

УДК 622.235

Жариков Сергей Николаевич

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075 г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: 333vista@mail.ru

Шеменёв Валерий Геннадьевич

кандидат технических наук,
заведующий лабораторией
разрушения горных пород,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: rgp@igduran.ru

Кутуев Вячеслав Александрович

младший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН;
e-mail: kutuev88@gmail.com

**ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОИЗВОДСТВА
БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В УСЛОВИЯХ
СЕВЕРА****Аннотация:*

В статье приведены особенности производства буровзрывных работ в условиях Севера. Показаны проблемы, с которыми сталкиваются специалисты при организации и обеспечении производства буровзрывных работ при низких температурах и на мерзлых грунтах. Приведены задачи, решаемые при организации буровых работ, а также направления повышения интенсификации процесса. Изложен подход к установлению удельного расхода ВВ на основании специального анализа расчётных величин, полученных по различным формулам, а также сравнительный анализ некоторых методик расчёта. Приведены основные факторы, влияющие на численное значение рассчитываемой величины. Показано, что предварительное определение удельного расхода ВВ следует проводить с учетом показателей: предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размера отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления. Уточнение следует проводить с учетом результатов опытного взрывания в процессе строительства карьера и особенностей разработки. Решение описанных в статье проблем производилось авторами статьи в рамках хозяйственных и госбюджетных НИР, а также при проведении предпроектных изысканий для разработки новых месторождений за период деятельности 2007 – 2016 гг.

Ключевые слова: буровзрывные работы, удельный расход взрывчатого вещества, мерзлые грунты

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.03.030

Zharikov Sergey N.

candidate of technical sciences,
senior researcher,
The Institute of Mining UB RAS,
620075 Yekaterinburg,
58 Mamin-Sibiryak st..
e-mail: 333vista@mail.ru

Shemenev Valery G.

candidate of technical sciences,
chief of rocks destruction laboratory,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: rgp@igduran.ru

Kutuev Vyacheslav A.

junior researcher,
The Institute of Mining UB RAS
e-mail: kutuev88@gmail.com

**ON THE PECULIARITIES OF PRODUCTION
DRILLING AND BLASTING OPERATIONS
IN THE NORTH***Abstract:*

The article describes features of production drilling and blasting operations in the North. The problems professionals are faced with in the organization and production provision of drilling and blasting operations at low temperatures and in frozen soils are shown. The tasks of drilling operations organization as well as ways of increasing the intensification of the process are cited. The approach to specific explosives consumption in terms of the calculated values special analysis obtained by different formulas, as well as by comparative analysis of some calculation methods is set forth. The main factors influencing the numerical value are adduced. It is shown that the specific consumption of explosives preliminary determination should be based on the main factors of the ultimate strength for uniaxial compression (castle rocks), size of individual array (fracture) and the necessary degree of crushing. Clarification should be conducted on the results of the test blasting in the process of construction and open pit development.

Key words: blasting and drilling operations, performance, specific consumption of explosives, frozen ground.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания 007-01398-17-00, а также при дополнительном привлечении хозяйственных средств и финансирования по конкурсному проекту № 15-11-57

Территория, на которой распространены многолетнемерзлые породы, носит название криолитозоны (греч. «криос» – холод, «литос» – камень, порода). Криолитозона состоит из мерзлых, морозных и охлажденных пород. Под мерзлыми понимают такие породы, которые содержат в своем составе лед и характеризуются отрицательными температурами. Морозные породы отличаются от мерзлых тем, что в них отсутствуют вода и лед. Такие породы чаще всего представлены их магматическими и метаморфическими разновидностями, а также сухими песками и галечниками. Охлажденные породы также имеют температуру ниже 0 °С и насыщены минерализованными солеными водами – криопэгами (греч. «криос» – холод, «пэги» – соленые воды). Мощность криолитозоны зависит от очень многих факторов: широты местности, ландшафта, рельефа, геологического строения, структуры и теплового потока.

