

УДК 622.236

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ПОРОДАХ МЯГКОЙ И СРЕДНЕЙ КРЕПОСТИ

© 2013 г. С.А. Вохмин, П.А. Дерягин, Г.С. Курчин, Г.С. Ябуров

Вохмин Сергей Антонович – канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Шахтное и подземное строительство», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск. E-mail: svokhmin@mail.ru

Дерягин Павел Александрович – главный инженер проекта, ООО «Институт Гипроникель», Норильский филиал «Институт "Норильскпроект"». E-mail: deryaginpa@np.nk.nornik.ru

Курчин Георгий Сергеевич – канд. техн. наук, доцент, кафедра «Шахтное и подземное строительство», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск. E-mail: KurchinGS@mail.ru

Ябуров Георгий Сергеевич – студент, кафедра «Шахтное и подземное строительство», Институт горного дела, геологии и геотехнологий, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск. E-mail: geo_greg@mail.ru

Vokhmin Sergey Antonovich – Candidate of Technical Sciences, professor, head of department «Mine and Underground Building», Institute of mining, geology and geotechnologies of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: svokhmin@mail.ru

Deryagin Pavel Alexandrovich – chief project engineer LLC «Institute Gipronickel» Norilsk branch of the «Institute of "Norilskproject"». E-mail: deryaginpa@np.nk.nornik.ru

Kurchin George Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, assistant professor, department «Mine and Underground Building», Institute of mining, geology and geotechnologies of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: KurchinGS@mail.ru

Yaburov George Sergeevich – student, department «Mine and Underground Building», Institute of mining, geology and geotechnologies of the Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: geo_greg@mail.ru

Рассмотрены некоторые аспекты разрушения пород взрывом. Предложена методика расчета параметров буровзрывных работ в породах средней и низкой крепости. Опытные работы проведены на рудниках ЗФ ОАО «ГМК "Норильский никель"».

Ключевые слова: взрыв; методика; расчет; нерудные строительные материалы; гипс; ангидрит.

The article examines some aspects of the destruction of rocks by explosion. Proposed method of calculation of parameters of drilling and blasting works in the rocks of medium and low fortress. The development works carried out at the mines of the polar division of OJSC «MMC "Norilsk Nickel"».

Keywords: explosion; methodology; calculation; non-metallic building materials; gypsum anhydrite.

На сегодня одной из основополагающих проблем горного производства является разрушение горного массива. Высокое качество взрывного разрушения горных пород определяет эффективность всего горного производства и далее возможности всей промышленности, использующей результаты работы горнодобывающих предприятий.

В настоящее время взрывные работы являются доминирующим методом отделения горной породы от массива. Они также широко используются в гидротехническом строительстве, при сооружении плотин, каналов и т.д.

Качество дробления горной массы определяет эффективность всех последующих процессов ее переработки, поэтому создание наиболее достоверной методики расчета параметров БВР – одна из главных задач науки о разрушении горных пород.

При проведении горизонтальных выработок к буровзрывным работам предъявляют повышенные требования в части обеспечения необходимого развала породы после взрыва и качественного её дробления, высокой устойчивости выработок и оконтуривание их в соответствии с проектом.

Выполнение заданных требований возможно за счет разработки методов расчета параметров буровзрывных работ, обеспечивающих оптимальный заданный отрыв и качество дробления горной массы при проходке. Существующие технологии ведения буровзрывных работ не всегда обеспечивают требуемое дробление горной породы, что приводит либо к большому выходу негабаритов, либо к переизмельчению породы. Причин, порождающих эти явления, может быть несколько: неправильный подбор типа взрывчатого вещества для данного массива пород, завышенный или заниженный расход ВВ, ошибка в подборе параметров сетки расположения шпуров и т.п.

Существующие методики расчета основаны на определении таких параметров, как удельный расход ВВ, диаметр зоны трещиноватости вокруг заряда ВВ, образующейся при взрыве, выход негабаритов и мелочи.

Наибольшее распространение получила методика расчета параметров БВР при проходке выработок, предложенная проф. Н.М. Покровским [1]. Она базируется на определении удельного расхода ВВ, коэффициента, учитывающего структурные особенности

пород, коэффициента зажима взрывающейся породы и т.д. Недостатком этой методики является то, что используемые коэффициенты имеют весьма широкий диапазон изменения и принимаемые их значения зависят чаще от уровня подготовки и интуиции специалиста, выполняющего расчеты. В результате параметры БВР устанавливаются по усредненным значениям, что отрицательно сказывается на эффективности взрывных работ.

