

Разработка ресурсосберегающей технологии буровзрывных работ

Жариков С. Н.¹

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН
(Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58)

Реферат

Введение. При разрушении горных пород взрывом слишком много неопределенностей, которые не позволяют существенно повысить эффективность буровзрывных работ. Предлагается комплексное изучение вопроса для решения данной проблемы.

Цель работы. Решение комплекса задач по развитию ресурсосберегающей технологии разрушения горных массивов буровзрывным способом при использовании эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) местного изготовления включает два основных направления: экспрессное получение информации о прочностных и технологических свойствах горных пород по трудности и энергоемкости бурения технологических скважин; определение взрывчатых свойств ЭВВ и возможности их регулирования в зависимости от диаметра скважин и плотности взрывчатых веществ (ВВ) в колонке заряда.

Методология. Представлены подходы к экспериментальному определению взаимосвязи между плотностью ВВ, скоростью детонации и диаметром заряда для эмульсионных ВВ на примере нитронита, а также уточнению прочностных характеристик горных пород в естественном залегании по измеряемым характеристикам процесса шарошечного бурения скважин.

Результаты. Структура задачи развития ресурсосберегающей технологии разрушения горных массивов буровзрывным способом при использовании эмульсионных взрывчатых веществ местного изготовления предполагает комплексное изучение, с одной стороны, прочностных характеристик локального массива горных пород с целью установления рационального разрушающего воздействия в нужном месте, а с другой – определение детонационных свойств ЭВВ с целью уточнения возможности создания определенного давления при взрыве. При этом можно добиться существенного снижения затрачиваемых материальных ресурсов на буровзрывные работы (БВР) и повысить качество подготовки горной массы к выемке.

Выводы. Разработана ресурсосберегающая методика определения параметров БВР на основе уточненных данных о прочностных свойствах пород и свойствах ЭВВ.

Ключевые слова: взрывчатые вещества; скорость детонации; физико-механические свойства горных пород; шарошечное бурение; разрушение горных пород.

Введение. На крупных карьерах затраты на буровзрывные работы (БВР) достигают 30 % от общих затрат на добычу, и по мере понижения горных работ ожидается их увеличение. В первую очередь это связано с увеличением удельного расхода взрывчатых веществ (ВВ) на разрушение горных пород, который за последние 30 лет вырос в среднем на 25–35 %. Указанная цифра обусловлена тем, что на горных предприятиях получили широкое применение ВВ местного изготовления, удельный расход которых изначально на 10–20 % выше, чем штатного ВВ. В результате расстояния между скважинами уменьшились, объем бурения вырос, а качество дробления в ряде случаев ухудшилось [1], что негативно отразилось на эффективности буровзрывных работ. В связи с этим в последние годы наблюдается достаточно высокая активность научного исследования свойств

взрывчатых веществ, изготавливаемых в местах применения. Однако взаимосвязь трех параметров: плотности ВВ, скорости детонации и диаметра заряда – пока не выражена в общей закономерности, и для обеспечения безопасности ведения взрывных работ соотношение указанных характеристик эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) определяется экспериментально. При этом, как показывает практика, взрывчатые характеристики смесевых ВВ одной марки могут иметь достаточно широкий диапазон значений [2–5]. С одной стороны, получается, что параметры разрушающего воздействия на горный массив носят случайный характер. С другой стороны, свойства горных пород в границах выемочного блока не всегда соответствуют представлениям о них на основе данных детальной и эксплуатационной разведки, что обуславливает заложение значительных резервов при определении расхода материальных ресурсов при производстве БВР.

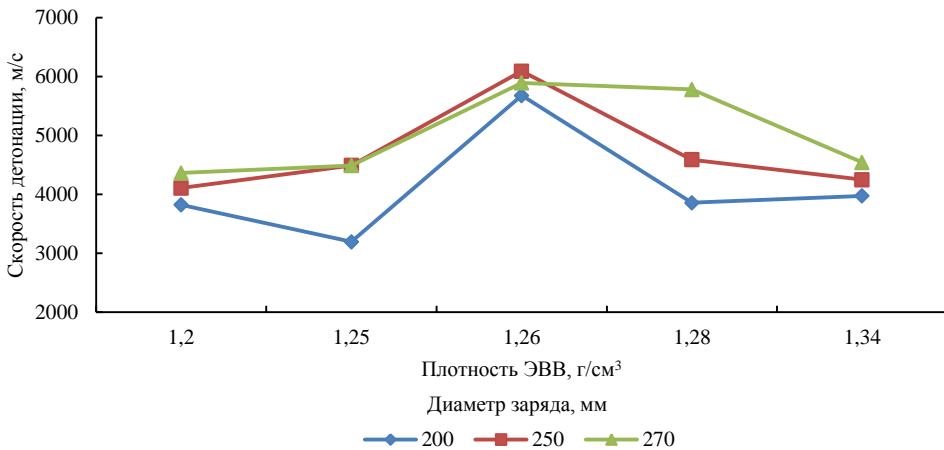


Рис. 1. Зависимость скорости детонации от плотности нитронита Э-70 при больших диаметрах заряда

Fig. 1. Dependence between the velocity of detonation and the density of nitronite E-70 under the large charge diameter

Таким образом, при разрушении пород взрывом слишком много неопределенностей, которые не позволяют существенно повысить эффективность БВР, если не решать проблему комплексно. Далее представлены краткие результаты исследований, проведенных в ИГД УрО РАН, которые заключаются в решении комплекса задач по развитию ресурсосберегающей технологии разрушения горных массивов буровзрывным способом при использовании ЭВВ местного изготовления. Исследования выполнены по двум основным направлениям: экспрессное получение информации о прочностных и технологических свойствах горных пород по трудности и энергоемкости бурения технологических скважин [6–8]; определение взрывчатых свойств ЭВВ и возможность их регулирования в зависимости от диаметра скважин и плотности ВВ в колонке заряда [9–12]. Установлено, что полученные уточненные данные о состоянии массива горных пород и информация о диаметре скважин, плотности ЭВВ в колонке заряда и расчетная скорость детонации позволяют определить для этих условий рациональный удельный расход ЭВВ, который значительно ниже проектного, и выбрать направление инициирования скважинных зарядов, что обеспечит требуемое качество дробления горной массы и снизит выход негабаритных фракций. В результате могут быть снижены энергозатраты на буровзрывные работы и на дробление горной массы в обогащательном производстве.