Согласно [1], в мерзлом состоянии грунты представляют собой сложные четырехкомпонентные и четырехфазные образования. Основными компонентами являются минеральные и органоминеральные частицы, образующие скелет грунта; твердая фаза воды – лед; вода в жидкой фазе (незамерзшая и прочносвязанная) и газообразные включения (пары и газы). Количественное и качественное соотношение компонентов, их пространственное расположение, а также сила взаимодействия при различных отрицательных температурах определяют изменение свойств сезонно-мерзлых грунтов (СМГ) и вечномерзлых грунтов (ВМГ) в широких пределах.

В условиях спроса на минеральное сырье динамика развития открытых горных работ условно может быть разделена на два вида по сути и способам осуществления. Первый определенный вид развитие горных работ приобретает при разработке нового месторождения. При переменном спросе требуется горные работы развивать так, чтобы была возможность быстро нарастить объем выемки в конкретный период времени и повысить интенсивность горных работ.

Вторым выраженным видом динамики развития горных работ является организация переходных процессов. Возникновение соответствующей необходимости в изменении системы управления горными работами возникает на карьерах, которые разрабатываются более 20 лет. К этому сроку карьеры, как правило, имеют большую глубину, резерв по разноске бортов сокращается, экономически оправдывается более крутой угол постановки уступов в предельное положение, и появляются проблемы, связанные с поддержанием устойчивости бортов. В этих условиях развитие рабочей зоны происходит через переходные процессы, в рамках которых осуществляется изменение технологии горных работ для поддержания экономической целесообразности дальнейшей разработки месторождения.

В условиях Севера сразу или спустя некоторое время после начала разработки востребованы приемы интенсивного освоения недр. Связано это, главным образом, с тем, что в большинстве случаев лишь интенсификация горных работ делает разработку месторождения в сложных горно-геологических условиях оправданной. Особенностью таких месторождений являются мерзлые грунты, низкая температура, отсутствие развитой инфраструктуры и, соответственно, нехватка квалифицированного персонала для обслуживания и ремонта техники.

Сложность и недостаточная изученность процессов, происходящих в мерзлых грунтах, затрудняют прогнозирование состояния массива [1 – 5], что негативно отражается на планировании процесса обуривания выемочных блоков. Из-за рыхлого состояния грунтов стенки скважин могут разрушаться, буровая полость засыпаться и, соответственно, возникает значительное количество брака по бурению скважин. В этом случае требуются специальные мероприятия по поддержке пробуренных скважин в приемлемом состоянии до их заряжания. В указанных условиях производство буровых работ необходимо осуществлять таким образом, чтобы при маневрировании бурового станка не было наездов на края устьев скважин или на сами скважины. Габариты бурового

станка должны быть соизмеримы с расстояниями между скважинами, чтобы позволяли производить обычные маневры.

Повышение интенсивности буровых работ предполагает совершенствование мобильности буровых станков, в том числе автономных с дизельным приводом. Дизельные станки чрезвычайно мобильны, однако в отличие от электрических станков, как правило, не в состоянии работать при температуре ниже -30° из-за особенностей конструкции. Поэтому при интенсивной разработке месторождения наиболее целесообразно иметь разные станки – и дизельные, и электрические. Мобильность электрических станков в холодные периоды можно увеличить за счет применения при переездах специальных дизель-генераторов, установленных на самоходном шасси.

Смена установки бурового станка под высокими уступами должна исключать в случае обвала попадание камней кабину машиниста. Поэтому буровое оборудование для конкретных условий применения либо должно соответствовать требованиям безопасности технологической схемы, либо должно иметь дистанционное управление на безопасном расстоянии. Может быть применено также оборудование с нестандартным местом расположения кабины. В любом случае для принятия технологических решений в разные периоды разработки целесообразно иметь буровые станки с разными местами расположения кабины машиниста.