Методика, предложенная проф. М.М. Протоdjаконовым [2, 3] также требует определения величины удельного расхода ВВ исходя из относительной работоспособности взрывчатого вещества. Данная методика немногим отличается от методики Н.М. Покровского и имеет аналогичные недостатки.

Наиболее универсальной и достоверной можно назвать методику Б.Н. Кутузова, А.П. Андриевского [4], в основе которой лежит определение зоны трещинообразования, образующейся при взрыве. В трещиноватом массиве учитывается расстояние между трещинами и коэффициент структурного ослабления, а в монолитных породах расчет основывается на значениях предела прочности породы на одноосное сжатие и на срез.

С целью проверки и адаптации данной методики авторами статьи проведены экспериментальные работы на подземных рудниках «Ангидрит» и «Известняков», которые входят в состав рудника «Кайерканский» Заполярного филиала ОАО «ГМК «Норильский никель».

На руднике «Ангидрит» добычу ангидрита ведут камерно-столбовой системой разработки с оставлением изолированных междукамерных целиков. Рудное тело представлено пластообразной залежью мощно-

стью от 9 до 20 м. Трещиноватость ангидрита слабая. Трещины пологие и субвертикальные с ровными краями и закрыты вторичным ангидритом [5]. Физико-механические свойства горных пород приведены в табл. 1.

Анализ альбома типовых паспортов БВР показал, что для всех рассмотренных условий при проходке выработок тип вруба принят вертикальный клиновой. Врубные шпуров бурят по углом 70–74°, а вспомогательные шпуров – 79–90° к плоскости забоя. Наиболее распространенный диаметр шпуров 43 мм. Бурение шпуров при проходке выработок осуществляется установками Boomer-282, BoomerL-2D, AtlasCopcoM2D (282H), Minimatic D07-260, Axera. Средства инициирования – ИСКРА-III и электродетонаторы ЭД-3Н. Способ зарядания для патронированных ВВ – ручной (аммонит № 6ЖВ), для гранулированных ВВ (гранулит АС-8) – механизированный с применением пневматических зарядчиков РПЗ-0,6 и ЗП-2. Удельный расход ВВ изменяется в диапазоне от 0,37 до 3,95 кг/м³. Проектный КИШ составляет 0,9–0,95.

Забойка на руднике «Ангидрит» не применяется, что не противоречит требованиям п. IV п. 24 ЕПБ при взрывных работах [5–7].

Рудник «Известняков» ведет подземную добычу известняка камерно-столбовой системой разработки с оставлением ленточных междукамерных целиков. Рудное тело представлено пластообразной залежью мощностью от 4,0 до 16,2 м. По крепости известняка относятся к категории средних, коэффициент крепости по шкале М.М. Протоdjаконова составляет 4–6 – 75%, 7–9 – 25% от вовлекаемых в добычу объемов [8]. Физико-механические свойства горных пород приведены в табл. 2.

Таблица 1

Физико-механические свойства горных пород

Наименование пород	Объемная плотность, кг/м ³	Коэффициент крепости по шкале М.М. Протоdjаконова	Предел прочности на сжатие, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Предел прочности на сдвиг, МПа
Породы кровли (мергель)	2800	6-8	58,55	11,77	18,63
Ангидрит	2920	4-6	44,13-48,25	7,25	17,15
Породы почвы (мергель)	2790	6-8	-	9,90	-

Таблица 2

Физико-механические свойства известняков

Параметр	I пачка (породы кровли II пачки)	II пачка (известняки II пачки)	III пачка (породы почвы II пачки)
Объемный вес, кг/м ³	2730,0	2670,0	2700,0
Предел прочности на сжатие, МПа	96,7	96,9	100,0
Предел прочности на растяжение, МПа	8,7	9,0	10,3
Коэффициент крепости по шкале М.М. Протоdjаконова	9,7	9,7	10,0

Отбойка горной массы осуществляется буровзрывным способом. Выемку ведут в две стадии: первая – в подсеменной выработке, вторая – собственно очистная выемка. На руднике применяют следующие типы СБУ: *Axera 07-260*, *Minimatik D07-260*, которые бурят шпуров диаметром 48, 51 и 57 мм.