Свойства ЭВВ. Взаимосвязи, установленные между детонационными характеристиками, имеют большое значение для рационального использования энер-

гии взрыва на разрушение горных пород при их подготовке к выемке. Далее представлен подход к их экспериментальному определению на примере нитронита.

На рис. 1 представлена зависимость скорости детонации от плотности нитронита Э-70, полученная на основе измерений по методике [9–12]. Видно, что скорость детонации до определенного значения растет, а потом падает при приближении плотности к критическому значению. Для эмульсионных ВВ это $\sim 1,4$ г/см³.

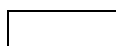
В целом графики указывают на наличие оптимальной плотности эмульсионного взрывчатого вещества, при которой рост скорости детонации сменяется падением при увеличении плотности, близкой к критическому значению. При этом следует обратить внимание на «проседание» графика при диаметре заряда 200 мм и плотности 1,25 г/см³, что указывает на следующее: снижение скорости детонации после достижения оптимальной плотности самое значительное, но не единственное. Поэтому изменение диаметра заряда также необходимо учитывать при изучении скорости детонации ЭВВ.

Скорость детонации эмульсионного ВВ нитронита Э-70
The velocity of detonation of nitronite E-70 emulsion explosive

Плотность ВВ, г/см ³	Диаметр заряда, мм									
	90	120	130	140	150	160	180	200	250	270
1,100	3819	4164	4236	4308	4380	4452	4596	4740	5100	5151
1,110	3805	4067	4098	4128	4159	4258	4456	4654	5194	5260
1,150	2971	3392	3575	3726	3877	4028	4330	4868	5387	5358
1,180	2137	2717	3296	3327	3407	3639	3648	3871	4094	4838
1,183	2824	3492	3715	3938	4161	4384	4450	4516	4680	4766
1,190	3510	3900	4030	4160	4290	4420	4521	4622	4875	4599
1,200	2887	3142	3227	3312	3397	3482	3652	3822	4106	4360
1,225	2755	3208	3359	3510	3661	4130	4273	4416	4773	4423
1,250	3193	3497	3599	3700	3802	3903	4106	3192	4817	4486
1,260	3630	4188	4374	4560	4747	4933	5305	5677	6090	5797
1,270	3310	3512	3580	3647	3715	3782	3917	4052	4420	4677
1,277	3284	3425	3460	3496	3545	3575	3636	3697	3848	3594
1,280	3789	3907	3946	3985	4025	4064	4142	4221	4778	5677
1,330	3219	3584	3706	3827	4307	4357	4457	4557	4675	4848
1,340	2885	3229	3370	3469	3573	3714	3868	3974	4248	4542



Измеренные значения



Интерполяция и экстраполяция

Измерения детонационных характеристик нитронита проводились на протяжении нескольких лет сотрудниками лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН при разных диаметрах зарядов и разной плотности в полигонных условиях. С учетом того что измерения проведены не во всех диапазонах плотности и диаметров зарядов, для более углубленного анализа недостающие значения получены интерполяцией и экстраполяцией. В таблице приведены соответствующие данные.

На основании данных таблицы построены более подробные графики зависимости скорости детонации от плотности ВВ, некоторые из них представлены на рис. 2.

Как показали графики, скорость детонации в зависимости от плотности подвержена достаточно большим колебаниям, при этом по всему диапазону значений на большинстве диаметров зарядов отмечен похожий характер этих колебаний.

Следовательно, если построить графики зависимости скорости детонации от диаметра заряда по разным плотностям, то пересечение графиков разных плотностей при определенном диаметре будет отражать взаимосвязь скорости детонации, плотности ВВ и диаметра заряда. При этом появляется возможность при зарядании скважин конкретного диаметра и измерении плотности эмульсии предположить скорость детонации. В соответствии с данной идеей были построены графики по всему диапазону значений, один из вариантов представлен на рис. 3.

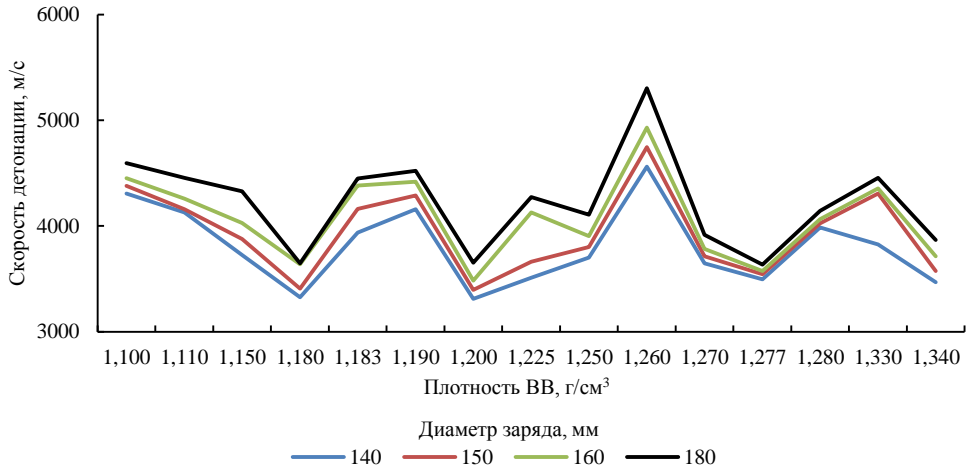


Рис. 2. Зависимость скорости детонации от плотности нитронита Э-70 при малых диаметрах заряда

