

6  
А-29

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР  
Институт физики и механики горных пород

---

Г.Н. СИРОТЮК

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДИЕНТА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВВ  
КАК ОСНОВНОГО РАСЧЕТНОГО КРИТЕРИЯ  
ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ

(в условиях горнодобывающих предприятий  
Кольского полуострова)

Специальность 311

Подземная разработка и эксплуатация  
угольных, рудных и нерудных месторождений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Апатиты - 1968

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР  
Институт физики и механики горных пород

---

Г.Н. СИРОТЮК

ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАДИЕНТА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВВ  
КАК ОСНОВНОГО РАСЧЕТНОГО КРИТЕРИЯ  
ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ

(в условиях горнодобывающих предприятий  
Кольского полуострова)

Специальность 311

Подземная разработка и эксплуатация  
угольных, рудных и нерудных месторождений

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Апатиты - 1968

Работа выполнена в Горнометаллургическом институте Ордена Ленина Кольского филиала им. С.М. Кирова АН СССР.

Научный руководитель: профессор, докт. техн. наук  
БАРОН Л.И.

Официальные оппоненты: докт. техн. наук  
МОСИНЕЦ В.Н.

Кандидат технических наук  
ТЕРМЕТЧИКОВ М.К.

Ведущее предприятие - комбинат "Печенганикель" (Главникель-кобальт, Министерства цветной металлургии).

Автореферат разослан "27" августа 1968 г.

Защита диссертации состоится "8" октября 1968 г. на заседании Объединенного Ученого Совета Отделения естественных и технических наук Академии Наук Киргизской ССР.

г. Фрунзе, ул. XXII партсъезда, 267, а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР.

Ученый секретарь Объединенного Ученого Совета,  
кандидат химических наук

АФАНАСЬЕВ В.А.

Кусковатость отбитой горной массы оказывает существенное, а нередко - решающее влияние на себестоимость добычи полезных ископаемых открытым и подземным способами. Это обусловлено весьма тесной зависимостью технико-экономической эффективности всех горнотехнологических процессов, связанных с переработкой отбитой горной массы, в том числе и буровзрывных работ, от крупности и равномерности дробления отбитой горной породы, то есть ее кусковатости. Достаточно сказать, что снижение выхода негабарита с 8 до 4% приводит к уменьшению продолжительности цикла экскаватора на 15%, увеличению заполнения ковша на 7%, вследствие чего производительность экскаватора возрастает на 23-25%. При увеличении выхода негабарита с 5 до 10% относительная производительность скреперной установки снижается на 54%; производительность труда на горизонте выпуска при увеличении выхода негабарита с 15 до 35% соответственно снижается на 47%.

Вместе с тем улучшение качества дробления требует значительного увеличения объема бурения и затрат энергии взрыва, что в конечном итоге приводит к снижению эффективности буровзрывного комплекса работ в целом. Поэтому при проектировании основных горнотехнологических процессов добычи полезного ископаемого, и прежде всего при установлении оптимальных параметров буровзрывных работ, необходимо учитывать кусковатость отбитой горной массы.

Диссертация посвящена вопросам совершенствования расчетных методов на основе использования нового критерия эффективности взрывной отбойки - градиента удельного расхода ВВ.

В настоящее время не имеется практически приемлемого

322449

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР

метода расчета, позволяющего по заданной крупности определять соответствующие параметры взрывной отбойки (глава I). Наиболее широко используемые методы, как правило, основаны на общеизвестной формуле, где варываемость горных пород и эффективность отбойки оцениваются с помощью удельного расхода ВВ, в сущности своей не учитывающего крупности дробленого материала и не отражающего энергозатрат на дробление. Анализ результатов исследований Н.В.Мельникова, Л.И.Барона, Г.П.Демидюка, Г.И.Покровского, А.Е.Азарковича и ряда других авторов показал, что удельный расход ВВ, как расчетный критерий, не является характеристической константой или сколько-нибудь надежным показателем эффективности взрывной отбойки, поскольку он подвержен существенному влиянию факторов, не связанных с горнотехнологическими свойствами пород, и, как показал анализ, не может однозначно характеризовать эффект разрушения.

Общепринятые условия оптимальности последнего по наименьшему значению удельного расхода ВВ и наибольшему КПД варыва в действительности не могут считаться оптимальными потому, что, как показали результаты исследований А.Ф.Суханова, В.А.Коваженкова, В.И.Терентьева и других авторов, соответствуют наименьшей степени дробления. Кроме того, столь жесткие условия оптимальности исключают всякую возможность регулирования кусковатости в пределах практически целесообразной степени полезного использования энергии взрыва, так как самое незначительное отклонение от экстремума сопровождается интенсивным возрастанием потерь энергии на разброс.