В северных районах, как правило, отсутствует развитая инфраструктура, поэтому определяющими критериями выбора бурового станка являются его надежность и возможность обеспечить стабильную работу (комплектующие, инструмент, сервисное обслуживание).

Особенность интенсивной разработки месторождения подразумевает соответствующую организацию буровых работ, нацеленную на снижение простоев оборудования до рационального минимума. В северных условиях к задачам организации процесса добавляются обеспечение работы в условиях выхода из строя части оборудования при низких температурах и обеспечение сохранности пробуренных скважин до их заряжения.

Следующим важным вопросом является определение параметров технологических взрывов. В настоящее время на карьерах, как правило, разработаны типовые проекты БВР, основанные на индивидуальных местных классификациях массивов по взрываемости. Классификации учитывают прочностные свойства массивов, свойства применяемых ВВ и технологические параметры взрывного разрушения горных пород. Эти классификации разделяют горные породы на легковзрываемые, трудновзрываемые и весьма трудновзрываемые. Сравнение одинаковых по взрываемости массивов на разных месторождениях показывает, что расчетный удельный расход ВВ в них может отличаться в два и более раз, поскольку нет единого подхода к определению взрываемости горных пород [6].

Определение удельного расхода ВВ при разрушении мерзлых грунтов имеет свои особенности. Ниже представлены расчетные формулы по определению удельного расхода ВВ в рамках соответствующих методик [7 – 11]. В некоторых методиках введено значение эталонного ($q_{\text{Э}}$) удельного расхода ВВ, поэтому во избежание путаницы между эталонным и полным значениями последнее называется проектным ($q_{\text{пр}}$) удельным расходом ВВ, то есть величиной, принятой в проекте БВР.

По методу В.В. Ржевского [7]:

$$q = \frac{6\sigma_p^2[(D/d)-1]}{E\eta Ql}. \quad (1)$$

По методу В.В. Ржевского [8]:

$$q_{\text{пр}} = q_{\text{Э}} K_{\text{ВВ}} K_{\text{ДР}} K_{\text{Т}} K_{\text{СЗ}} K_{\text{ОБ}} K_{\text{СП}}. \quad (2)$$

По методу В.Н. Мосинца [9]:

$$q = \frac{1800\sqrt{f} \left[1 + \left(\frac{0,16}{f} \right) \lg v_n \right] \sum_1^m \lg \frac{D}{d_{1\dots m}} + \frac{\rho \ln K_p}{2g} v_0^2}{Q_V^{1+\eta}}. \quad (3)$$

По методу Б.Н. Кутузова [10]:

$$q = 0,13\rho\sqrt[4]{f}(0,6 + 3,3d_0d_3) \left(\frac{0,5}{d_n} \right)^{2/5} \sqrt{0,25d_n / d_{cp}}. \quad (4)$$

По методу Союзвзрывпрома [11]:

$$q = 0,13\rho\sqrt[4]{f}(0,6 + 3,3d_0d_3) \left(\frac{0,5}{d_k} \right)^{2/5} K_{ВВ}. \quad (5)$$

По методу Гипроруды [11]:

$$q_{пр} = q_{Э} K_{ВВ} K_{ДС} K_{ДР} K_b. \quad (6)$$

Здесь D и d – средний диаметр, соответственно, структурных блоков массива и кусков, получаемых в результате взрыва, мм; η – КПД взрыва; Q – механический эквивалент теплоты, кг·см/Дж; l – удельная теплота взрыва, Дж/кг; f – коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова; v_n – скорость нагружения, км/с; ρ – плотность породы, т/м³; K_p – коэффициент разрыхления; $\sum_1^m \lg \frac{D}{d_{1\dots m}}$ – показатель степени дробления; v_0 – начальная скорость разлета кусков породы, м/с; Q_V – потенциальная энергия ВВ, Дж; $d_{к(н)}$ – необходимый кондиционный размер куска, м; d_3 – диаметр заряда, м; d_0 – средний диаметр отдельностей породы в массиве, м; d_{cp} – средний диаметр куска породы после взрыва, м; $q_{пр}$ – проектный удельный расход, г/м³; $q_{Э}$ – эталонный удельный расход, г/м³; σ_p – предел прочности образца горной породы на растяжение, Па; $K_{ВВ}$, $K_{ДС}$, $K_{ДР}$, K_b – коэффициенты, учитывающие, соответственно, тип ВВ, диаметр скважины, степень дробления и угол наклона скважины; K_T – коэффициент, учитывающий трещиноватость взрываемого массива; $K_{СЗ}$ – коэффициент, учитывающий фактическую форму и степень сосредоточения заряда по длине скважины; $K_{Об}$ – коэффициент, учитывающий объем взрываемой породы; $K_{СП}$ – коэффициент, учитывающий количество свободных поверхностей.

В табл. 1 приведены основные методики расчёта удельного расхода ВВ и отражен учет известных значений свойств пород, ВВ и технологических факторов в формулах. Единицей отмечено наличие в расчётной формуле значения свойства, нулем – отсутствие.

Согласно [6], по каждому фактору, влияющему на удельный расход ВВ, определена средняя доля учета в приведенных методиках. Вычисленная доля фактора нормирована по отношению к единице. Таким образом, определена относительная важность каждой учтенной переменной. Для этого сначала вычислена относительная распространенность d_i по соотношению

$$d_i = \frac{\sum_i^m n_i}{m}, \quad (7)$$

где $\sum n_i$ – количество методик, учитывающих рассмотренный фактор; m – общее количество оцененных методик – шесть.

Нормированная доля каждого фактора определена из соотношения:

$$d_{ni} = \frac{d_i}{\sum d_i}. \quad (8)$$

Величина d_{ni} указывает на степень важности каждого приведенного фактора.

В последнем столбце указаны результаты расчёта по приведенным методикам для кимберлитов средневзрывааемых горных пород. На них удельный расход граммонита 79/21 составляет 0,45 – 0,65 кг/м³.

При установлении к нормированной доле факторов степени важности 10-процентного барьера видно, что удельный расход ВВ в наибольшей степени зависит от предела прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размера отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимой степени дробления.

При установлении к нормированной доле факторов степени важности в размере 5 % видно, что при определении удельного расхода ВВ для конкретных условий более полно начинают учитываться свойства горных пород, свойства ВВ и технологические параметры. Таким образом, по мере отработки месторождения необходимо уточнять физико-механические свойства горных пород, уточнять и совершенствовать характеристики ВВ, анализировать условия взрывания и совершенствовать технологические параметры [6]. Фактическая величина удельного расхода ВВ определяется свойствами горных пород, свойствами ВВ и условиями разработки месторождения. Существующие методики расчёта удельного расхода ВВ основываются на зависимостях, полученных в некоторых заданных пределах. В табл. 1 показано, что в интервал удельного расхода граммонита 79/21 для кимберлитов (0,45 – 0,65 кг/м³) попадают результаты расчёта по методам Гипроруды [11] и В.В. Ржевского [8].

Анализ способов расчёта удельного расхода ВВ [12] показал, что для кимберлитов результаты, полученные по разным методикам, для штатного ВВ могут отличаться на величину 0,37 кг/м³, что охватывает примерно 3 – 4 категории взрываемости. Главными факторами, влияющими на удельный расход ВВ, по рассмотренным методикам являются предел прочности на одноосное сжатие (крепость пород), размер отдельности в массиве (категория трещиноватости) и необходимая степень дробления.