Fig. 2. Dependence between the velocity of detonation and the density of nitronite E-70 under the large charge diameter

Согласно рис. 3, при плотности 1,10–1,11 г/см³ пересечение графиков происходит при диаметре 200–250 мм, при этом разброс по скорости детонации составляет 4850–5150 м/с, следовательно, при значении плотности заряжения в этом интервале 1,10–1,11 г/см³ и зарядах диаметром 200–250 мм можно ожидать указанную скорость детонации. Аналогично при плотности 1,10–1,15 г/см³ три графика пересекаются напротив диаметра заряда 180–200 мм, соответственно при данной плотности и диаметре заряда можно ожидать скорость детонации 4300–4750 м/с.

Данные позволяют при зарядании скважины определенного диаметра и измерении при этом плотности ВВ предполагать возможную скорость детонации каждого заряда в выемочном блоке. Если иметь данные о свойствах пород в естественном залегании, то появляется возможность рассчитать радиус зоны разрушения и трещинообразования согласно [13] и соответствующим образом скорректировать схему инициирования зарядов. Это имеет высокую практическую значимость и может существенно отразиться на качестве подготовки горной массы к выемке.

Прочностные свойства горных пород. Наиболее точно свойства горных пород характеризуются трудностью и энергоемкостью бурения технологических скважин [14–16]. Однако если буримость и крепость пород по хронометражу бурения может быть определена достаточно точно, то взрываемость без учета среднего размера отдельности в массиве не может быть определена. В данном случае различия между трещинной структурой пород в забое скважины и в отбиваемом скважиной объеме имеют принципиальное значение. Если по данным бурения нельзя установить, какое количество ВВ заложить в скважины, то такая информация в значительной мере теряет свою ценность, так как расход ВВ не может быть изменен. Именно поэтому при производстве БВР параметры процесса бурения скважин не измеряются и не учитываются при корректировочных расчетах.

С другой стороны, следует обратить внимание на формулы В. В. Ржевского [17–19] по расчету эталонного удельного расхода ВВ q_3 и показателя трудности бурения Π_6 в зависимости от физико-механических свойств горных пород:

$$q_3 = k(\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + \sigma_p + 10\gamma);$$

$$\Pi_6 = 0,07(\sigma_{сж} + \sigma_{сд} + 10\gamma),$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы на одноосное сжатие, Па; $\sigma_{сд}$ – предел прочности горной породы на сдвиг, Па; σ_p – предел прочности горной породы на растяжение, Па; γ – плотность горной массы, т/м³.

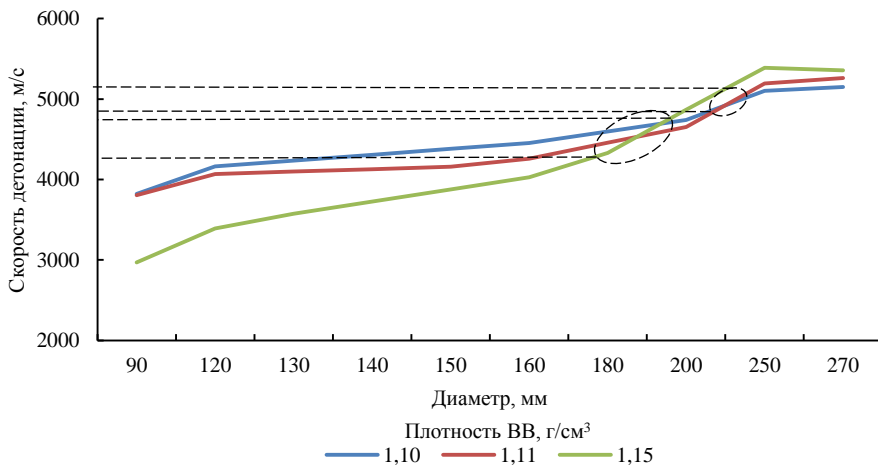


Рис. 3. Зависимость скорости детонации нитронита Э-70 от диаметра заряда
Fig. 3. Dependence between nitronite E-70 velocity of detonation and charge diameter

Получается, что показатель буримости и эталонный удельный расход ВВ связаны через физико-механические свойства горных пород. Следовательно, эталонный расход ВВ можно выразить с учетом показателя трудности бурения:

$$q_3 = k\left(\frac{\Pi_6}{0,07} + \sigma_p\right).$$

Анализ формул В. В. Ржевского подтверждает, что разрушение горных пород при бурении и взрывании имеет связь. При этом эталонный расход ВВ находится в зависимости от показателя трудности бурения. Из практики известно, что показатель трудности бурения В. В. Ржевского связан с коэффициентом крепости М. М. Протодяконова ($\Pi_6 \approx 0,95f$). Следовательно, если моделировать крепость горных пород по данным технологического бурения, то на основе этих результатов вполне можно определять (уточнять) параметры БВР. Показатель трудности бурения Π_6 связан с параметрами процесса шарошечного бурения следующим образом:

$$\Pi_6 = \left(\frac{P_o n^{0,8}}{v_r D} \right)^{0,625},$$

где P_o – осевое усилие, кН; n – частота вращения, мин⁻¹; v_r – техническая скорость бурения, м/ч; D – диаметр долота, см.

