

Код МРНТИ 52.13.21

*Б.Р. Ракишев, А.Б. Мусахан

Satbayev University (г. Алматы, Казахстан)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОТБОЙНЫХ И ОКОНТУРИВАЮЩИХ ЗАРЯДОВ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Аннотация. В статье приведены ключевые результаты взрыва в твердой среде: прочностная характеристика пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, относительный предельный радиус взрывной полости, радиусы зон мелкого дробления и радиальных трещин и принцип рационального расположения зарядов во взрываеом блоке. С их использованием обоснован новый подход к определению параметров цилиндрического вруба. Даны аналитические зависимости для размещения врубовых шпуров в забое горизонтальной горной выработки. С учетом принципа рационального расположения зарядов во взрываеом массиве установлены новые рациональные параметры расположения отбойных и оконтуривающих шпуровых зарядов. Предложен оригинальный алгоритм определения количества врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров в зависимости от размеров сечения выработки, физико-механических свойств пород, физико-химических характеристик применяемого взрывчатого вещества.

Ключевые слова: ключевые результаты взрыва, принцип рационального размещения зарядов в массиве, параметры буровзрывных работ, вруб, отбойные, оконтуривающие шпуры.

Көлдөнен тау-кен қазбаларында қопару және контурлық зарядтарының орналасуының ұтымды параметрлері

Андатпа. Мақалада қатты ортада жүргізілген жарылыс жұмысының негізгі нәтижелері келтірілген. Олар: жан-жақты жарылғыш күштер әсерінде тау жыныстарының беріктік сипаттамасы, жарылған қуыстың салыстырмалы шекті радиусы, майда ұсақтау және радиалды жарықтар аймақтарының радиустары және қопарылатын блоктағы зарядтардың ұтымды орналасуы принципі. Осы нәтижелерді қолдана отырып цилиндрлік кесіндінің параметрлерін анықтаудың жаңа тәсілі негізделген. Көлдөнен тау-кен қазбасының кенжарында кесінді шпурлардың орналастыруының аналитикалық тәуелділіктері ұсынылған. Қопарылатын массивтегі зарядтардың ұтымды орналасуы принципі ескере отырып, қопару және контурлық шпур зарядтарының орналасуының жаңа ұтымды параметрлері табылған. Тау-кен көлдөнен қимасының мөлшеріне, тау жыныстарының физика-механикалық қасиеттеріне, қолданылатын жарылғыш заттың физика-химиялық сипаттамаларына байланысты қопару және контурлайтын шпурлардың санын анықтаудың өзіндік алгоритмі ұсынылды.

Түйінді сөздер: жарылыстың негізгі нәтижелері, зарядтарды массивке ұтымды орналастыру принципі, бұрғылау-қопару жұмыстарының параметрлері, кесінді, қопару, контурлық шпурлар.

Rational parameters of the positioning of stoping and contouring charges in horizontal preparatory developments

Abstract. The article presents the key results of an explosion in a solid medium: the strength characteristics of rocks under conditions of all-round explosive loading, the relative ultimate radius of the explosive cavity, the radii of fine crushing zones and radial cracks, and the principle of rational arrangement of charges in an blasting block. With their use, a new approach to determining the parameters of a cylindrical cut is substantiated. Analytical dependencies are given for placement of cutting holes in the face of a horizontal mine working. Taking into account the principle of the rational arrangement of charges in the blasted array, new rational parameters for the location of the stoping and contouring blast-hole charges have been established. An original algorithm is proposed for determining the number of cutting, stoping and contouring boreholes depending on the dimensions of the working section, the physical and mechanical properties of rocks, and the physical and chemical characteristics of the used explosive.

Key words: key results of the explosion, principle of rational placement of charges in the array, parameters of drilling and blasting, cutting, stoping, contouring blastholes, ultimate radius of the cavity, compensation boreholes, radius of the zone of radial fractures, radius of fine crushing zone.