Подходы к определению предварительной величины удельного расхода ВВ для условий производства БВР на карьерах могут быть различными. В каждом конкретном случае выбор того или иного метода определяется в большей мере точностью информации о состоянии, структуре и прочности разрушаемого массива горных пород. Учитывая, что в условиях Севера разрушают мерзлые грунты, степень смерзания которых в каждом конкретном периоде различна, то методика определения удельного расхода ВВ должна быть максимально проста и универсальна. Поэтому рекомендуется выбирать ту методику, которая требует наименьшего количества исходных данных. При этом следует иметь в виду, что удельный расход ВВ при разрушении мерзлых грунтов может быть выше на 15 – 20 % [1] по сравнению с немерзлыми грунтами.

Выводы

Интенсивная разработка месторождения требует соответствующей организации буровых работ, нацеленной на снижение простоев оборудования до рационального минимума. В условиях Севера к задачам организации процесса добавляются новые, связанные с проблемами обеспечения работы в условиях выхода из строя части оборудования при низких температурах, а также сохранности пробуренных скважин до их заряжания.

Фактическая величина удельного расхода ВВ определяется свойствами горных пород, свойствами ВВ и условиями разработки месторождения. Существующие методики расчёта удельного расхода ВВ основываются на зависимостях, полученных в некоторых заданных пределах. Поэтому результаты расчёта по этим методикам для идентичных горных пород имеют значительный разброс.

При выборе методики расчёта удельного расхода ВВ необходимо учитывать степень подобия свойств объекта разработки свойствам объектов, которые учтены в эмпирических выражениях методик. При этом, если технологические параметры и свойства ВВ могут быть подобны на разных карьерах, то физико-механические свойства горных пород имеют исключительно индивидуальное распределение в пределах конкретной горной выработки. Этот факт не позволяет проектировать технологический взрыв в конкретных горных породах на основании результатов разработки другого месторождения. Поэтому проектирование взрывов в конкретных условиях каждого предприятия производится только после опытного взрывания. Учитывая, что в условиях Севера разрушают мерзлые грунты, степень смерзания которых в каждом конкретном периоде различна, то методики определения величины удельного расхода ВВ должны быть максимально просты и универсальны. Поэтому рекомендуется выбирать ту методику, которая требует наименьшего количества исходных данных.

Литература

1. Фраш Г.Б. Взрывные работы в сезонно-мерзлых грунтах: справочное пособие / Г.Б. Фраш . - М.: Недра, 1990.– 112 с.
2. Ведомственные строительные нормы. Нормы проектирования и производства буровзрывных работ при сооружении земляного полотна. ВСН 178 - 91. – М., 1991. – 93 с.
3. Шушерина Е.П. Микростроение мерзлых глинистых пород при их охлаждении от -5 до -50 / Е.П. Шушерина, М.И. Заболотская, В.В. Рогов // Вестник МГУ им. М.В. Ломоносова. Сер. 4. Геология. - 1975. - № 6. - С. 106 - 108.
4. Балбачан И.П. Взрывные работы в мерзлых грунтах (Обзор) / И.П. Балбачан. - М.: ЦНИЭИуголь, 1979. - 35 с.
5. Егупов А.А. Взрывные работы в условиях многолетней мерзлоты / А.А. Егупов. - М.: Недра, 1981. - 103 с.
6. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: дис. ... канд. техн. наук / С.Н. Жариков; ИГД УрО РАН. - Екатеринбург, 2011. – 139 с.
7. Справочник взрывника / Б.Н. Кутузов, В.М. Скоробогатов, И.Е. Ерофеев и др.; под общ. ред. Б.Н. Кутузова - М.: Недра, 1988. - 511 с.
8. Ржевский В.В. Физико-технические параметры горных пород / В.В. Ржевский. - М.: Наука, 1975. – 212 с.
9. Тарасенко В.П. Физико-технические основы расчета зарядов на карьерах: учебное пособие / В.П. Тарасенко. – М.: МГУ, 1985. – 84 с.
10. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: учебник для вузов / Б.Н. Кутузов. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГИ, 1992. – 516 с.
11. Корнилков С.В. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах: учебное пособие / С.В. Корнилков, Ю.В.Стенин, А.Д. Стариков. - Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. – 112 с.