Для взрывных работ используют гранулированные ВВ – гранулит АС-8 и патронированные – аммонит № 6ЖВ (диаметр патронов 32 мм, длина 200 мм, масса патрона 250 г). Средства инициирования: электродетонаторы ЭД-8Ж, ЭД-8Э, ЭД-3Н, ЭД-3Т, детонирующий шнур ДТП-А, ЛШЭ, системы неэлектрического инициирования ИСКРА-Ш и ЭКСЭЛ. Заряжание шпуров в очистных забоях производят аммонитом № 6ЖВ – вручную, гранулитом АС-8 – пневмозарядчиками типа ЗП-2 и РПЗ-0,6. Забойка также не применяется [6 – 9].

Необходимо отметить, что большая часть паспортов БВР предполагает использование одинакового комплекта шпуров, несмотря на существенный диапазон изменения площади поперечного сечения выработок. Например для выработок сечениями 48 и 64 м² паспорта принимают практически идентичные, что говорит об отсутствии единого методического подхода к расчету параметров БВР на предприятии.

В 2012 г. проведен комплекс работ с целью повышения эффективности буровзрывных работ. На начальном этапе разработана методика, в основу которой была положена методика, описанная в работе [4]. В ходе анализа результатов расчетов было выявлено, что для пород с крепостью $f = 1 - 8$ формула расчета зоны трещиноватости в массиве дает завышенные значения, не соответствующие практическим данным. Для устранения данных неточностей были проведены оценочные работы, по результатам которых выполнена корректировка методики.

Исходные данные для проведения эксперимента:

1. Сечение выработки 25,0 м²;
2. Крепость пород $f = 1 - 10$;
3. Диаметр шпуров 43 мм;
4. Длина шпуров 3,8 м;
5. Тип применяемого ВВ: гранулит АС-8;
6. Скорость детонации ВВ $D = 3000$ м/с;
7. Плотность ВВ в заряде $\rho = 1200$ кг/м³;
8. Предел прочности на сжатие $\sigma_{сж} = f \cdot 10^7$ Па;
9. Предел прочности на срез $\tau_{ср} = 0,1 \cdot \sigma_{сж}$ Па;
10. Коэффициент структурного ослабления $K_c = 0,56$.

Используя вышеперечисленные данные в расчете, получили облако значений для различной крепости пород $f = 1 - 10$ [3]:

$$R_{тр} = 0,2102 d \rho^{0,75} D^{1,5} \sigma_{сж}^{-0,25} \tau_{ср}^{-0,5} K_c^{-0,5},$$

где d – диаметр заряжаемого шпура, м; ρ – плотность ВВ в заряде, кг/м³; D – скорость детонации ВВ, м/с; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие, Па; $\tau_{ср}$ – предел прочности на срез, Па; K_c – коэффициент структурного ослабления.

Результаты расчетов зависимости размеров зоны трещиноватости от коэффициента крепости показаны в табл. 3.

Как видно из данных табл. 3, зона трещиноватости для пород с низкой крепостью достигает некорректных значений, при крепости $f = 3$ зона трещиноватости составляет $R_{тр} = 2,3$ м, что говорит о необходимости корректирования указанных значений.

На основе практических данных, полученных на руднике «Ангидрит», были проведены исследования физико-механических свойств горных пород, которые позволили уточнить формулу определения зоны трещиноватости для указанных условий. На графике представлены значения, полученные опытным путем в натуральных условиях (рис. 1).

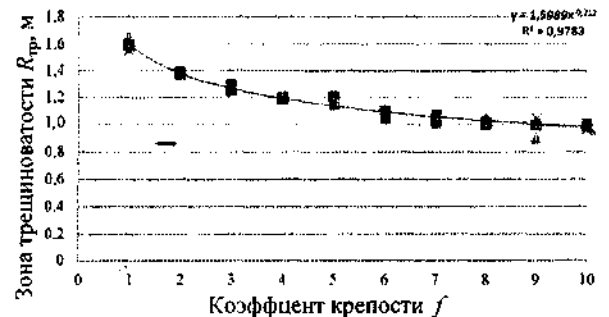


Рис. 1. Зависимость изменения размеров зоны трещиноватости от коэффициента крепости горной породы

По результатам статистической обработки данных, полученных опытным путем, была скорректирована исходная формула, которая приняла следующий вид: $R_{тр} = 7,95 \cdot 10^{-6} d \rho^{0,75} D^{1,5} \sigma_{сж}^{0,305} \tau_{ср}^{-0,5} K_c^{-0,5}$.