Введение

Большинство существующих методик расчета параметров буровзрывных работ (БВР) при проходке подземных горных выработок основано на сложных эмпирических формулах. Они предусматривают первоочередное определение удельного расхода взрывчатого вещества (ВВ), который устанавливают по данным практики или принимают по табличным данным, приведенным в справочниках. В некоторых из них учитываются размеры зон смятия, трещинообразования и упругих деформаций. Однако они не взаимосвязаны с основными характеристиками пород и применяемого ВВ. Наибольшее распространение

в проектах и на практике получила методика Н.М. Покровского¹. В работах [1, 2] в качестве ключевых факторов, определяющих расположение шпуров в забоях проходимых горных выработок, принимается удельный расход ВВ, крепость горных пород и площадь поперечного сечения выработки². В силу наличия множества эмпирических неопределенных коэффициентов рассмотренные методики не всегда дают удовлетворительные результаты, что отрицательно сказывается на эффективности ведения взрывных работ.

Из методик, основанных на расчете размеров зон разрушения породного массива [3-5], можно привести работу [3]: в ней, как и в работах [4, 5],

формулы являются эмпирическими. В них не находят отражение физико-механические свойства пород, характеристики применяемого ВВ. В целях устранения этих недостатков предложен новый метод, основанный на использовании ключевых результатов взрыва в отбиваемом слое пород.

Ключевые результаты взрыва зарядов ВВ в отбиваемом слое пород

Разрушение горных пород действием взрыва заряда ВВ зависит от конкретного сочетания многочисленных влияющих факторов. В общем случае оно протекает в соответствии с гипотезой Г.И. Покровского³, получившей дальнейшее развитие в работах Б.Р. Ракишева^{4, 5}.

¹Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. – 6-е изд. – М.: Недра, 1977. – Часть 1. Технология сооружения горизонтальных горных выработок и тоннелей. – 400 с.

²Битимбаев М.Ж., Крупник Л.А., Шапошник Ю.В. Взрывное дело: учебник для вузов. – Алматы: Ассоциация вузов Казахстана, 2012. – 740 с.

³Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара и взрыва в деформируемых средах. – М., 1957. – 276 с.

⁴Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. – Алма-Ата: Наука, 1983. – 240 с.

⁵Ракишев Б.Р. Автоматизированное проектирование и производства массовых взрывов на карьерах. – Алматы: Фълым, 2016. – 340 с.

К ключевым результатам разрушения горных пород взрывом заряда ВВ относятся предельный радиус взрывной полости, прочность пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, радиус зоны мелкодробления, радиус зоны радиальных трещин и принцип рационального размещения зарядов в отбиваемом слое пород (рис. 1).

С использованием общих теорем теоретической механики, закономерностей и положений теории упругости⁶ в работах^{4, 5} для относительного предельного радиуса взрывной полости – основного критерия эффекта взрыва в твердой среде выведено уравнение:

$$\bar{r} = (P_n - P_c)^{1/4}, \quad (1)$$

где P_n – начальное давление продуктов взрыва (ПВ) в зарядной камере, МПа;

P_c – прочностная характеристика пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, МПа.

Начальное давление ПВ вычисляется по известной формуле⁶:

$$P_n = 1/8 \rho_{ВВ} D^2, \quad (2)$$

где $\rho_{ВВ}$ – плотность заряда ВВ в шпуре (скважине), кг/м³;

D – скорость детонации заряда ВВ в шпуре, м/с.

Для прочностной характеристики пород в условиях всестороннего взрывного нагружения получено выражение:

$$P_c = \sigma_{сжс} (\rho_0 c^2 / \sigma_{сжс})^{1/4}, \quad (3)$$

где $\sigma_{сжс}$ – предел прочности породы на сжатие, МПа;

ρ_0 – плотность породы, кг/м³;

c – скорость звука в породе, м/с.

Для вычисления радиуса зоны мелкодробления (рис. 1.) выведено уравнение:

$$r_2 = r_{np} (\rho_0 c^2 / 5 \sigma_{сжс})^{1/2}, \quad (4)$$

где r_{np} – предельный радиус взрывной полости, м; $r_{np} = \bar{r}_{np} \times r_0$;

r_0 – радиус шпура, м.

Для определения радиуса зоны радиальных трещин получена зависимость:

$$r_1 = r_2 [v / (1 + v) \times (\sigma_{сжс} / \sigma_p)], \quad (5)$$

где v – коэффициент Пуассона;

σ_p – предел прочности породы на растяжение, МПа.