В итоге обзора литературных источников по данному вопросу сделан вывод о несовершенстве и ограниченных возможностях использования показателя удельного расхода ВВ, широко применяемого в качестве главного расчетного критерия взрывной отбойки.

С учетом анализа имеющихся далеко неполных данных о взаимосвязи между крупностью дробления и объемом выброса с точки зрения перераспределения баланса полезно используемой энергии взрыва автором совместно с профессором, доктором техн. наук Л.И.Бароном в 1961 г. был предложен новый критерий, названный градиентом удельного расхода ВВ, суммарно

учитывающий затраты энергии на выброс и дробление. Однако, данных, необходимых для обоснованного применения этого показателя в качестве расчетного критерия взрывной отбойки, в тот период еще не имелось, поскольку соответствующих исследований не было проведено. Оставались также практически совершенно неизученными вопросы о влиянии показателя выброса на дробление скальных пород и характер перераспределения полезно используемой части энергии взрыва.

В связи с тем, что в качестве заключительного этапа намеченной работы было предусмотрено создание практической методики расчета, на основе нового показателя, параметров взрывной отбойки с учетом заданной крупности дробления, потребовалось прежде решить вопрос о методе лабораторной оценки сопротивляемости горных пород разрушению. Решение этого вопроса важно было потому, что общепринятый коэффициент крепости проф. М.М.Протодияконова, основанный на временном сопротивлении раздавливанию, пригоден, как показали исследования, лишь для приближенной оценки. Предложенный же способ уточненной оценки с помощью показателя дробимости применительно к породам Кольского полуострова был еще мало изучен.

Все это послужило основанием для постановки темы настоящей диссертации и определило направление и следующие основные задачи исследований.

1. Исследование влияния показателя выброса на дробление скальных пород взрывом и выяснение характера перераспределения полезно используемой энергии взрыва.

2. Исследование принципиальной возможности и практической целесообразности использования градиента удельного расхода ВВ в качестве расчетного критерия взрывной отбойки.

3. Производственная проверка применимости градиента удельного расхода ВВ.

4. Исследование лабораторных методов оценки дробимости горных пород и влияния ее на крупность дробления и величину градиента удельного расхода ВВ.

5. Разработка методики приближенного расчета параметров взрывной отбойки на основе градиента удельного расхода ВВ, включившая:

а) проверку применимости уравнения Розина-Рамлера для характеристики granulометрического состава отбитой горной массы;

б) разработку способа задания крупности дробленой породы и методики расчета ожидаемого гранулометрического состава;

в) разработку основных методических положений и расчетных формул;

г) промышленную проверку новой методики расчета параметров взрывной отбойки.

Решение поставленных задач осуществлялось методом установления соответствующих корреляционных связей по результатам лабораторных испытаний, натурных наблюдений и экспериментальных взрывов промышленного масштаба и в условиях производственных полигонов.

Гранулометрический состав дробленой породы при опытах в условиях производственных полигонов устанавливался путем непосредственного сита на ситах с последующим взвешиванием каждой выделенной фракции, и во всех случаях промышленных взрывов - с помощью фотопланиметрического метода с точным подсчетом.

Исследования выполнены на примере горных пород, слагающих месторождения апатита, никеля, слюды, редкоземельных элементов, разрабатываемых горнодобывающими предприятиями Кольского полуострова (комбинаты "Апатит", "Печенганикель", "Североникель", "Ловозерский", "Ждановский" и Ёнское рудоуправление).

В общей сложности на дробимость и раздавливание было подвергнуто более 270 образцов по 15 разновидностям горных пород; произведено более 140 опытных взрывов в полигонных и производственных условиях; около 500 наблюдений по установлению скорости бурения шпуров общей протяженностью более 1200 пог.м; произведены натурные измерения элементов пространственной ориентировки 1120 трещин; обработано более 950 фотопланграмм.

Работа выполнена в Горнометаллургическом институте Кольского филиала АН СССР и состоит из введения и шести глав, изложенных на 178 стр. машинописного текста, содержит 78 рисунков и 19 таблиц.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ВЫБРОСА НА ДРОБЛЕНИЕ СКАЛЬНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ

Исследования выполнены по результатам экспериментальных взрывов сосредоточенных зарядов ВВ в условиях производственных полигонов. Изменение эффекта разрушения (качества дробления и показателя выброса) осуществлялось путем варьирования веса заряда в пределах от 1.05 до 3.65 кг, взорванных на глубине 1 м в уртите рудника Юкспор комбината "Апатит". В результате проведенных 13 опытных взрывов было достигнуто изменение удельного расхода ВВ в пределах от 2.6 до 22.9 кг/м<sup>3</sup> и показателя выброса от 0.95 до 2.18.

