

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА
ОСНОВЕ БУРИМОСТИ ПОРОД И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ЗАРЯДОВ**

Очилов Ш.А.

заведующий кафедрой «Горное дело и технологии»

Университета геологических наук, доктор технических наук, доцент

Abstract

В статье представлена методика разработки алгоритма оптимизации параметров буровзрывных работ (БВР) с учетом буримости горных пород и энергетических характеристик взрывчатых веществ (ВВ). Обоснована необходимость районирования карьера на природно-технологические зоны и привязки параметров БВР к физико-механическим свойствам массива. Основное внимание уделено расчету оптимального удельного расхода ВВ на основе энергетического подхода и стоимости применяемых компонентов заряда. Предложена структурная схема алгоритма, позволяющая адаптировать параметры БВР в зависимости от геологических условий и наличия ВВ на складе. Рассмотрены ограничения действующей методики, такие как субъективность районирования и использование ВВ промышленного производства в фиксированных объемах. Сделан вывод о высокой эффективности предложенного алгоритма для снижения негабарита, оптимизации энергетических затрат и повышения производительности горных работ.

Ключевые слова: буровзрывные работы, оптимизация, буримость пород, взрывчатые вещества, удельный расход ВВ, энергетические характеристики, природно-технологические зоны, дробление, карьер, горные породы.

Introduction

Оптимизация параметров БВР является важной задачей в горной промышленности, поскольку от правильного выбора условий и параметров взрывных работ напрямую зависит эффективность всех последующих этапов добычи и переработки полезных ископаемых. Одним из ключевых аспектов эффективного дробления горных пород является использование скважинных зарядов ВВ, которые обеспечивают необходимую степень дробления, способствуют снижению затрат на механическое дробление и повышают производительность горнотранспортного оборудования [1-5].

Однако для достижения наилучших результатов необходимо учитывать множество факторов, таких как физико-механические свойства пород, трещиноватость массива, параметры буровзрывных работ, а также тип и характеристики применяемых взрывчатых веществ. В условиях карьеров, где различные участки могут значительно отличаться по своим геологическим и технологическим признакам, эффективная оптимизация процессов дробления требует применения специализированных методов и алгоритмов, которые могут учитывать все эти переменные.

На данный момент в карьерах для участков с похожими характеристиками и одинаковой технологией горнотранспортных работ предложено формировать природно-технологические зоны, что является основой для структурирования технологических потоков. Процесс формирования таких зон включает в себя следующие этапы:

- 1) Разделение карьера на природно-технологические зоны, выделение характерных участков на основе анализа контролируемых параметров месторождения. Этот этап позволяет более эффективно планировать разработки, определять зоны с особыми требованиями и требования к качеству добычи.
- 2) Определение требований к параметрам различных процессов, которые обусловлены горно-геологическими характеристиками месторождения и условиями, предъявляемыми потребителями к минеральному сырью. Эти параметры могут также зависеть от интересов эффективного использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, что, в свою очередь, влияет на особенности формирования технологического потока в каждой природно-технологической зоне. Такой подход помогает избежать нерационального расходования ресурсов и способствует улучшению экологической ситуации в районе добычи.

Кроме того, в процессе выделения природно-технологических зон важно учитывать динамичность геологических условий и изменчивость свойств горных пород, что позволяет своевременно корректировать параметры горно-транспортных работ. Таким образом, создание таких зон способствует оптимизации всех технологических процессов в карьере, повышая их экономическую и экологическую эффективность.

В соответствии с этим рекомендуется оптимизировать параметры БВР, базирующаяся на принципе энергетической связи процесса разрушения пород с параметрами последующих технологических процессов (выемочно-погрузочные работы, транспортирование горной массы автосамосвалами, дробление горной массы на перегрузочных пунктах, транспортирование конвейерами, дробление и измельчение). Алгоритм расчета параметров БВР строится на основании районирования горных пород карьера по буримости. Этот показатель включает в себя скрытые механические характеристики пород, такие как упругие свойства, прочность, пластичность, а также технологические параметры, включая твердость, вязкость и абразивность. Дополнительно учитываются установленные корреляционные зависимости между буримостью и величиной удельного расхода ВВ. Главным управляемым параметром при оптимизации буровзрывных работ принят размер среднего куска разрыхленного горного массива. Результатом оптимизации стало определение удельных расходов ВВ для выделенных технологических зон в зависимости от физико-механических свойств слагающих пород и использование для взрывной отбойки комбинированных зарядов из высокобризантного ВВ в верхней части скважины и низкобризантного ВВ в нижней части.

