горной массы B_ϕ при взрывании на свободную поверхность:

Основные схемы короткозамедленного взрывания [1].

Группы и варианты схем	Условия применения	Схемы
<i>Продольные</i>		
Порядные последовательные	Фронтальный забой, подобранный откос уступа, легко взрывающиеся породы	
Порядные врубные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, не менее трех рядов скважин, породы средней и ниже средней взрываемости, необходимость уменьшения развала	
	Траншейный забой, легко взрывающиеся породы	
<i>Поперечные</i>		
Порядные последовательные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, не менее четырех рядов скважин, породы средней и ниже средней взрываемости, откос уступа обнажен во фланге	
	Траншейный забой, подобранный откос уступа, небольшая протяженность взрываемого блока, породы средней и ниже средней взрываемости	
Порядные врубные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, породы средней и ниже средней взрываемости, не менее четырех рядов скважин, необходимость уменьшения развала	
<i>Диагональные</i>		
Порядные последовательные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, сложное строение массива, не менее четырех рядов скважин, имеется ограничение по сейсмическому эффекту	
Порядные врубные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, сложное строение массива, не менее четырех рядов скважин, имеется ограничение по сейсмическому эффекту	
Треугольные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, трудно взрывающиеся породы сложной структуры	<p style="text-align: center;">Схемы с ломаной и кривой линиями одновременно взрывающихся зарядов</p>

Треугольные	Те же породы, но траншейный забой и подобранный откос уступа		
Трапецевидные	Фронтальный забой, подобранный и неподбранный откосы уступа, трудновзрываемые породы сложной структуры		
Трапецевидные	То же, но траншейный забой		
Трапецевидные	Фронтальный забой, неподбранный откос уступа, значительное число скважинных зарядов. Трудновзрываемые горные породы		

при первом ряде вертикальных скважин

$$B_{\phi} = B_1 + (n_p - 1)b;$$

при первом ряде наклонных скважин

$$B_{\phi} = B_1 + n_p b,$$

где B_1 – ширина развала от первого ряда скважин; n_p – количество рядов вертикальных скважин;

$$B_1 = k_s k_n k_{\beta} H_y \sqrt{q_{np}},$$

где k_s – коэффициент дальности отброса горной массы, зависящий от принятого интервала замедления.

Время замедления, мс	25	50	75
Коэффициент дальности отброса	0,9	0,85	0,8

Время замедления может быть ориентировочно рассчитано по выражению

$$\tau = W k_{\tau},$$

где k_{τ} – коэффициент, учитывающий категорию пород по трещиноватости (I – 6, II – 5, III – 4, IV – 3, V – 1,5–0,5); k_n – коэффициент, характеризующий взрываемость пород, $k_n = 2-2,5; 2,5-3; 3,0-3,5$ для трудновзрываемых, средневзрываемых, и легковзрываемых пород соответственно; H_y – высота уступа; k_{β} – коэффициент, учитывающий угол наклона скважин (β , град) к горизонту;

$$k_{\beta} = 1 + 0,5 \sin(90^{\circ} - \beta).$$

Таким образом, при диагональной схеме взрывания на подпорную стенку задача управления качеством подготовки горной массы в основном может быть решена достаточно быстро. Значительное повышение эффективности буровзрывных работ в этом случае может быть достигнуто за счет научных исследований в следующих перспективных направлениях. В ИГД УрО РАН разработана методика экспрессного получения информации о прочностных свойствах горных пород, основанная на данных энергоёмкости бурения взрывных скважин. Согласно этой методике, по трудности бурения взрывных скважин можно определять свойства горных пород по высоте уступа [3–7], что позволяет уточнять параметры скважинных зарядов и корректировать направления отбойки для лучшего

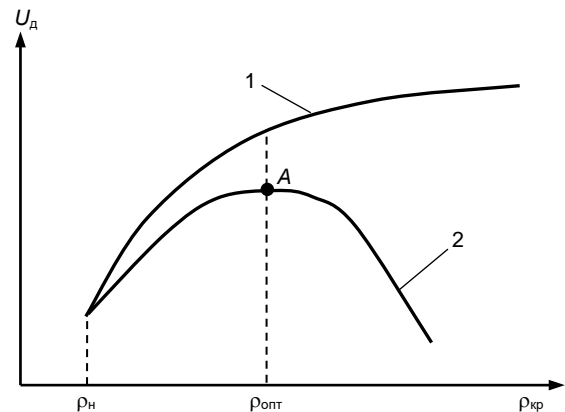


Рисунок 1. Зависимость скорости детонации от плотности. 1 – для индивидуальных ВВ, 2 – для смесевых ВВ.