Принцип рационального размещения зарядов ВВ во взрываеом массиве, предусматривающий наибольший охват отбиваемого слоя пород трещинами, образованными действием взрыва при уступной отбойке, выражен равенствами^{4, 5}:

$$\begin{aligned} (1 + k)^{1/2} (\pi r_1 / 2W) &\approx 1; \\ 2r_1 / a &\approx 1; \\ (1 + k)^{1/2} (h_3 + r_1) / h &\approx 1; \end{aligned} \quad (6)$$

где k – коэффициент, учитывающий доли разрушения массива пород как от действия отраженных волн, так и вспучивающего действия взрыва: $k = 1$;

W – линия сопротивления по подошве уступа (ЛСПП), м;

a – расстояние между скважинами в ряду, м;

h_3 – высота цилиндрического заряда в скважине без перебура, м;

h – высота взрываеомого блока, м.

Поскольку первые две стадии взрыва при уступной и безуступной отбойке протекают одинаково [6], выражения (6) справедливы и для цилиндрических зарядов, расположенных в подземных горизонтальных выработках различного назначения.

Аналитическое определение рациональных параметров расположения зарядов в горизонтальной подземной выработке

Основными параметрами размещения зарядов ВВ в горизонтальной подземной выработке (рис. 2) являются: толщина (длина) отбиваемого слоя h ; ширина A ; высота B ; диаметр шпура (скважины) d_u , d_c ; длина шпура l_u ; расстояния между врубовыми шпурами a_{σ} , $a_{\sigma k}$, $a_{\sigma 2}$, $a_{\sigma 3}$; расстояния между центральным врубовым шпуром и последующими шпурами во врубе $r_{\sigma 1}$, $r_{\sigma 2}$, $r_{\sigma 3}$; расстояние между отбойными шпурами a_{om} ; расстояние между оконтуривающими шпурами и проектным контуром выработки b ; расстояние между оконтуривающими шпурами $a_{ок}$; длина заряда l_1 в шпуре; длина заряда без перебура h_3 ; длина незаряженной части шпура (недозаряда) l_2 ; длина перебура l_n ; вместимость 1 п. м шпура p_u ; масса заряда t в шпуре; схема, время замедления между одновременно взрываеомыми группами зарядов ВВ τ . Конечный результат взрыва: удельный расход ВВ q_p ; выход горной массы с 1 п. м шпура g ; коэффициент использования шпура (КИШ); объем бурения V_b ; площадь забоя на один шпур S_3 ; гранулометрический состав взорванной горной массы $p'(x_1)$, $p'(x_2)$, ... $p'(x_n)$ и развал взорванной горной массы.

Линия наименьшего сопротивления (ЛНС) – кратчайшее расстояние от оси заряда, помещенного в шпуре, до ближайшей свободной W' – определяется из первого соотношения выражений (6) с учетом того, что $k = 1$, $W' = W \times \sin \alpha$. Поскольку угол откоса уступа в среднем $\alpha = 63^\circ$, то $W' = 0,9 \times W$.

Таким образом, ЛНС при шпуровой отбойке равняется:

$$W' \approx 2r_1. \quad (7)$$

В соответствии со вторым соотношением из (6) максимальное расстояние между отбойными и оконтуривающими шпурами в ряду и между рядами должно составлять:

$$a \approx 2r_1. \quad (8)$$

Согласно третьему соотношению из (6) длина заряда в шпуре без перебура составляет:

$$h_3 \approx 0,7h - r_2. \quad (9)$$

Перебур шпура l_n предназначен для учета краевого эффекта взрыва в донной части взрываеомого слоя. Он – необходимый элемент технологии взрывных работ, способствующий полному отрыву отбиваемого слоя пород от массива. Коэффициент использования шпура (КИШ), равный $h/l_u [h/(h + l_n)]$, является основным критерием оценки результата взрыва, он всегда меньше единицы.



Рис. 1. Структура зон разрушения вокруг взрывной полости.

Сурет 1. Жарылыс қуыс айналасындағы қирау аймақтарының құрылымы. Figure 1. The structure of the destruction zones around the explosive cavity.

⁶Баум Ф.А. и др. Физика взрыва. / Под ред. К.П. Станюковича. – 2-е изд. перераб. – М.: Наука, 1975. – 704 с.