Предложенная схема оптимизации БВР представлена на рис. 1 и ориентирована не только на удельный расход взрывчатых веществ, но и на энергетические характеристики и стоимость используемых ВВ, а также на рациональное размещение заряда в массиве [6-8].

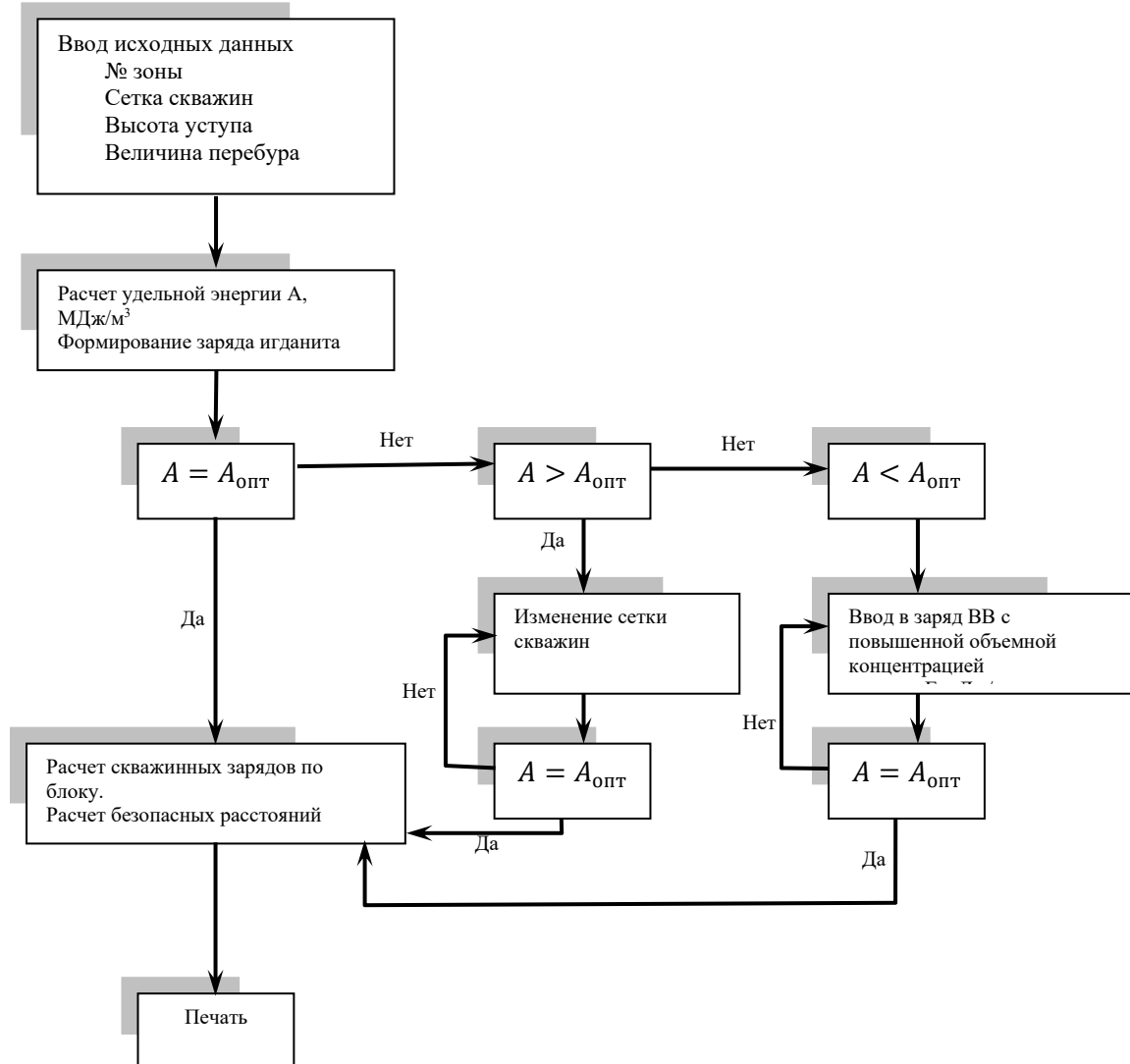


Рис. 1. Структурная схема алгоритма оптимизации буровзрывных работ

Эти параметры можно рассчитать при разных значениях сетки расположения скважин, длины заряда и забойки. Ключевым моментом является возможность корректировки этих параметров для улучшения процесса. Сетка расположения скважин определяется системой опробования, используемой на карьере, и зависит от ряда факторов, включая массу пробы и требуемую точность результатов.

Таким образом, в рудной и рудно-породной зоне данный параметр остается неизменным в процессе оптимизации буровзрывных работ. Однако в породной зоне возможны вариации сетки расположения скважин, которые зависят от энергетических характеристик использованных взрывчатых веществ. В этом случае должны быть выполнены следующие условия:

$$\begin{cases} \sum (C_{\text{бур}} + C_{\text{взр}}) \rightarrow \min \\ \sum_1^i (q_i E_i) \rightarrow A_{\text{опт}} \end{cases} \quad (1)$$

где $C_{\text{бур}}$, $C_{\text{взр}}$ – стоимость соответственно буровых и взрывных работ, сум/м³;

q_i – удельный расход i-го типа ВВ, кг/м³;

E_i – объемная концентрация энергии i-го типа ВВ, Дж/кг.

Для рудной и рудно-породной зон выражение (1) преобразуется в:

$$\begin{cases} \sum_1^i (q_i C_i) \rightarrow \min \\ \sum_1^i (q_i E_i) \rightarrow A_{\text{опт}} \end{cases} \quad (2)$$

где C_i – стоимость ВВ i -го типа, сум/кг.