Далее разработка паспорта буровзрывных работ для проходки выработки производится последовательным расчетом числа шпуров по комплектам (оконтуривающие, вспомогательные, врубовые) и расстояния между ними – по уже существующей методологии [4].

Таблица 3

Зависимость размера зоны трещиноватости от коэффициента крепости при расчетах по методике [4]

f	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{тр}, м$	5,38	3,20	2,36	1,90	1,61	1,40	1,25	1,13	1,04	0,96

Анализ практики показал, что для данных условий эффективно использование вертикального клинового вруба, расчет которого на рудниках и шахтах ЗФ ОАО «Горно-металлургическая компания «Норильский никель» производился методом подбора, по результатам взрывов.

По результатам статистической обработки практических данных рудника «Ангидрит» была определена зависимость оптимальной ширины клинового вруба B_1 , м, от ширины выработки, которая описывается выражением: $B_1 = 0,6992B^{0,668}$, где B – ширина выработки, м.

Ширину клина на концах шпуров b_2 , м, находим по формуле $b_2 = B/2 - 2L_{вр} \cos 75^\circ$, где $L_{вр}$ – длина врубовых шпуров, м.

Расстояние между шпурами в ряду

$$a_{в} = (1,06 f^{-0,4}) \frac{d}{0,032} \sqrt{\frac{P}{380}},$$

где d – диаметр шпуров, м; f – коэффициент крепости М.М. Протоdjeяконова; P – работоспособность ВВ; 380 – работоспособность эталонного ВВ (рис. 2).

Скорректированная методика расчета параметров БВР прошла практические испытания в натуральных условиях. Результаты сравнения данных существующего паспорта и предлагаемого приведены в табл. 4.

Параметры БВР для построения паспорта БВР по предлагаемой методике приведены в табл. 5. В качестве примера расчета рассмотрен паспорт БВР на проведение выработки прямоугольной формы поперечного сечения 25 м^2 в породах с крепостью $f = 6 - 8$ по шкале М.М. Протоdjeяконова (рис. 3). Длина шпуров 3,8 м, диаметр 43 мм. Взрывчатое вещество: гранулит АС-8 и аммонит № 6ЖВ. Бурение осуществляется СБУ, тип вруба вертикальный клиновой.

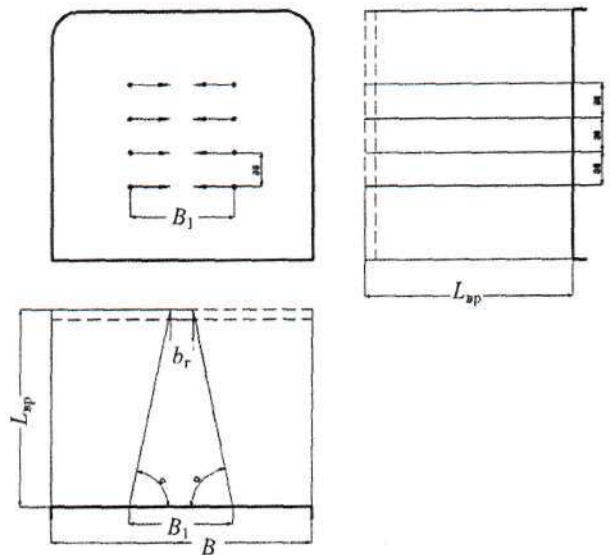


Рис. 2. Схема к расчету параметров клинового вруба

Проведенные исследования показали, что расчет параметров БВР возможно производить на основании величины зоны трещинообразования, формирующейся вокруг заряда ВВ, с учетом особенностей этих пород.

Опытными работами установлено, в условиях проходки выработок на рудниках «Ангидрит» и «Известняков» наиболее эффективным является вертикальный клиновой вруб. Корректировка методики расчета параметров данного вруба дает строгий и четкий порядок действий и наиболее точные результаты расчетов.

Результаты проведенных взрывов показали эффективность предлагаемой методики, что подтверждается сокращением как объема бурения, так и расхода ВВ.