Для обеспечения постоянного размера r_1 по всей длине отбойных и оконтуривающих шпуровых зарядов (рис. 2а), т. е. требуемого качества взрыва в горной выработке, возникает необходимость создания некоторой искусственной свободной поверхности внутри взрываемого слоя пород. Это требование реализуется путем проведения пинонерного взрыва врубовых зарядов (рис. 2б). Шпуры, расположенные на окружности, радиусами r_3 , r_4 , r_5 (рис. 3) называются врубовыми. Количество шпуров на каждой окружности – 3. Образованный взрывом этих зарядов цилиндрический объем пород мелкого дробления в горизонтальной выработке представляет собой цилиндрический вруб. Поверхность последнего и есть виртуальная свободная поверхность для обеспечения эффективного разрушения пород отбойными шпуровыми зарядами. След этой поверхности на забое обозначен буквой L .

Для надежного образования свободной поверхности во врубе дополнительно размещают несколько (обычно 2-3) компенсационные скважины (без зарядов) диаметром d_c на некотором расстоянии $a_{св}$ от центрального шпура (рис. 3а), обычно $d_c = 2d_{ш}$. Они создаются путем расширения пробуренных шпуров специальным расширителем; их количество варьирует от двух и более в зависимости от крепости породы.

В случае распространенных трех компенсационных скважин расстояние до центрального шпура (рис. 3а) определяется по формуле:

$$a_{св} = \sqrt{3}/3 \times r_2. \quad (10)$$

Здесь принято во внимание, что сторона равностороннего треугольника, в вершинах которого располагаются шпуры первой группы вруба, $a_{e1} = 2r_2$ (рис. 3а). Высота треугольника $h = \sqrt{3}r_2$; ее третья часть представляет искомую величину $a_{св}$.

Радиус зоны мелкого дробления первой группы врубовых зарядов (рис. 3а) вычисляется:

$$r_3 = 2/\sqrt{3} \times r_2 + r_2 \approx 2,2r_2. \quad (11)$$

Здесь первое слагаемое – есть две третьих высоты равностороннего треугольника со стороной $2r_2$.

Вторая группа врубовых шпуров размещается вокруг вруба первой

группы с радиусом r_3 (рис. 3б); они располагаются в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a_{e2} = 4r_2$ (рис. 3б). Радиус этой зоны:

$$r_4 = r_3 + r_2 \approx 3,2r_2. \quad (12)$$

Третья группа врубовых шпуров располагается вокруг вруба второй группы с радиусом r_3 (рис. 3в). Радиус этой зоны:

$$r_5 = r_4 + r_2 \approx 4,2r_2. \quad (13)$$

Сторона равностороннего треугольника, в вершинах которого находятся шпуры данной группы, рассчитывается:

$$a_{e3} = \sqrt{3}r_4 \approx 7,3r_2. \quad (14)$$

Расстояния от центрального шпура до каждого шпура трех групп врубовых шпуров определяются радиусами окружностей, описанных вокруг соответствующих равносторонних треугольников (рис. 3) по зависимости:

$$r_{e1} = 2r_2/\sqrt{3}; \quad r_{e2} = 4r_2/\sqrt{3}; \quad (15)$$

$$r_{e3} = r_{e2} + r_2 = 4/\sqrt{3}r_2 + r_2.$$

Расстояние между шпурами в первой и второй группах врубовых шпуров может быть принято равным $a_{e1} = 2r_2$ (рис. 3а, 3б). Шпуры третьей группы зарядов размещают на контуре зоны мелкого дробления второй группы вруба между зонами трещинообразования смежных шпуровых зарядов предыдущей группы (рис. 3в). Они находятся на расстоянии $r_3 + r_2$ от смежных шпуров предыдущего ряда. При таком расположении шпуров

обеспечивается практически полное мелкое дробление пород вокруг врубовых зарядов и образование единой виртуальной свободной поверхности L_3 цилиндрического вруба радиусом r_3 (рис. 3в).