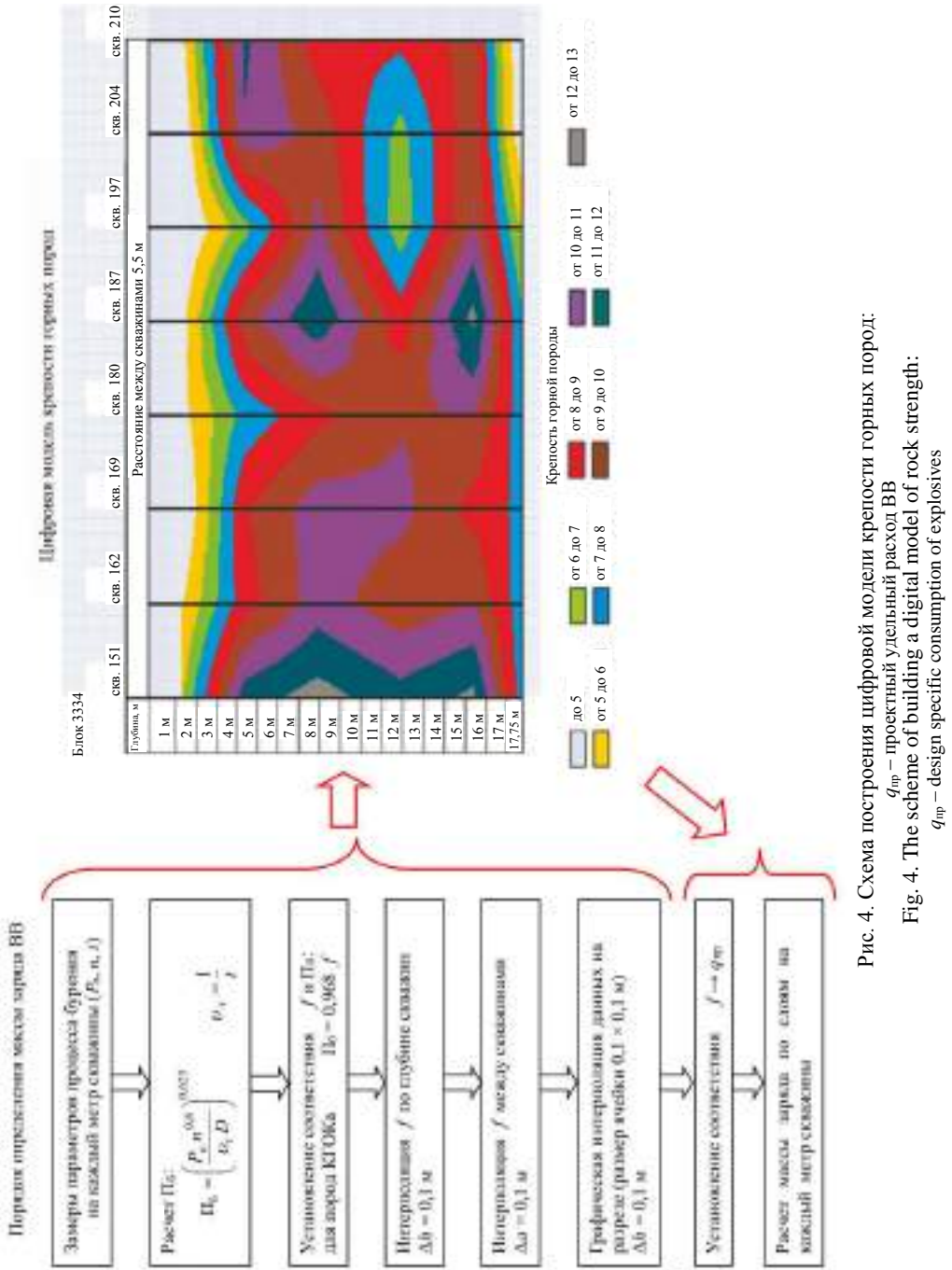


Рис. 4. Схема построения цифровой модели крепости горных пород:

q_{exp} – проектный удельный расход ВВ

Fig. 4. The scheme of building a digital model of rock strength:

q_{exp} – design specific consumption of explosives

На рис. 4 представлена схема построения цифровой модели крепости горных пород на основе данных хронометража бурения.

На основании полученных результатов разработана методика определения величины удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте уступа, определять пропорциональность между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород [20], а также уточнять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока. Представленная на рис. 4 модель позволяет разбить взрывааемый блок на ячейки и для каждой ячейки установить необходимый удельный расход ВВ, а впоследствии скорректировать его значение по слоям уступа. Схема определения удельного расхода ВВ по данным указанной на рис. 4 модели представлена на рис. 5, где $Q_{зар}$ – вес заряда в скважине; $m_{ВВi}$ – масса ВВ на слой; n_i – число элементов слоя; V_i – объем слоя; N – мощность двигателя вращателя; $M_{кр}$ – момент вращения долота; n – частота вращения долота; t – среднее время бурения 1 м; P_o – осевое усилие; $Q_{уд}$ – удельная теплота взрыва; $q_{пр}$ – проектный удельный расход ВВ по методике института «Гипроруда»; $q_{ГМ}$ – выход горной массы с 1 м скважины; E – энергия на обуривание 1 м³ горной породы; Π – коэффициент пропорциональности между энергиями на обуривание и взрывное разрушение; $K_{ВВ}$, $K_{д.с}$, $K_{др}$, K_b – коэффициенты, учитывающие соответственно тип ВВ, диаметр скважины, степень дробления и угол наклона скважины:

$$N = 2\pi \cdot 10^{-3} M_{кр} n \eta^{-1},$$

где $M_{кр}$ – момент вращения долота, Н · м; n – частота вращения, с⁻¹; η – КПД трансмиссии вращателя;

$$M_{кр} = 2,84 \cdot 10^{-3} k_1 D (0,22 P_o)^m,$$

где k_1 – эмпирический коэффициент, зависящий от крепости породы [19, 20]; D – диаметр долота, мм; P_o – осевое усилие, кН; m – показатель качества очистки скважины (1,25 – «очень хорошо»; 1,5 – «удовлетворительно»; 1,75 – «плохо»).

Получаемая модель служит основой для уточнения параметров зарядов в скважинах выемочного блока. Применяя моделирование крепости горных пород по трудности и энергоёмкости бурения, можно изучать трещиноватость массива, что особенно важно при выборе рациональной схемы инициирования зарядов ВВ.

Совместное применение данных о свойствах горных пород и детонационных характеристиках ЭВВ. Совместное применение данных о свойствах горного массива и детонационных характеристиках ВВ формализовано в соответствующих методических разработках ИГД УрО РАН. В настоящее время идет пополнение сведений о детонационных характеристиках разных ЭВВ и проводятся промышленные испытания приборного комплекса по сбору данных о бурении скважин. Пока данная система целиком не отработана, поэтому показать конкретный результат комплексного решения задачи в производственных условиях не представляется возможным. Однако структура задачи есть, следовательно, процесс решения можно смоделировать.

В качестве примера проведен произвольный расчет для следующих условий. Взрывчатое вещество – нитронит, диаметр скважины и диаметр заряда – 250 мм. В выемочном блоке 5 рядов скважин по 20 в ряду, расстояние между скважинами 6 м. Породы в выемочном блоке крепкие, прочность на сжатие в образце 140, 160 и 200 МПа; прочность на растяжение соответственно 14, 16 и 20 МПа; коэффициент структурного ослабления 0,1. Плотность ЭВВ и расположение пород в блоке

выбрано случайным образом. Зона управляемого разрушения от воздействия взрыва скважинного заряда определяется давлением на стенки скважины и физико-механическими свойствами горных пород. Порядок определения разрушающего воздействия следующий.

Давление на стенку скважины [13]

$$P = \frac{r_{\text{зар}}^2}{2r_{\text{скв}}^2} P_{\text{д}},$$

где $r_{\text{зар}}$ – радиус заряда, м; $r_{\text{скв}}$ – радиус скважины, м; $P_{\text{д}}$ – давление детонационной волны, МПа.

При показателе изоэнтропы, равном 3, давление детонационной волны можно определить следующим образом [5]:

$$P_{\text{д}} = \frac{\rho_{\text{ВВ}} D^2}{4}, \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ВВ}}$ – плотность ВВ, кг/м³; D – скорость детонации, м/с.

Значения давления, рассчитанные по выражению (1), как правило, получаются завышенными по сравнению с более точными способами расчета. Погрешность приблизительно может составлять 6–8 %. Однако в данном случае указанная точность вполне приемлема.

Для конкретного типа ВВ радиус трещинообразования определяется выражением:

$$R_{\text{тр}} = r_{\text{скв}} \sqrt[3]{\left(\frac{P}{\sigma_{\text{дин}}}\right)^2}, \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{дин}}$ – допустимый динамический предел прочности пород, МПа.

В приближении за допустимый динамический предел прочности пород $\sigma_{\text{дин}}$ можно принимать статический предел прочности пород на растяжение $\sigma_{\text{р}}$, увеличенный на 10–30 % ($(1,1-1,3)\sigma_{\text{р}}$) [21], но это при условии, что сам динамический предел прочности больше суммы статических и динамических напряжений (массив устойчив).

Предельный радиус трещинообразования для различных условий может быть установлен в соответствии с технологией ведения работ. В этом случае появляется возможность путем указанных расчетов подобрать взрывчатое вещество и конструкцию зарядов, обеспечивающие установленный радиус развития трещин. Выражения (1), (2) представляют собой критерий определения типа ВВ для конкретных условий.

Зоны разрушающего воздействия между скважинами определяются в зависимости от давления за границей взрывной полости и предела прочности пород на растяжение и сжатие в массиве с учетом коэффициента структурного ослабления.

Давление в горном массиве от взрыва цилиндрического заряда на расстоянии [13]

$$P_R = P \left(\frac{r_{\text{скв}}}{R} \right)^{1,5},$$

где R – расстояние от взрыва заряда, м.

Вычислив величину давления через каждый метр от заряда и сравнивая с напряжениями в массиве, можно определить приблизительное расстояние, на котором прекратится раздавливание массива и начнется распространение энергии преимущественно по трещинам.

Вынесение результатов расчета на план блока, как показано на рис. 6, а, позволяет наглядно оценить приблизительное разрушающее воздействие от каждого скважинного заряда выемочного блока и подобрать наиболее рациональное направление инициирования. Учитывая расположение пород (рис. 6), можно предположить, что основные трещины вытянуты вдоль контактов пород различной крепости. Поэтому целесообразно трещиноватость «подсекать» вкрест. При этом следует обратить внимание на то, что в первом и последнем рядах зоны разрушающего воздействия увеличены. Это может благоприятно отразиться на дробящем действии взрыва при создании свободной поверхности посередине блока. Учитывая изложенное, наиболее целесообразным для представленных на рис. 6, а, условий является применение врубовой схемы инициирования: врубовый ряд по третьему ряду, инициирование зарядов перпендикулярно и последовательно (рис. 6, б).