Таблица 4

Сравнение параметров паспортов БВР

Показатели	Контрольный пример	Расчетный пример
Общее количество шпуров, шт.	32	29
Количество врубовых шпуров, шт	8	8
Количество вспомогательных шпуров, шт	6	6
Количество оконтуривающих шпуров, шт.	18	15
Расход ВВ:		
Гранулит АС-8	120,0	105,5
Аммонит №6-ЖВ	8,0	7,75
Количество шпурометров, м	123,2	
Коэффициент использования шпура	0,9	0,9
Продвижение забоя за цикл, м	3,42	3,61
Отрыв горной массы, м ³	85,5	90,25
Расход ВВ на 1 м ³ горной массы:		
Гранулит АС-8	1,441	1,170
Аммонит №6-ЖВ	0,093	0,085
ЭД, шт.	0,023	0,022
ДШ	0,117	0,222

Таблица 5

Исходные данные для расчета паспорта БВР

Наименование	Условные обозначения	Ед. изм.	Значение	
			Гранулит АС-8	Аммонит
Плотность ВВ в заряде	q	кг/м ³	1200,000	900
Скорость детонации ВВ	D	м/с	3000	3500
Диаметр заряжаемого шпура (скважины)	d_n	м	0,043	0,043
Коэффициент крепости по Протодюконову	f		7	7
Предел прочности на сжатие	$\sigma_{сж}$	Па	70000000	70000000
Предел прочности на срез	$\tau_{ср}$	Па	7000000	7000000
Минимальный угол образующей взрывной воронки $\alpha = 60^\circ$	α	град	60	60
Расстояние между трещинами в массиве	l_m	м	0,2	0,2
Длина шпура	$l_{ш}$	м	3,8	3,8

Таблица 6

Буровзрывные данные паспорта БВР на проходку выработки 5,0×5,0 м с использованием аммонита № 6ЖВ и гранулита АС-8

Очередность взрывания	Номер шпуров	Количество шпуров, шт.	Длина шпуров, м	Диаметр шпуров, мм	Тип ЭД, ИС-КРА-III, номер серии		Величина заряда на шпур, кг			Всего ВВ на серию, кг			Детонирующий шпур, п.м	Длина забойки, м	Количество шпурометров, м
					ЭД-3-1-ИМ-К	СИНВ-III	АС-8	Аммонит 6ЖВ	ДПМ, шт	АС-8	Аммонит 6ЖВ	ДПМ, шт I			
1	1-8	8	4	43	2	100-7	4	0,25		32,0	2,0		0,5	24,0	
2	9-14	6	3,8	43		200-7	3,5	0,25		21,0	1,5	-	0,5	22,8	
3	15-20	6	3,8	43		300-7	3,5	0,25		21,0	1,5	-	0,5	22,8	
4	22,24	2	3,8	43		400-7	3,5	0,25		7,0	1,00	-	0,5	7,6	
5	21,23,25	3	3,8	43		500-7	3,5	0,25		10,5	1,25	-	0,5	11,4	
6	26-29	4	3,8	43		600-7	3,5	0,25		14,0	2,00	-	0,5	15,2	
Итого:		29			2					105,5	9,25	-	20	103,8	

Таблица 7

Показатели действия взрыва

КИШ	Продвижение забоя за цикл, м	Отрыв горной массы за цикл, м ³	Расход ВМ на м ³ горной массы				
			ВВ, кг		ЭД, шт	ДПМ, п.м	Бурение, м
			АС-8	Аммонит 6ЖВ			
0,95	3,61	90,25	1,17	0,10	0,022	0,222	1,15