Сопоставления этих данных с соответствующими значениями средне взвешенного диаметра куски показали наличие непропорциональной взаимосвязи между объемом выброса и крупностью дробления.

Экстремальный характер зависимости выхода мелочи, крупностью минус 25 мм и условного негабарита размером более 200 мм от показателя выброса ( $n$ ), а также четко выраженная тенденция к полному выхолаживанию кривых в области усиленных выбросов (при  $n > 2$ ) свидетельствуют, во-первых, о том, что объем зоны бризантного действия непропорционален весу заряда ВВ и, во-вторых, о наличии некоторого предельного значения показателя выброса, выше которого прирост дробящего эффекта резко снижается при интенсивно возрастающих потерях энергии взрыва. Это значение показателя выброса существенно превосходит его величину, соответствующую минимальному удельному расходу ВВ, и является наиболее выгодным по степени полезного использования энергии взрыва, при котором обеспечивается довольно мелкое дробление и наибольший объем выброса в пределах практически допустимых потерь энергии на разброс. Удельный расход ВВ, не учитывающий качества дробления, не позволяет устанавливать это граничное значение показателя выброса и соответствующие ему параметры взрывной отбойки.

Взаимосвязанное изменение эффекта разрушения (объема выброса и крупности дробления) в рассматриваемых опытах, как показал анализ экспериментальных данных, обусловлено перераспределением полезно используемой энергии взрыва, проис-

ходящим в результате изменения горнотехнологических свойств пород и параметров взрывной отбойки (веса заряда ВВ).

Предложенный новый критерий взрывной отбойки - градиент удельного расхода ВВ - довольно хорошо отражает эту взаимосвязь между крупностью дробления, объемом выброса и энергией взрыва. По своей сущности он представляет затраты удельной энергии на единицу вновь образованной поверхности и в общем случае выражается формулой

$$\Delta = \frac{Q}{V \cdot S_n} = \frac{q}{S_n} = \frac{q}{V S_{уд}}, \quad (1)$$

где  $Q$  - вес заряда, кг;  
 $V$  - объем выброса, м<sup>3</sup>;  
 $S_n$  - полная вновь образованная поверхность кусков, м<sup>2</sup>;  
 $q$  - удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  
 $S_{уд}$  - удельная вновь образованная поверхность, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

Отсюда вытекает размерность нового показателя, кг/м<sup>5</sup>.

После подстановки известного в обогащении выражения удельной поверхности

$$S_{уд} = \frac{6}{d_{cp}},$$

где  $d_{cp}$  - средний диаметр куска, определяемый из условия сохранения удельной вновь образованной поверхности и энергии разрушения при усреднении, м,

формула (1) принимает вид:

$$\Delta = \frac{q \cdot d_{cp}}{6V}. \quad (2)$$

Применительно к массовой отбойке скважинными и шпуровыми зарядами при разработке месторождений открытым и подземным способами расчетная формула для градиента удельного расхода ВВ записывается:

$$\Delta = \frac{q^2 d_{cp}}{6\gamma}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  - средний вес заряда ВВ, приходящийся на единицу длины шпура (скважины), кг/м.

График зависимости градиента удельного расхода ВВ от показателя выброса характеризуется четко выраженным переломом, в данном случае соответствующим  $n = 1.7$ .

Последнее значение является критическим - оно ограничивает область возможного регулирования крупности в пределах эффективного использования энергии взрыва. Закритическая область характеризуется появлением и интенсивным возрастанием потерь энергии на разброс, о чем свидетельствуют высокие значения градиента  $\Delta$ .

Аналогичный характер зависимости наблюдается и при сопоставлении градиента  $\Delta$  с соответствующими значениями показателя удельного расхода ВВ. При указанных выше условиях ведения взрывных работ область эффективного дробления в наших опытах ограничивалась значениями  $q = 2.6 + 6$  кг/м<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение удельного расхода ВВ оказалось нецелесообразным, поскольку прирост дробящего эффекта взрыва был уже незначительным и не оправдывал непомерно больших затрат энергии.

Стабильность значений градиента при изменении параметров взрывания в области эффективного дробления является важным преимуществом данного показателя в случае использования его в качестве критерия взрываемости (поскольку не потребуется строго соблюдать постоянство условия  $n = 1$ , довольно трудно осуществимое при опытах). Критическое значение градиента удельного расхода ВВ важно для практики, поскольку позволяет избежать ненужных порерасходов взрывчатых веществ.

#### ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАДИЕНТА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ВВ

Третья из поставленных выше задач - проверка применимости градиента удельного расхода ВВ решалась по результатам промышленных взрывов скважинных и шпуровых зарядов ВВ в условиях проходки траншеи на Ждановском медно-никелевом карьере и при проходке горноподготовительных выработок в различных горных породах месторождений Кольского полуострова. Этим исследованиям посвящена III глава диссертации.

В проходческом забое разрезной траншеи взрывали скважины диаметром 300 мм, пробуренные в уступе высотой 18-20 м. Горная порода была представлена серпентинизированным перидотитом с коэффициентом крепости I4-I6 по М.М.Протоdjаконову. Расстояние между скважинами при однорядном их расположении

от опыта к опыту увеличивалось от 4.2 до 7.2 м с интервалом 1.1 - 1.3 м.

Таким путем достигалось изменение удельного расхода ВВ в интервале от 0.55 до 0.92 кг/м<sup>3</sup>. Коэффициент сближения изменялся от 0.22 до 0.42.

Производственные эксперименты по взрыванию шпуровых зарядов ВВ проводили в проходческом забое откаточного штрека по филлиту на руднике Каула комбината "Печенганикель". Площадь поперечного сечения штрека составляла в среднем 8.5 м<sup>2</sup>. В ходе экспериментов число шпуров на забой изменяли от 22 до 66, что обеспечило изменение удельного расхода ВВ от 3.12 до 7.58 кг/м<sup>3</sup>. Всего было произведено 16 опытных взрывов.

Сопоставления значений градиента удельного расхода ВВ с параметрами взрывной отбойки в первом случае - относительно расстоянием между скважинами - и во втором - количеством шпуров на 1 м<sup>2</sup> площади забоя - показали, что характер зависимостей совершенно идентичен полученному для условий одиночного взрывания сосредоточенных зарядов. То же наблюдается при сопоставлениях с показателем удельного расхода ВВ. Это обстоятельство позволило сделать вывод о том, что наличие критической точки типично не только для одиночных сосредоточенных зарядов, но и в любом случае группового взрывания скважинных или шпуровых зарядов при отбойке в производственных условиях, когда объем выброса определяется в основном параметрами подготовленного блока. Как и ранее протяженность начального участка рассматриваемых зависимостей, характеризующегося сравнительно низкими значениями градиента  $\Delta$ , определяет собой тот диапазон возможного регулирования крупности дробления за счет изменения удельного расхода ВВ, в котором степень полевого использования энергии взрыва остается достаточно высокой.

Другие сопоставления показали наличие тесной взаимосвязи градиента удельного расхода ВВ с выходом негабарита и технико-экономическими показателями, в частности, с удельной трудоемкостью погрузки, выраженной числом человеко-смен на 1000 м<sup>3</sup> отбитой горной массы. В последнем случае зависимость характеризовалась наличием минимума трудовых затрат,

позволяющего устанавливать экономически целесообразные параметры размещения скважинных зарядов ВВ на уступе. В итоге анализа результатов экспериментальных взрывов, проведенного с использованием градиента удельного расхода ВВ, Ждановскому комбинату было рекомендовано оптимальное расстояние между скважинами 6 м вместо принятых ранее 4.5 м.

С целью выявления возможности использования градиента  $\Delta$  в качестве характеристики взрываемости горных пород были проведены экспериментальные взрывы при проходке горизонтальных выработок по 13 разновидностям исследуемых горных пород.

Для получения устойчивых усредненных показателей число опытов при идентичных условиях взрывания по каждой из разновидностей колебалось от 3 до 6.

Сопоставления градиента  $\Delta$  с удельным расходом ВВ показали тенденцию к прямо пропорциональной зависимости между этими величинами. Однако данные для наиболее трудновариваемого габбро-диабазы рудника Каула и легкодробимого апатита бедной и богатой зон рудника им.С.М.Кирова существенно отклонились от общей закономерности. Если для габбро-диабазы численное значение  $\Delta$  составило 0.219 кг/м<sup>5</sup>, что в 3.4 - 4.7 раза выше чем для апатита, то значения показателя удельного расхода ВВ различаются всего лишь в 1.03-1.04. Между тем эти породы резко различаются по своим горнотехнологическим свойствам, и результаты взрывания их были существенно разными. Градиент удельного расхода ВВ оказался таким образом более представительной характеристикой взрываемости, правильно отражающей поведение пород при взрывной отбойке.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ МЕТОДОВ УТОЧНЕННОЙ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Из существующих лабораторных методов оценки сопротивляемости пород при добывании представилось целесообразным исследовать лишь те, которые по характеру и скорости приложения разрушающих условий наиболее соответствуют основным технологическим процессам разработки руд - бурению и взрыванию, и отличаются простотой техники выполнения. Таковыми