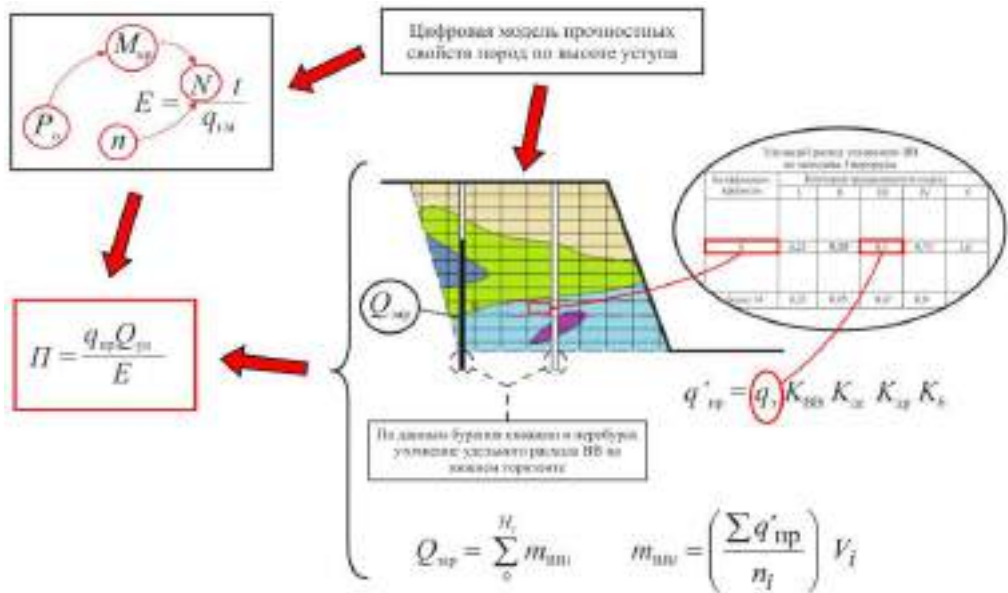


Рис. 5. Схема определения удельного расхода ВВ на основании модели изменения крепости пород по высоте уступа

Fig. 5. The scheme of specific consumption of explosives determination based on the model of rock strength variation along the height of a bench

Выводы. Структура задачи развития ресурсосберегающей технологии разрушения горных массивов буровзрывным способом при использовании эмульсионных ВВ местного изготовления предполагает комплексное изучение, с одной стороны, прочностных характеристик локального массива горных пород с целью установления рационального разрушающего воздействия в нужном месте, а с другой – определение детонационных свойств ЭВВ с целью уточнения возможности создания определенного давления при взрыве. При этом можно добиться существенного снижения затрачиваемых материальных ресурсов на БВР и повысить качество подготовки горной массы к выемке.

В результате исследований детонационных характеристик ЭВВ предложен графоаналитический подход к определению взаимосвязи между скоростью детонации,

плотностью ЭВВ и диаметром заряда, позволяющий на начальном этапе прогнозировать скорость детонации по измеряемой плотности при заряджании взрывной полости известного диаметра. Практическое значение указанного подхода заключается в возможности корректировки схемы взрывания в зависимости от предполагаемых энергетических характеристик работы каждого заряда выемочного блока.

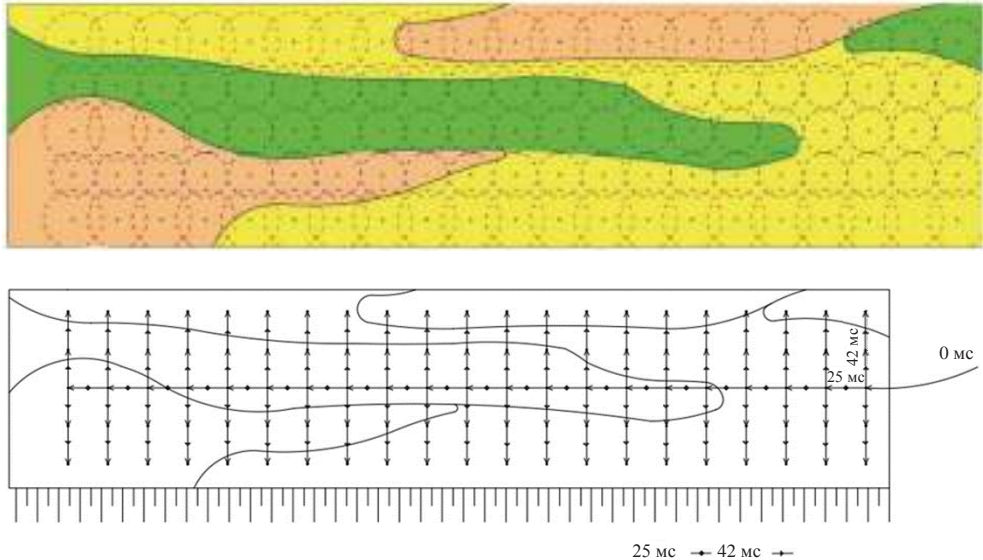


Рис. 6. Модель блока с зонами разрушения, определенными на основании установленной взаимосвязи между детонационными характеристиками нитронита Э-70 – *a* и схема рационального инициирования зарядов нитронита Э-70 для смоделированных условий – *б*

Fig. 6. Model of a block with the zones of destruction determined based on the fixed interrelation between nitronite E-70 detonation characteristics – *a*, and the scheme of nitronite E-70 charges rational initiation for the simulated conditions – *b*

Разработана ресурсосберегающая методика определения параметров БВР на основе уточненных данных о прочностных свойствах пород и свойствах ЭВВ, применение которой позволяет наиболее рационально использовать энергию взрыва на разрушение горных пород. Перспектива развития методики заключается в сравнении детонационных характеристик ЭВВ различных составов на предмет выявления общих закономерностей и на их учет при определении параметров буровзрывных работ. Этот результат в будущем может быть получен путем накопления соответствующего объема экспериментальных и статистических данных.