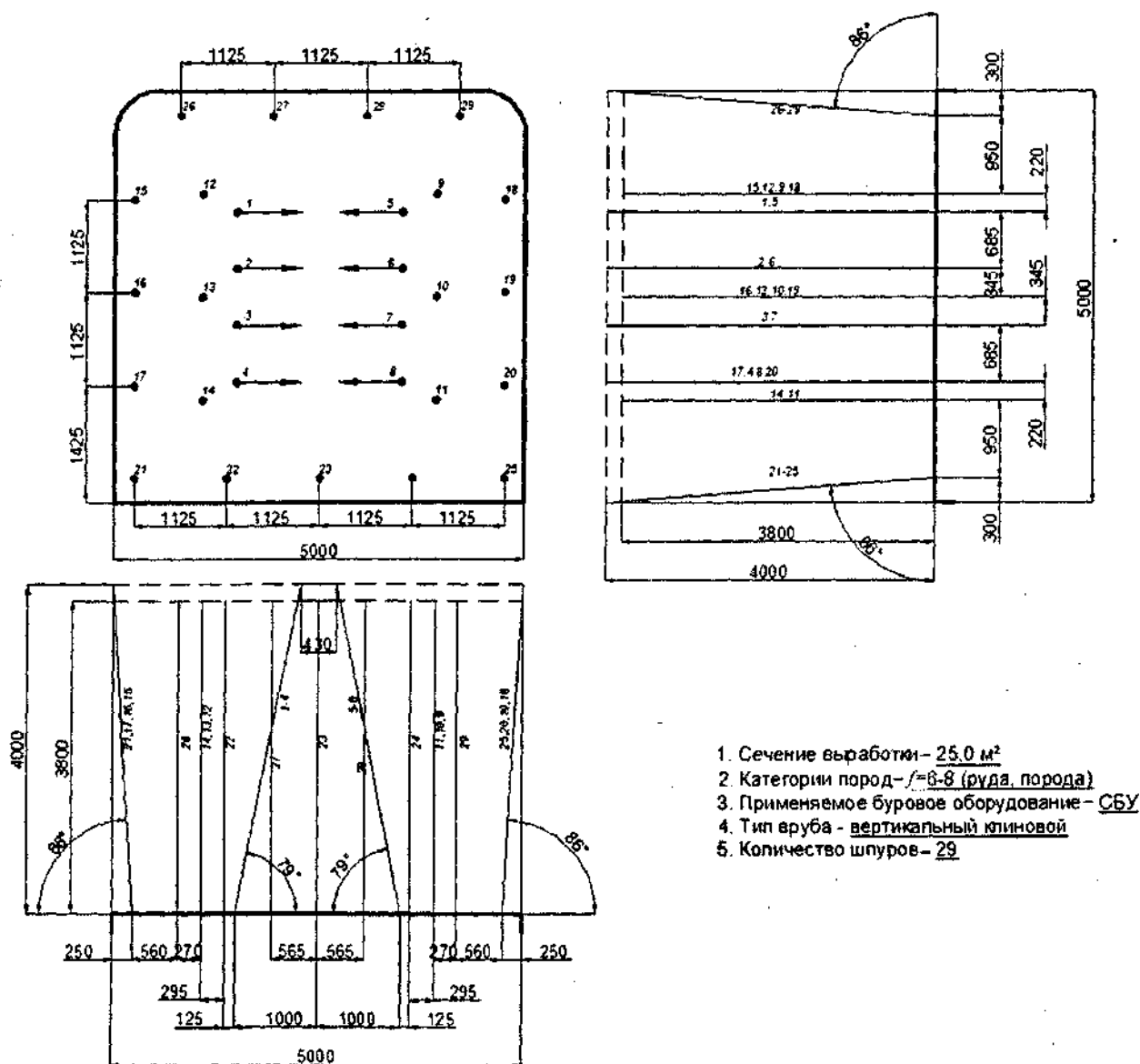


Рис. 3. Паспорт БВР, построенный по уточненной методике

Литература

1. Покровский Н.М. Технология строительства подземных сооружений и шахт. Ч. 1: Технология сооружения горизонтальных горных выработок и тоннелей. М., 1977.
2. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов: 3-е изд., перераб. и доп. М., 1992. 516 с.
3. Таранов П.Я., Гуздь А.Г. Разрушение горных пород взрывом: учебник: 3-е изд., перераб. и доп. М., 1976. 253 с.
4. Кутузов Б.Н. Андриевский А.П. Новая теория и новые технологии разрушения горных пород удлиненными рядами взрывчатых веществ. Новосибирск, 2002.
5. Регламент технологических производственных процессов по применению камерно-столбовой системы разработки с использованием самоходного оборудования на руднике «Ангидрит» рудоуправления «Норильск-1» ЗФ ОАО «ГМК "Норильский никель"» (РТПП-050-2005). Норильск, 2006. 22 с.
6. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом. М., 2003. 103 с.
7. Безопасность при взрывных работах: сб. док. Серия 13, вып. 1 / кол. авт.; Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России». М., 2001. 248 с.
8. Регламент технологических производственных процессов по применению камерно-столбовой системы разработки с ленточными междукамерными целиками и использованием самоходного оборудования на руднике «Известняков» рудника «Кайеркапский» рудоуправления «Норильск-1» ЗФ ОАО «ГМК "Норильский никель"» (РТПП-052-2005). Норильск, 2006. 30 с.
9. Регламент технологических производственных процессов ведения взрывных работ в подземных условиях подразделений ЗФ ОАО «ГМК "Норильский никель"» (РТПП-030-2011). Норильск, 2011. 60 с.

Поступила в редакцию

31 января 2013 г.