можно считать испытания на дробимость по методу ИГД им.А.А.Скочинского, выполняемые на образцах неправильной формы с использованием ударного копра, наружного (вариант, предложенный канд.техн.наук Е.П.Максимовой) или внутреннего заряда (вариант, предложенный автором). Результаты этих испытаний были сопоставлены с данными испытаний образцов на одноосное сжатие, со средней скоростью бурения и показателями взрывной отбойки.

Испытания на дробимость производились на образцах неправильной формы весом 90-100 г при дроблении на ударном копре и объемом 460-500 см<sup>3</sup> при взрывании наружным и внутренним зарядами. Раздавливанию подвергались образцы кубической формы с длиной стороны 50 мм. Все испытания проводились параллельно по 13 разновидностям горных пород Кольского полуострова, охватывавшим широкий диапазон изменения горнотехнологических свойств от легкодробимого апатита богатой зоны до высшей степени трудноразрушаемого габбро-диабазы рудника Каула комбината "Печенганикель". Число испытаний по каждой разновидности колебалось от 4 до 9, составляя в среднем 5 опытов (только в трех случаях пробы были представлены тремя образцами). Определялись: показатель дробимости  $U_{max}$ , см<sup>3</sup>; суммарный объемный выход мелких классов крупностью минус 7 мм; удельная поверхностная энергоёмкость разрушения  $E_{уд.}$ , кг · см/дм<sup>2</sup>, предел прочности на раздавливание  $\sigma_{сж}$ , кг/см<sup>2</sup>.

Наряду с этим были проведены производственные наблюдения за скоростью бурения при проходке горных выработок в исследуемых разностях пород. Измерялось среднее время бурения 1 пог.м шпура с последующим приведением результатов наблюдений к стандартным условиям.

Результаты лабораторных испытаний и сопоставлений их с данными производственных наблюдений подробно изложены в IУ главе диссертации.

Исследованиями установлено, что показатель дробимости  $U_{max}$ , определяемый по методу ИГД им.А.А.Скочинского, наиболее правильно отражает сопротивляемость горных пород при бурении и взрывании. Коэффициент вариации, характеризующий

устойчивость корреляционной связи его с производственными данными о буримости, составил всего лишь 11.4%. При сопоставлении с выходом мелких фракций коэффициент вариации был равен 12.6%.

Аналогичные сопоставления суммарного выхода мелких классов крупностью минус 7 мм при взрывании образцов внутренним зарядом ВВ показали несколько больший разброс опытных данных, но в пределах допустимых значений коэффициента вариации, соответственно равных 16.2 и 20.6%. Это обстоятельство позволило считать примененный автором метод испытаний приемлемым для лабораторной оценки сопротивляемости горных пород разрушению динамическими (урадными) нагрузками при добычании. Однако, ввиду относительной сложности испытаний, по сравнению с обычным методом определения дробимости на ударном копре нет оснований рекомендовать данный способ испытаний для широкого производственного применения.

При испытаниях методом взрывания наружного заряда ВВ оценку дробимости следует производить с помощью показателя удельной поверхностной энергоёмкости, учитывающей расход энергии на образование мелочи, с которой связана основная часть всей вновь образованной поверхности.

Корреляционные связи между временным сопротивлением одноосному сжатию и средней скоростью бурения, а также с показателем дробимости  $U_{max}$  оказались относительно слабо выраженными: коэффициенты вариации соответственно составили 20 и 32%.

На основании совокупности выполненных исследований в качестве характеристики горнотехнологических свойств пород при дальнейших исследованиях был принят рекомендованный ИГД им.А.А.Скочинского показатель дробимости  $U_{max}$ , устанавливаемый путем испытаний на ударном копре.

В результате сопоставлений градиента удельного расхода ВВ (при проходке горных выработок) с соответствующей крупностью и показателями дробимости исследуемых пород установили наличие тесной корреляционной зависимости между ними, весьма благоприятной для разработки основных методических положений решения рассматриваемых нами инженерных задач.



МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНОЙ  
ОТБОЙКИ С УЧЕТОМ ЗАДАННОЙ КРУПНОСТИ  
ДРОБЛЕНИЯ

В качестве примера практического использования нового критерия взрывной отбойки автором была разработана методика расчета величины удельного расхода ВВ для обеспечения заданной крупности породы с показателем дробимости  $V_{max}$  в условиях проходки подземных горных выработок. Такой путь решения был принят потому, что удельный расход ВВ является исходной и обычно трудно определяемой величиной в подавляющем большинстве применяемых на практике расчетных методов, в связи с чем выражение  $Q = f(\Delta, d_{cp})$  может быть использовано для введения градиента удельного расхода ВВ в существующие расчетные формулы путем простой подстановки, без изменения конструктивного построения формул.

При разработке методических положений (глава V) предварительно были выполнены исследования по выявлению характера влияния площади поперечного сечения выработки на крупность дробления и величину градиента удельного расхода ВВ. В результате этих исследований установлены необходимые соотношения.

Предложены следующие расчетные формулы:  
для определения удельного расхода ВВ

$$Q = 2,6 \left( \frac{\Delta \gamma}{d_{cp}} \right)^{0,534}, \quad (4)$$

для числа шпуров на 1 м<sup>2</sup> площади забоя

$$n_{ш} = 1,98 \gamma^{-0,534} \left( \frac{\Delta}{d_{cp}} \right)^{0,466}. \quad (5)$$

Величину, входящего в эти формулы градиента удельного расхода ВВ  $\Delta$  устанавливают, исходя из заданных значений: показателя дробимости горной породы, диаметра среднего куска и поперечных размеров выработки по следующей формуле:

$$\Delta = \left\{ \frac{a}{V_{max}} - \beta d_i + \alpha \exp \left[ \beta \left( d_i - \frac{m}{V_{max}} - k \right)^c \right] + \rho \right\} \frac{e_a}{e_x}, \quad (6)$$

где  $e_a$  и  $e_x$  — работоспособности соответственно аммонита № 6 и применяемого ВВ, выраженные в тепловых единицах, ккал/кг;

$d_i$  — заданный диаметр среднего куска, м;  
 $d_{кр}$  — критический средний диаметр для данных условий проходки, м;

$\alpha, \beta, c, \alpha, \beta$  — постоянные коэффициенты.

Величина  $Z = \alpha \exp \left[ \beta \left( d_i - \frac{m}{V_{max}} - k \right)^c \right]$  в формуле (6) представляет собой потери энергии в закритической области, т.е. за пределами области возможного регулирования крупности при допустимых значениях коэффициента полезного действия взрыва. В критической точке эта величина приближается к нулю.

Критический диаметр определяется в зависимости от показателя дробимости по формуле:

$$d_{кр} = \frac{0,098}{V_{max}} + 0,022. \quad (7)$$

Выражение (6) в логарифмической форме имеет довольно простой вид и не представляет больших затруднений для использования в практике.

Значения эмпирических коэффициентов и порядок расчета по предлагаемой методике в форме примеров приведены в главе VI диссертации.

Методика позволяет устанавливать параметры, соответствующие пределам целесообразного регулирования крупности дробления с точки зрения полезного использования энергии взрыва. Параметры, при которых достигается критический удельный расход и соответствующая ему крупность, являются рациональными, обеспечивающими наиболее мелкое дробление без излишних потерь энергии на разброс кусков при сравнительно высоком выходе отбитой горной массы с 1 пог.м шпура.

Для производственной проверки данной методики были выбраны выработки, проводимые в существенно различных по дробимости горных породах и имеющие различное поперечное сечение. Отбойка осуществлялась по параметрам, соответствовавшим паспорту, после чего были взяты наблюдения для определения результирующих показателей.

В табл. I приведены фактические данные (в числителе табличных строк) в сопоставлении с расчетными (знаменатель), из чего видно, что сходимость результатов вполне удовлетворительная.

С целью облегчения расчетов разработаны и рекомендованы в практическому применению номограммы для определения критического удельного расхода ВВ и градиента  $\Delta$  в соответствии с формулами (4) и (6). Номограммы с указанием схемы пользования приведены в главе VI диссертации.