Отбойные шпуры размещают на расстоянии в пределах от r_2 до r_1 от следа виртуальной свободной поверхности L_3 в зависимости от положения оконтуривающих шпуров. Последние размещают по контуру выработки так, чтобы их устья находились на расстоянии $b = r_2$ от проектного контура горизонтальной выработки (рис. 2б). Угол наклона шпуров принимается равным 5° . Расстояние между отбойными и оконтуривающими шпурами лежит в пределах $a_p \approx 2r_1$. Глубина отбойных и оконтуривающих шпуров такая же, как и врубовых.

Количество врубовых, отбойных и оконтуривающих шпуров определяется по их найденному размещению в горизонтальной выработке заданного сечения: чем больше сечение выработки, тем больше отбойных и оконтуривающих шпуров.

При установленном значении врубовых шпуров оконтуривающие шпуры располагаются только в одном ряду вдоль контура выработки, а отбойные шпуры – в несколько рядов внутри выработки так, чтобы отбиваемый слой был полностью охвачен трещинами, развиваемыми от шпуровых зарядов.

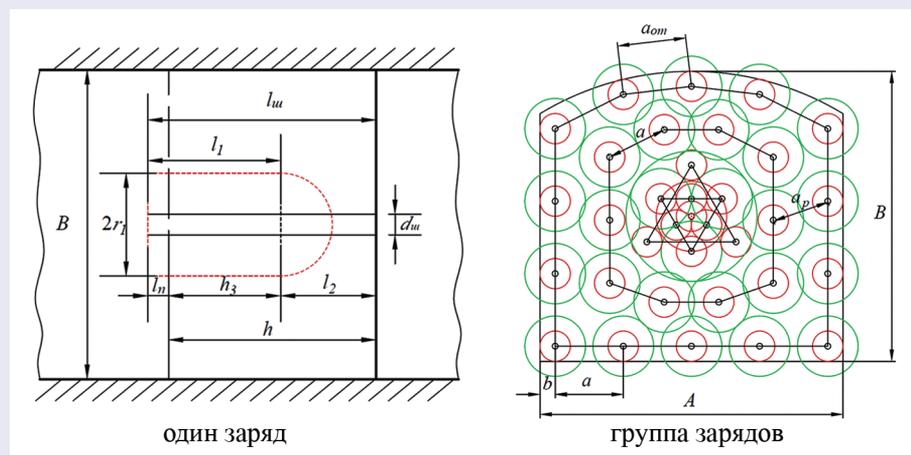


Рис. 2. Параметры расположения зарядов ВВ в горизонтальной подземной выработке.

Сурет 2. Көлденең жерасты жұмысындағы жарылғыш зарядтардың орналасу параметрлері.

Figure 2. Parameters of the location of explosive charges in a horizontal underground working.

Таблица 1

Результаты автоматизированного расчета параметров БВР для экспериментальных взрывов
в выработках сечением 18,14 м² и 22,85 м²

Кесте 1

Қолденең қимасы 18,14 м² және 22,85 м² жұмыс орындарындағы тәжірибелік жарылыстардың жарылыс
параметрлерін автоматтандырылған есептеу нәтижелері

Table 1

Results of automated calculation of blasting parameters for experimental explosions in workings with a cross section
of 18,14 m² and 22,85 m²