Результат взрыва во многом зависит от соотношения между длиной заряда l_z в скважине и длиной самой скважины l_s . Порода, расположенная рядом со скважиной в зоне забойного материала, не испытывает прямого воздействия взрыва. Ее разрушение в основном происходит вследствие падения отбитых фрагментов горной массы. Наибольшее количество крупных кусков, как правило, образуется в верхней части уступа [9, 10].

Для сокращения зоны нерегулируемого дробления в верхней части уступа рекомендуется при всех типах пород карьера формировать заряды в скважинах с минимальным забоечным пространством. Для уступов высотой 10 метров это пространство должно составлять от 3,5 до 4,0 метров, а для уступов высотой 15 метров — от 4,5 до 5,0 метров. Таким образом, при одинаковом диаметре и сетке скважин в различных технологических зонах карьера удельный расход ВВ остаётся постоянным.

Оптимизация взрывной отбойки достигается путём регулирования удельной энергии заряда через комбинацию различных взрывчатых веществ с разными значениями объемной концентрации энергии. Алгоритм расчёта следующий (рис. 1). После ввода исходных данных о принадлежности взрываемого блока к определённой зоне (1-10), сетке скважин, диаметре заряда и высоте уступа, создаётся колонка заряда из наиболее дешёвого ВВ. Затем рассчитывается удельная энергия этого заряда, и её значение сравнивается с оптимальной удельной энергией для выбранной зоны. Если полученный результат удовлетворяет заданным условиям, он принимается для дальнейших расчётов. В противном случае, в зависимости от типа отклонений, программа либо корректирует сетку расположения скважин (по первому условию), либо выбирает ВВ с более высокой объемной концентрацией энергии.

На данном этапе также проводится оценка номенклатуры и количества ВВ на складе для выбора подходящего типа взрывчатых веществ промышленного производства. После расчета всех блоков, которые подлежат взрыву, программа отображает общий расход ВВ по типам и предоставляет рекомендации по пополнению запасов на складе.