Исследования выполнены в рамках государственного задания 007-00293-18-00, тема № 0405-2018-0001, проект № 18-5-5-10, а также тема 0405-2016-0001.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тогунов М. Б., Шитов Ю. А., Мелик-Гайказов Г. В., Фокин В. А., Свердловенко Н. А. Основные направления совершенствования техники и технологии буровзрывных работ // Горный журнал. 2007. № 9. С. 40–44.
2. Корнилков М. В. Разрушение горных пород взрывом: конспект лекций. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 202 с.
3. Корнилков М. В., Сеницын В. А., Шеменев В. Г., Маторин А. С., Меньшиков П. В. Методика определения плотности эмульсионных ВВ, сенсibilизированных химическим способом, в зависимости от глубины скважины // Известия вузов. Горный журнал. 2014. № 8. С. 78–83.
4. Михайлов Ю. М., Колганов Е. В., Соснин В. А. Безопасность аммиачной селитры и ее применение в промышленных взрывчатых веществах. Дзержинск: Кристалл, 2008. 304 с.
5. Физика взрыва. В 2 т. / под ред. Л. П. Орленко. Т. 1. М.: Физматлит, 2002. 832 с.
6. Сухов Р. И. Установление основных взаимосвязей энергоемкости процесса шарошечного бурения с прочностными параметрами разрушаемого массива // Горный журнал Казахстана. 2013. № 9. С. 8–11.

7. Сухов Р. И., Реготунов А. С. Вопросы энергоэффективной эксплуатации буровой техники для проходки взрывных скважин на карьерах // Горный журнал Казахстана. 2013. № 10. С. 10–13.
8. Тангаев И. А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
9. Шеменев В. Г., Силицын В. А., Меньшиков П. В. Методика экспериментального определения основных характеристик взрывчатых веществ // Горный журнал Казахстана. 2014. № 2. С. 44–46.
10. Силицын В. А., Меньшиков П. В., Кутуев В. А. Определение основных характеристик взрывчатых веществ и воздействия взрыва на окружающую среду на основе применения измерительного оборудования DATATRAPII // Устойчивое развитие горных территорий. 2018. Т. 10. № 3(37). С. 383–391. DOI: 10.21177/1998-4502-201810-3-383-391
11. Кутуев В. А. Изучение детонационных характеристик промышленного эмульсионного взрывчатого вещества порэмит-1А с использованием регистратора данных DATATRAPII // ГИАБ. 2016. № S21. С. 101–109.
12. Жариков С. Н., Меньшиков П. В., Силицын В. А. Определение взаимосвязи между плотностью, скоростью детонации и диаметром заряда на примере эмульсионного взрывчатого вещества «нитронит» // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 6. С. 35–39.
13. Жариков С. Н., Шеменев В. Г. О влиянии взрывных работ на устойчивость бортов карьеров // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 2. С. 80–83.
14. Тангаев И. А. Буриемость и взрываемость горных пород. М.: Недра, 1978. 184 с.
15. Тангаев И. А. Энергетика процессов и систем открытых горных работ и рудоподготовки: учеб.-метод. пособие. М., 2002. 52 с.
16. Кутузов Б. Н., Репин Н. Я. Перспективные направления развития взрывного дела на открытых горных работах // Горный журнал. 2009. № 11. С. 52–57.
17. Ржевский В. В., Новик Г. Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1984. 359 с.
18. Корнилов С. В., Стенин Ю. В., Стариков А. Д. Расчет параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьере: учебное пособие. Екатеринбург: УГГГА, 1997. 112 с.
19. Открытые горные работы: справочник / К. Н. Трубецкой [и др.]. М.: Горное бюро, 1994. 590 с.
20. Жариков С. Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2011. 139 с.
21. Щелканов В. А., Миронов П. С. Влияние массовых взрывов на устойчивость подземных выработок при комбинированной разработке железорудных месторождений // Труды ИГД МЧМ СССР. Вып. Буровзрывные работы на рудных карьерах. Свердловск, 1972. С. 91–97.

Поступила в редакцию 3 июля 2017 года

Сведения об авторах:

Жариков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН. E-mail: 333vista@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-1-21-32

Drilling and blasting resource-saving technology development

Sergei N. Zharikov¹

¹ Institute of Mining, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia.

Abstract

Introduction. Under rock destruction with a blast there are too many uncertainties which prevent from significantly increasing the effectiveness of drilling and blasting operations. Integrated study of the issue to solve the given problem is suggested.

Research aim. Solving the complex of tasks on the development of the resource-saving technology of rock massifs destruction with a drilling a blasting method with the use of locally produced emulsion explosives (EE) includes two main directions: quick information acquisition on the strength and processing properties of rocks by difficulty and energy intensity of production wells drilling; determination of EE explosibility and the possibility of their regulation depending on the diameter of wells and the density of explosives in the charge column.

Methodology. The article presents approaches to the experimental determination of the relationship between the density of explosives, the detonation velocity and charge diameter for emulsion explosives by the example of nitronite, as well as to the clarification of in situ rock strength characteristics by the measured characteristics of wells roller-bit drilling process.