Параметры БВР	1	2	3	4
Прочностная характеристика породы, МПа	689,36		689,36	
Начальное давление ПВ, МПа	1531		1531	
Относительный предельный радиус полости	1,22		1,22	
Радиус шпура, м	0,027		0,027	
Предельный радиус полости, м	0,03		0,03	
Радиус зоны мелкого дробления, м	0,25		0,25	
Радиус зоны радиальных трещин, м	0,53		0,53	
Количество шпуров, шт	34	34	29	29
Количество скважин (89 мм), шт	3	3	3	3
Количество врубовых шпуров, шт	10	10	7	7
Расстояние между центральным врубовым шпуром и компенсационными скважинами, м	0,15	0,15	0,15	0,15
Расстояние от центрального врубового шпура до первой группы врубовых шпуров, м	0,3	0,3	0,3	0,3
Расстояние от центрального врубового шпура до второй группы врубовых шпуров, м	0,6	0,6	0,6	0,6
Расстояние от центрального врубового шпура до третьей группы врубовых шпуров, м	0,85	0,85	0,85	0,85
Длина перебура врубовых шпуров, м	0,25	0,3	0,25	0,3
Глубина врубовых шпуров и к.с., м	3,12	3,2	3,12	3,2
Длина заряда во врубовых шпурах, м	2,22	2,22	2,22	2,22
Количество отбойных шпуров, м	10	10	8	8
Расстояние между отбойными шпурами, м	1,0	0,9-1,1	1,0	0,9-1,1
Длина перебура отбойных шпуров, м	0,25	0,3	0,25	0,3
Глубина отбойных шпуров, м	3,12	3,2	3,12	3,2
Длина заряда в отбойных шпурах, м	2,22	2,22	2,22	2,22
Количество оконтуривающих шпуров, м	14	14	14	14
Расстояние между оконтуривающими шпурами, м	1,0	0,8-0,9	1,0	0,8-0,9
Длина перебура оконтуривающих шпуров, м	0,25	0,3	0,25	0,3
Длина заряда в оконтуривающих шпурах, м	2,22	2,22	2,22	2,22
Угол наклона оконтуривающих шпуров, град	4,29	5	4,29	5
Объем бурения, м	118,4	118,4	102,4	102,4
Длина недозаряда шпуров, м	0,98	1,0	0,98	1,0
Вместимость 1-го погонного метра шпура, кг	2,29		2,29	
Всего ВВ на цикл, кг	179,65	180,0	153,12	153,0
Гранулированное ВВ (Rioxam ST), кг	172,85	172,85	147,32	147,32
врубовые, отбойные и оконтуривающие – 5,08 кг на один шпур	172,85	172,85	147,32	147,32
патронированное ВВ, кг	6,8	6,8	5,8	5,8
Количество НЭСИ на забой, шт	34	34	29	29
Время замедления, мс		100		100
Объем отбойки, м ³	66,3		52,6	
Выход горной массы с одного шпура м ³ /м	0,6	0,6	0,57	0,57
Удельный расход ВВ, кг/м ³	2,7	2,7	2,9	2,9
Площадь забоя на один шпур, м ²	0,67	0,67	0,63	0,63
<i>Примечание:</i> расчетные (1) и принятые (2) параметры БВР для выработок с S = 22,85 м ² ; расчетные (3) и принятые (4) параметры БВР для выработок с S = 18,14 м ² .				

На основе разработанного аналитического метода определения параметров расположения зарядов в горизонтальной подземной выработке была создана компьютерная программа для автоматизированного проектирования параметров БВР в среде Microsoft Visual Studio 2019 [6], по ней были составлены паспорта БВР для Жезказганских рудников Восточный, Южный и Западный. Физико-механические свойства пород и характеристики ВВ: порода «серый песчаник», плотность породы $\rho = 2670 \text{ кг/м}^3$, скорость звука в породе $c = 4300 \text{ м/с}$, $\sigma_{сж} = 166 \text{ МПа}$, $\sigma_p = 15 \text{ МПа}$, $\nu = 0,23$, $\rho_{ВВ} = 1000 \text{ кг/м}^3$,

$D = 3500 \text{ м/с}$. Сечение выработки $18,14 \text{ м}^2$ (с шириной 4,3 м и высотой 4,4 м) и $22,85 \text{ м}^2$ (с шириной 5,2 м и высотой 4,65 м). Схемы размещения шпуров подобны показанным на рис. 26. Расчетные параметры БВР приведены в табл. 1.

Заключение

На основе принятой модели разрушения реального массива горных пород приведены ключевые результаты взрыва в твердой среде: прочностная характеристика пород в условиях всестороннего взрывного нагружения, относительный предельный радиус взрывной полости, радиусы зон

мелкого дробления и радиальных трещин; сформулирован принцип рационального расположения зарядов во взрываемом блоке.

Разработан аналитический метод определения рационального расположения зарядов ВВ в горизонтальной подземной выработке.

Обоснован новый подход к определению параметров цилиндрического вруба – основного элемента отбиваемого слоя пород в горизонтальной выработке. Получены аналитические зависимости для размещения врубовых шпуров в забое выработки. На их основе с учетом принципа рационального расположения зарядов во взрываемом массиве установлены параметры отбойных и оконтуривающих шпуровых зарядов.