схлопывания естественных трещин. Также перспективу имеют исследования в области детонационных характеристик ВВ, изготавливаемых в местах потребления [8–12]. Наглядно это можно продемонстрировать зависимостью скорости детонации от плотности ВВ (рис. 1).

При увеличении плотности смесового ВВ до определенной оптимальной величины скорость детонации растет. При дальнейшем увеличении плотности в сторону критической величины скорость детонации начинает снижаться. В принципе описание явления представляется верным, однако форма кривой 2 для разных смесевых ВВ может значительно различаться. Тем не менее из рис. 1 следует, что для достижения наиболее высоких детонационных характеристик смесевых ВВ необходимо знать оптимальную плотность заряжения, которая определяется экспериментально. Таким образом, управляя детонационными характеристиками смесевых ВВ, можно добиться наиболее рационального воздействия взрыва на горный массив.

Технологические схемы подготовки горной массы к выемке, обеспечивающие высокопроизводительную работу циклического звена ЦПТ, могут быть различны. Выбор конкретной схемы буровзрывной отбойки определяется геологическими условиями и элементами системы разработки. В качестве предварительного способа отбойки можно рассматривать взрывание зарядов по диагонали на подпорную стенку. Данный способ обеспечивает достаточную надежность технологических взрывов, а с развитием современных средств взрывания при замедлениях между зарядами более 67 мс обратные выбросы в большинстве случаев исключены.

ЛИТЕРАТУРА

- Открытые горные работы: справочник / К. Н. Трубецкой [и др.]. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
- Жариков С. Н., Матухно Н. С. О шахматных сетках расположения скважин при ведении взрывных работ на карьерах // Взрывное дело. 2015. № 113-70. С. 218–223.
- Исследование методов манипулирования горно-геологической информацией: отчет о НИР/ ИГД УрО РАН; рук. В. М. Аленичев. Екатеринбург, 2010. 208 с.
- Жариков С. Н. Зависимость энергоемкости взрывания горных пород от энергоемкости их бурения // Горный журнал. 2009. № 6. С. 60–62.
- Жариков С. Н. Определение крепости горных пород по параметрам процесса шарошечного бурения технологических скважин на карьерах // Горный журнал. 2010. № 7. С. 50–51.
- Жариков С. Н., Шеменив В. Г., Кутуев В. А. Способы уточнения свойств горных пород при производстве буровзрывных работ // Устойчивое развитие горных территорий. 2017. Т. 9, № 1. С. 74–80.
- Жариков С. Н., Шеменив В. Г. Методология оценки энергоемкости технологических процессов в цикле «буровзрывное дробление–механическое дробление–измельчение» при открытой разработке рудных месторождений // Горный журнал. 2013. № 10. С. 83–85.
- Кутуев В. А. Изучение детонационных характеристик промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит-1А с использованием регистратора данных «DATATRAPII™» // ГИАБ. 2016. № S21. С. 101–109.
- Меньшиков П. В., Синицын В. А., Маторин А. С., Котышев А. А., Шеменив В. Г. Определение детонационных характеристик гранулитов и эмульсионных ВВ, изготавливаемых в условиях горных предприятий // ГИАБ. 2010. № 7. С. 298–301.
- Кутуев В. А., Меньшиков П. В., Жариков С. Н. О методах исследования детонационных характеристик ВВ // Взрывное дело. 2015. № 113-70. С. 166–182.
- Скорость детонации взрывчатых веществ. Методика измерений реостатным методом с использованием измерителя скорости детонации VOD Mate. СТО 01.01.004–2011. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2011. 17 с.
- Кутуев В. А. Выявление зависимости скорости детонации от времени газификации для промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит // Маркшейдерия и недропользование. 2017. Т. 1, № 3 (89). С. 42–45.