Таблица I

Результаты промышленной проверки методики расчета параметров буровзрывных работ

| $U_{max}$ ,<br>см <sup>3</sup> | S,<br>м <sup>2</sup> | q,<br>кг/м <sup>3</sup> | $d_{cp}$ ,<br>мм | Выход классов (%) крупностью, м |          |         |         |       |
|--------------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|---------------------------------|----------|---------|---------|-------|
|                                |                      |                         |                  | 0-0.05                          | 0.05-0.1 | 0.1-0.2 | 0.2-0.3 | +0.3  |
| 1.47                           | 8.43                 | 3.47                    | 93               | 15.42                           | 10.50    | 29.60   | 13.62   | 30.87 |
|                                |                      | 3.46                    | 92               | 12.35                           | 13.65    | 23.85   | 17.75   | 32.40 |
| 7.94                           | 4.35                 | 4.51                    | 34               | 65.10                           | 14.59    | 16.01   | 3.49    | 0.81  |
|                                |                      | 4.47                    | 30               | 63.10                           | 15.20    | 18.66   | 2.09    | 0.96  |
| 17.15                          | 4.13                 | 4.74                    | 28               | 86.04                           | 4.93     | 7.69    | 1.34    | 0.0   |
|                                |                      | 4.56                    | 23               | 85.95                           | 5.76     | 7.06    | 0.73    | 0.51  |

СПОСОБ ЗАДАНИЯ КРУПНОСТИ И МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОЖИДАЕМОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТБИТОЙ ГОРНОЙ МАССЫ

В расчетных формулах рекомендуемой методики крупность дробления характеризуется диаметром среднего куска, определяемым из условия сохранения удельной вновь образованной поверхности и в сущности связанным с энергией разрушения, что не свойственно другим показателям кусковатости, в частности широко используемому в горной практике размеру негабарита. Однако для определения среднего диаметра по существующим формулам необходимо располагать данными о гранулометрическом составе отбитой горной массы, что не всегда возможно и особенно при проектировании взрывных работ.

На основе использования известного в обогащении и углеприготовлении уравнения Розина-Раммлера, довольно точно описывающего любой гранулометрический состав тонкоизмельченного материала, автором была получена и предложена для приме-

нения следующая расчетная формула:

$$d_{cp} = 1 / \frac{n}{x_e^n} \int_{x_{min}}^{x_{max}} x^{n-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{x_e}\right)^n\right] dx, \quad (8)$$

где  $n$  - показатель распределения кусков по крупности;  
 $x_e$  - размер куска, крупнее которого содержится 36.8% всего дробленого материала, м;  
 $x$  - произвольно задаваемый размер куска в интервале его изменения от  $x_{min}$  до  $x_{max}$ , м.

Вывод данной формулы и примерные расчеты по ней приведены в главе V диссертации. По результатам экспериментальных взрывов в проходческих забоях горноподготовительных выработок была произведена путем сопоставления расчетных и фактических данных проверка применимости уравнения Розина-Раммлера и формулы (8).

Расхождения сопоставляемых величин составляли от 4.8 до 25%, что обусловлено широким интервалом выделенных классов. Поскольку знаменатель формулы (8) представлен интегральной суммой выхода множества фракций с бесконечно малым интервалом крупности, то результаты вычислений по ней более точны, чем получаемые по формуле статистического среднего.

Экспериментальная проверка на примерах производственных взрывов показала реальную возможность применения уравнения Розина-Раммлера для расчетов гранулометрического состава отбитой горной массы с широким диапазоном изменения крупности и вычисления соответствующих усредненных показателей при известных значениях параметров  $x_e$  и  $n$ .

В связи с тем, что расчеты по формуле (8) представляют некоторую сложность при использовании в производственных условиях, автором разработаны более простые эмпирические соотношения, позволяющие определять средний диаметр куска и параметрические характеристики  $x_e$  и  $n$ , необходимые для расчета гранулометрического состава по уравнению Розина-Раммлера.

В результате анализа экспериментальных данных о гранулометрическом составе отбитой горной массы при различных способах отбойки и разных условиях ведения взрывных работ установлено довольно простое соотношение.

$$d_{cp} = 0,03 + 0,09 x_{max} \quad \text{или} \quad d_{cp} \approx 0,1 x_{max}, \quad (9)$$

322449

Центральная научная библиотека Академии наук Киргизской ССР

где  $X_{max}$  - размер негабаритного куска, задаваемый по размеру погрузочно-транспортных сосудов.

Установлено, что при проходке горных выработок закономерности изменения среднего диаметра  $d_{cp} = f(X_e)$  и  $d_{cp} = f(n)$  остаются одними и теми же, независимо от того, под влиянием какого фактора произошло изменение качества дробления. Эмпирические выражения этих связей рекомендуются для установления параметрических характеристик состава по заданному размеру негабаритного куска

$$X_e = \frac{d_{cp} - 0,021}{0,26}, \text{ м}; \quad (10)$$

$$e_g n = \frac{\lg(d_{cp} - 0,03) - \lg 0,02}{6,18}. \quad (11)$$

Таким образом, исходя из заданного размера негабарита, определяются соответствующие ему диаметр среднего куска, параметрические характеристики  $X_e$  и  $n$ , и далее при помощи уравнения Розина-Рамлера производится полный расчет ожидаемого гранулометрического состава отбитой горной массы с произвольной классификацией по крупности.