Принципиальное отличие новой методики от известных заключается в том, что впервые в горной науке в качестве определяющего показателя результатов взрыва ВВ в горном массиве принят предельный радиус взрывной полости, образованной взрывом ВВ в породе, который удачно связывает интегральный результат взрыва с физико-механическими свойствами пород, физико-химическими характеристиками применяемого ВВ, условиями взрывания.

Результаты расчетов параметров БВР в горизонтальной горной выработке по новой методике хорошо согласуются с данными других авторов и практики.

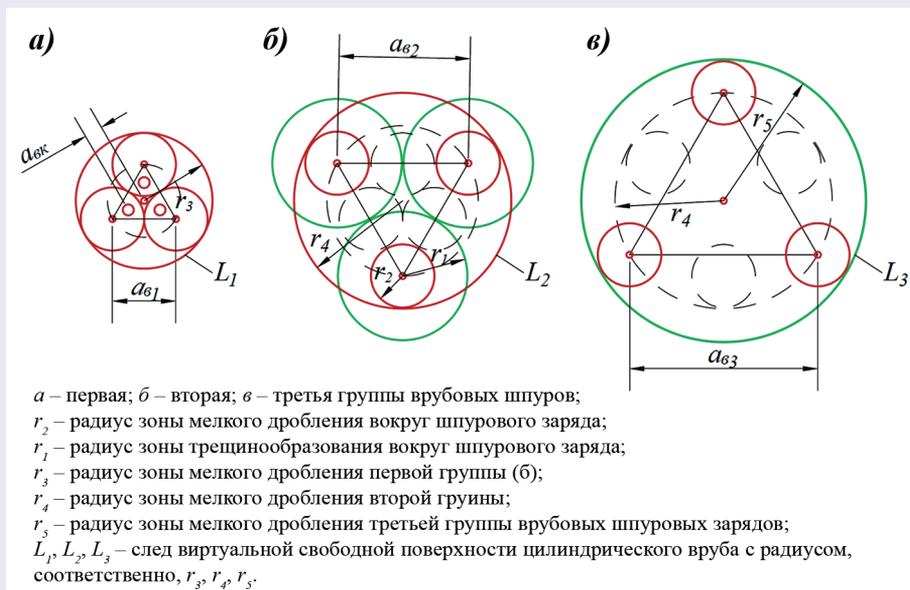


Рис. 3. Основные размеры элементов цилиндрического вруба.

Сурет 3. Цилиндрлік кесу элементтерінің негізгі өлшемдері.

Figure 3. The main dimensions of the elements of a cylindrical cut.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Chandrakar Sh., Paul P.S., Sawmliana C. Влияние коэффициента пустотности на «взрывную тягу» для различных факторов локализации выработок в подземных металлургических рудниках. // Туннельные и подземные космические технологии. – 2021. – Вып 108. – С. 103716 (на английском языке)
2. Salum A.H., Murthy V.M.S.R. Оптимизация взрывной тяги и контроль зоны повреждения, вызванного взрывом, при проходке туннелей через различные классы горных пород. // Туннельные и подземные космические технологии. – 2019. – №85(3). – С. 307-318 (на английском языке)
3. Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. Сейсмологический метод определения параметров зон деформации горных пород взрывными работами. // Советская горная наука. – 1972. – Вып. 8(6). – С. 640-647 (на английском языке)
4. Catalan A., Onederra I. Моделирование предварительной подготовки взрывными работами при блочном и панельном обрушении. // Труды Института горного дела и металлургии. Раздел А: Горная техника. – 2016. – №126(2). – С. 1-18 (на английском языке)
5. Xiu-wei Chai, Sha-sha Shi, Yao-feng Yan, Jian-guo Li, Long Zhang. Основные параметры взрывных работ при проходке глубоких скважин в подземном тоннеле

фосфоритового рудника. // *Достижения в области гражданского строительства*. – 2019. – №2. – С. 1-9 (на английском языке)