Results. The structure of the task of rock massifs drilling and blasting destruction resource-saving technology development under the use of locally produced emulsion explosives (EE) provides for the integrated study of, on the one hand, local rock massif strength characteristics with the purpose of establishing rational destructive effect in the desired point and, on the other hand, the determination of detonation properties of EE with the purpose of specifying the possibility of creating the certain pressure during the explosion. At that, it is possible to reach significant reduction of physical resources expenditures

for drilling and blasting operations (DBO) and increase the quality of rock mass preparation for extraction. **Conclusions.** The resource-saving methodology of DBO parameters determination has been developed based on the specified data on rock strength and EE properties.

Key words: explosives; velocity of detonation; physical and mechanical properties of rocks; roller-bit drilling; rock destruction.

Acknowledgements: Research has been carried out under the government contract 007-00293-18-00, theme no. 0405-2018-0001, project no.18-5-5-10, and theme 0405-2016-0001.

REFERENCES

1. Togunov M. B., Shitov Iu. A., Melik-Gaikazov G. V., Fokin V. A., Sverdlenko N. A. Main directions in the development of equipment and technology of drilling and blasting operations. *Mining Journal*. 2007; 9: 40–44. (In Russ.)
2. Kornilkov M. V. *Rock breaking with a blast*. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 2008. (In Russ.)
3. Kornilkov M. V., Sinitsyn V. A., Shemenov V. G., Matorin A. S., Menshikov P. V. Methodology of chemically sensibilised emulsion explosives density determination depending on the depth of a well. *Mining Journal*. 2014; 8: 78–83. (In Russ.)
4. Mikhailov Iu. M., Kolganov E. V., Sosnin V. A. *Ammonium nitrate safety and its application in industrial explosives*. Dzerzhinsk: Kristall Publishing; 2008. (In Russ.)
5. Orlenko L. P. (ed.) *Physics of an explosion in 2 volumes*. Volume 1. Moscow: Fizmatlit Publishing; 2002. (In Russ.)
6. Sukhov R. I. Estimating basic relationship between the roller-bit drilling process energy intensity and strength parameters of the destructed massif. *Mining Journal of Kazakhstan*. 2013; 9: 8–11. (In Russ.)
7. Sukhov R. I., Regotunov A. S. Issues of energy-efficient use of drilling equipment to mine blast holes in open pits. *Mining Journal of Kazakhstan*. 2013; 10: 10–13. (In Russ.)
8. Tangaev I. A. *Energy content of production processes and processing of minerals*. Moscow: Nedra Publishing; 1986. (In Russ.)
9. Shemenov V. G., Sinitsyn V. A., Menshikov P. V. Principles of the main characteristics of explosives experimental determination. *Mining Journal of Kazakhstan*. 2014; 2: 44–46. (In Russ.)
10. Sinitsyn V. A., Menshikov P. V., Kutuev V. A. Determination of main characteristics of explosives and the impact of an explosion on the environment based on the use of DATATRAPII measuring equipment. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2018; 10; 3(37): 383–391. (In Russ.)
11. Kutuev V. A. Investigation into the emulsion explosive poremit-1A detonation characteristics with the use of DATATRAPII data recorder. *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016; S21: 101–109. (In Russ.)
12. Zharikov S. N., Menshikov P. V., Sinitsyn V. A. Interrelation determination between density and velocity of detonation and charge diameter by the example of emulsive explosive called “nitronite”. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2015; 6: 35–39. (In Russ.)
13. Zharikov S. N., Shemenov V. G. Regarding the influence of blasting operations on open pit walls stability. *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2013; 2: 80–83. (In Russ.)
14. Tangaev I. A. *Drillability and blastability of rock*. Moscow: Nedra Publishing; 1978. (In Russ.)
15. Tangaev I. A. *Energetics of processes and the systems of opencast mining and ore dressing: study guide*. Moscow; 2002. (In Russ.)
16. Kutuzov B. N., Repin N. Ia. Prospectives of blasting development in opencast mining. *Mining Journal*. 2009; 11: 52–57. (In Russ.)
17. Rzhetskii V. V., Novik G. Ia. *The fundamentals of rock physics*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)
18. Kornilkov S. V., Stenin Iu. V., Starikov A. D. The calculation of drilling and blasting parameters during blast-hole breaking in open pits: school book. Ekaterinburg: UrSMU Publishing; 1997. (In Russ.)
19. Trubetskoi K. N. et al. (eds.) *Opencast mining: reference book*. Moscow: Gornoe biuro Publishing; 1994. (In Russ.)
20. Zharikov S. N. *The interrelation between specific energy characteristics of the processes of roller-bit drilling and explosive destruction of rock mass*. [Dissertation]. Ekaterinburg; 2011. (In Russ.)
21. Shchelkanov V. A., Mironov P. S. The impact of bulk explosions on the stability of underground mine workings under iron-ore deposits combined surface and underground mining. *Proceedings of IM MFM USSR. Issue. Drilling and Blasting Operations in Ore Pits*. Sverdlovsk; 1972: 91–97. (In Russ.)

Received 3rd July 2017

Information about authors:

Sergei N. Zharikov – Candidate of Engineering Science, senior researcher of the Rock Destruction Laboratory, the Institute of Mining UB RAS. E-mail: 333vista@mail.ru

Для цитирования: Жариков С. Н. Разработка ресурсосберегающей технологии буровзрывных работ // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 1. С. 21–32.

For citation: Zharikov S. N. Drilling and blasting resource-saving technology development. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 1: 21–32.