REFERENCES

- Trubetskoy K. N. 1994, *Otkrytye gornye raboty: spravochnik* [Open pit mining: A Handbook], Moscow, 590 p.
- Zharikov S. N., Matuhno N. S. 2015, *O shahmatnykh setkakh raspolozheniya skvazhin pri vedenii vzryvnykh rabot na kar'erah* [About the chess grids of the location of wells during blasting operations on the quarries]. *Vzryvnoe delo* [Explosion technology], no. 113-70, pp. 218–223.
- Alenichev V. M. 2010, *Issledovanie metodov manipulirovaniya gorno-geologich-*

eskoj informaciy: otchet o NIR [Research of methods for manipulating mining and geological information: a report on research work], Ekaterinburg, 208 p.

- Zharikov S. N. 2009, *Zavisimost' energoemkosti vzryvaniya gornyh porod ot energoemkosti ih bureniya* [Dependence of energy consumption of rock blasting on energy intensity of drilling]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 6, pp. 60–62.
- Zharikov S. N. 2010, *Opreделение krepости gornyh porod po parametram processa sharoshechnogo bureniya tehnologicheskikh skvazhin na kar'erah* [Determination of the strength of rocks according to the parameters of the process of roller drilling of technological wells in quarries]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 7, pp. 50–51.
- Zharikov S. N., Shemenev V. G., Kutuev V. A. 2017, *Sposoby utochneniya svoystv gornykh porod pri proizvodstve burovzryvnykh rabot* [Methods for specifying the properties of rocks in the production of drilling and blasting operations]. *Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable mountain development], vol. 9, no. 1, pp. 74–80.
- Zharikov S. N., Shemenev V. G. 2013, *Metodologiya otsenki energoemkosti tehnologicheskikh processov v tsikle «burovzryvnoe droblenie–mekhanicheskoe droblenie–izmelchenie» pri otkrytoy razrabotke rudnykh mestorozhdeniy* [Methodology for estimating the energy intensity of technological processes in the cycle "drilling and explosive crushing-mechanical crushing-grinding" with open development of ore deposits]. *Gornyi zhurnal* [Mining Journal], no. 10, pp. 83–85.
- Kutuev V. A. 2016, *Izuchenie detonatsionnykh kharakteristik promyshlennogo emul'sionnogo vzryvchatogo veshhestva poremit-1A s ispol'zovaniem registratora dannykh «DATATRAPII™»* [Study of detonation characteristics of industrial emulsion explosive pore emit-1A using data logger "DATATRAPII™"]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. S21, pp. 101–109.
- Men'shikov P. V., Sinitsin V. A., Matorin A. S., Kotyashev A. A., Shemenev V. G. 2010, *Opreделение detonatsionnykh kharakteristik granulitov i emul'sionnykh VV, izgotavlivaemykh v usloviyakh gornykh predpriyatiy* [Determination of detonation characteristics of granulites and emulsion explosives produced in mining enterprises]. *GIAB* [Mining Informational and Analytical Bulletin], no. 7, pp. 298–301.
- Kutuev V. A., Men'shikov P. V., Zharikov S. N. 2015, *O metodakh issledovaniya detonatsionnykh kharakteristik VV* [On methods for studying detonation characteristics of explosives]. *Vzryvnoe delo* [Explosion technology], no. 113–70, pp. 166–182.
- 2011, *Skorost' detonatsii vzryvchatykh veshhestv. Metodika izmereniy reostatnym metodom s ispol'zovaniem izmeritelya skorosti detonatsii VOD Mate. STO 01.01.004–2011* [Detonation velocity of explosives. Method of measurement by rheostat method using the VOD Mate detonation velocity meter. STO 01.01.004–2011], Ekaterinburg, 17 p.
- Kutuev V. A. 2017, *Vyyavlenie zavisimosti skorosti detonatsii ot vremeni gazifikatsii dlya promyshlennogo emul'sionnogo vzryvchatogo veshhestva poremit* [Detection of the dependence of the detonation velocity on the gasification time for an industrial emulsion explosive]. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie* [Mine survey and subsoil use], vol. 1, no. 3(89), pp. 42–45.

Сергей Николаевич Жариков,

333vista@mail.ru

Вячеслав Александрович Кутуев

slavik1988@mail.ru

Институт горного дела УрО РАН

Россия, Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58

Sergey Nikolaevich Zharikov,

333vista@mail.ru

Vyacheslav Aleksandrovich Kutuev

slavik1988@mail.ru

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ekaterinburg, Russia