6. *Rakishev B.R., Orynbay A.A., Musakhan A.B., Toleuov K.A. Обоснование параметров цилиндрического вруба в горизонтальной подземной выработке. // ГИАБ. – 2021, – №12. – С. 31-46 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Chandrakar Sh., Paul P.S., Sawmliana C. Металл кеніштерінің жерасты кеніштеріндегі игеру позицияларының әртүрлі шектеу факторлары үшін «жарылыс тартуға» бос коэффициентінің әсері. // Туннельдеу және жерасты жарыштық технологиясы. – 2021. – Шығ. 108. – Б. 103716 (ағылшын тілінде)*
2. *Salum A.H., Murthy V.M.S.R. Әртүрлі тау жыныстары кластары арқылы туннельдеу кезінде жарылыстың тартылуын оңтайландыру және жарылыстың әсерінен қазбаның зақымдану аймағын бақылау. // Туннельдеу және жерасты жарыштық технологиясы. – 2019. – №85(3). – Б. 307-318 (ағылшын тілінде)*
3. *Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. Жару арқылы тау жыныстарының деформациялану аймақтарының параметрлерін анықтаудың сейсмологиялық әдісі. // Кеңестік тау-кен ғылымы. – 1972. – Шығ. 8(6). – Б. 640-647 (ағылшын тілінде)*
4. *Catalan A., Onederra I. Блоктық және панельді үңгірлердегі жару арқылы алдын ала кондициялауды модельдеу. // Тау-кен металлургия институтының операциялары. А секциясы: Тау-кен өндіру технологиясы. – 2016. – №126(2). – Б. 1-18 (ағылшын тілінде)*
5. *Xiu-wei Chai, Sha-sha Shi, Yao-feng Yan, Jian-guo Li, Long Zhang. Основные параметры взрывных работ при проходке глубоких скважин в подземном тоннеле фосфоритового рудника. // Достижения в области гражданского строительства. – 2019. – №2. – Б. 1-9 (ағылшын тілінде)*
6. *Rakishev B.R., Orynbay A.A., Musakhan A.B., Toleuov K.A. Көлденең жер асты жұмысындағы цилиндрлік кесіктің параметрлерін негіздеу. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетень. – 2021. – №12. – Б. 31-46 (ағылшын тілінде)*

REFERENCES

1. *Chandrakar Sh., Paul P.S., Sawmliana C. Influence of void ratio on «Blast Pull» for different confinement factors of development headings in underground metalliferous mines. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2021. – Vol. 108. – P. 103716 (in English)*
2. *Salum A.H., Murthy V.M.S.R. Optimising blast pulls and controlling blast-induced excavation damage zone in tunnelling through varied rock classes. // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2019. – №85(3). – P. 307-318 (in English)*
3. *Mosinets V.N., Gorbacheva N.P. Gorbacheva N.P. A seismological method of determining the parameters of the zones of deformation of rock by blasting. // Soviet Mining Science. – 1972. – Vol. 8(6). – P. 640-647 (in English)*
4. *Catalan A., Onederra I. Modelling of preconditioning by blasting in block and panel caving, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy. Section A: Mining Technology. – 2016. – №126(2). – P. 1-18 (in English)*
5. *Xiu-wei Chai, Sha-sha Shi, Yao-feng Yan, Jian-guo Li, Long Zhang. Key Blasting Parameters for Deep-Hole Excavation in an Underground Tunnel of Phosphorite Mine. // Advances in Civil Engineering. – 2019. – №2. – P. 1-9 (in English)*
6. *Rakishev B.R., Orynbay A.A., Musakhan A.B., Toleuov K.A. Justification of cylindrical entry cut geometry in underground mine gallery. // Mining Informational and Analytical Bulletin. – 2021. – Vol. 12. – P. 31-46 (in English)*

Сведения об авторах:

Ракишев Б.Р., д-р техн. наук, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, профессор кафедры «Горное дело» Satpaev University (г. Алматы, Казахстан), b.rakishev@satbayev.university; <https://orcid.org/0000-0001-5445-070X>

Мусахан А.Б., докторант кафедры «Горное дело» Satpaev University (г. Алматы, Казахстан), a_musakhan@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0002-5114-6574>

Авторлар туралы мәлімет:

Б.Р. Ракишев, техника ғылымдарының докторы, Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының академигі, Satpaev University, «Тау-кен ісі» кафедрасының профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

А.Б. Мусахан, Satpaev University, «Тау-кен ісі» кафедрасының докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

B.R. Rakishev, Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor at the Mining Department of the Satpaev University (Almaty, Kazakhstan)

A.B. Musakhan, Doctoral Student at the Mining Department of the Satpaev University (Almaty, Kazakhstan)