Дальнейшее развитие приведенной методики возможно путем устранения следующего [11-14]:

1. Расчет параметров БВР на основе принадлежности блока к той или иной искусственно выделенной зоне, т.к. любое районирование базируется на субъективной оценке исследуемых показателей и ведет к неизбежному укрупнению диапазона их изменения с потерей гибкости системы оптимизации БВР.
2. Одним из недостатков алгоритма является особенность применения ВВ промышленного производства на горных предприятиях, заключающаяся в необходимости ввода в заряд ВВ в количестве, кратном весу единичной заводской упаковки. Из-за того, что вес мешка с ВВ может колебаться от 40 до 50 кг в зависимости от условий поставки конкретного типа взрывчатых веществ, точность расчёта

оптимальной удельной энергии заряда значительно уменьшается. На практике это ведет к увеличению доли некондиционных фракций горной массы или снижению общей экономической эффективности буровзрывных работ.

Исключение первого недостатка связано с необходимостью получения данных о физико-механических свойствах разрабатываемого массива в процессе бурения взрывных скважин.

Вывод

Разработанный алгоритм оптимизации параметров БВР при дроблении горных пород скважинными зарядами ВВ позволяет увеличить эффективность взрывной подготовки за счет регулирования удельной энергии заряда, рационального размещения ВВ в скважине и учета природно-технологических зон карьера. Включение в алгоритм энергетических характеристик ВВ, динамического регулирования состава заряда и корректировки сетки скважин обеспечивает минимизацию затрат на бурение и взрывные работы при улучшении гранулометрического состава взорванной горной массы. Внедрение данной методики позволяет повысить точность расчета параметров БВР, снизить выход негабарита и оптимизировать расход ВВ, что ведет к повышению производительности горнотранспортного оборудования и снижению себестоимости добычи полезного ископаемого.

Список использованной литературы

1. Бобров Е. А. Буровзрывные работы в горной промышленности. — М.: Недра, 2002.
2. Корнев В. В., Зуев Ю. Г. Теория и практика буровзрывных работ. — М.: Горная книга, 2011.
3. Петухов В. И. Энергетическая эффективность разрушения горных пород. — М.: Наука, 1998.
4. Кривенко Е. В., Орлов А. П. Моделирование и расчет параметров взрыва с учетом геомеханических характеристик массива // Горная промышленность. — 2018. — № 2. — С. 56–61.
5. Селезнёв В. С., Можаяев В. Н. Оптимизация параметров взрывных работ в условиях неоднородного массива // Горный журнал. — 2020. — № 4. — С. 42–47.
6. Ivanov A. N., Petrov S. V. Optimization of blasting parameters in open-pit mining based on rock properties // Journal of Mining Science. — 2021. — Vol. 57, No. 2. — P. 123–132.
7. Karpenko V. Y., Kuznetsov A. V. Rock fragmentation control in open-pit blasting // Mining Engineering. — 2017. — No. 10. — P. 44–51.
8. Троицкий С. И. Оценка буримости и её учет при проектировании БВР // Вестник горного института. — 2022. — Т. 251. — С. 88–95.
9. Гришин А. М. Технология и безопасность взрывных работ. — М.: Недра, 2014. — 464 с.
10. Чеченин Н. И., Лаптев Ю. В. Рациональное использование взрывчатых веществ. — СПб.: СПГИ, 2008. — 276 с.

-
11. Богомолов В. Н., Зверев Н. В. Современные технологии взрывных работ на карьерах. — Новосибирск: Наука, 2019. — 392 с.
 12. Писаренко Г. С., Яковлев В. Л. Физико-механические свойства горных пород. — М.: Машиностроение, 2005. — 312 с.
 13. Абрамов А. А. Дробление и измельчение полезных ископаемых. — М.: Горная книга, 2010. — 472 с.
 14. Зайцев Ю. Н. Комплексная механизация вскрышных и добычных работ в карьерах. — М.: Недра, 2003. — 318 с.