Как показали наши исследования, формулы (9) и (10) справедливы практически для любого случая ведения горных работ в подземных условиях (в том числе и очистных блоках). Показатель распределения по крупности при этом определяется из формулы

$$n = 0,663 / e_g \frac{X_{max}}{X_e}. \quad (12)$$

Результаты примерных расчетов ожидаемого гранулометрического состава по рекомендуемой методике, выполненных при определении удельного расхода ВВ по заданной крупности для условий проходки, приведены выше в табл. I.

#### НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

I. Общепринятый в горном деле показатель удельного расхода ВВ не является надежным критерием эффективности взрывной отбойки, а основанные на нем условия оптимальности исключают, или, в лучшем случае, жестко ограничивают возможность регулирования крупности отбитой горной массы.

2. Экспериментально установлено, что показатель выброса

существенно влияет на качество дробления скальных пород взрывом. Взаимосвязанное изменение эффекта разрушения (объема выброса и крупности), как показал анализ опытных данных, обусловлено перераспределением полезной ислъзуемой энергии, происходящим в результате изменения параметров ведения взрывных работ.

3. Новый показатель энергоемкости - градиент удельного расхода ВВ, суммарно учитывающий энергозатраты на дробление и выброс, является более совершенным критерием взрывной отбойки, позволяющим в любом случае ведения взрывных работ выделить область возможного регулирования крупности в пределах практически целесообразной степени полезного использования энергии взрыва.

4. Проверка применимости уравнения Розина-Рамлера показала реальную возможность использования его для характеристики гранулометрического состава с широким диапазоном изменения крупности кусков, образующихся при взрывной отбойке пород в производственных условиях.

5. Удельный расход ВВ и горнотехнологические свойства пород оказывают значительное влияние на гранулометрический состав отбитой горной массы, но не влияют на характер зависимости усредненных показателей крупности и размера негабаритных кусков от параметров уравнения Розина-Рамлера. Установленные взаимосвязи между этими величинами остаются справедливыми для всех случаев распределения дробленой породы по крупности.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

6. Параметры взрывной отбойки, соответствующие критическому значению градиента удельного расхода ВВ, являются наиболее рациональными, обеспечивающими максимальный объем выброса при высокой степени дробления и практически допустимых потерях энергии на разброс образовавшихся кусков.

7. Мелкое дробление в закритической области усиленных выбросов экономически нецелесообразно.

8. Метод испытаний на дробимость, разработанный ИГД им. А.А.Скочинского, как показали наши исследования, является наиболее приемлемым и практически целесообразным (из числа известных в настоящее время методов) для уточненной лабо-

методом оценки сопротивляемости пород Кольского полуострова при бурении и взрывной отбойке.

9. Разработана и рекомендуется к практическому применению методика расчета параметров взрывной отбойки по оценочной крупности при проходке горных выработок.

10. На основе уравнения Розина-Рамлера разработана методика расчета ожидаемого гранулометрического состава отбитой горной массы по заданному размеру негабаритных кусков.

Предложенные методики расчета параметров взрывной отбойки и ожидаемого гранулометрического состава отбитой горной массы приняты к практическому использованию на рудниках объединения "Нечертанкавель".

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Барон Л.И., Г.Н.Сиротюк. Испытание горных пород на прочность взрываемым внутренним зарядом. Вопросы технологии разработки месторождений Кольского полуострова. Изд-во АН СССР, Л., 1961.

2. Сиротюк Г.Н., Л.И.Барон. Сравнительное исследование прочности, дробимости и прочности на раздавливание горных пород рудников Кольского полуострова. Сб.: Вопросы технологии рудных месторождений Кольского полуострова. Изд-во АН СССР, Л., 1961.

3. Барон Л.И., Г.Н.Сиротюк. Влияние показателя выброса на дробимость кварцевой породы. Сб.: Вопросы технологии разработки рудных месторождений Кольского полуострова. Изд-во АН СССР, Л., 1961.

4. Сиротюк Г.Н. Об оценке дробимости горных пород взрывом на основании полигонных испытаний. Горный журнал, издательство УГМК, Свердловск, 1965, № 3.

5. Барон Л.И., Г.Н.Сиротюк. Проверка применимости уравнения Розина-Рамлера для вычисления диаметра среднего куска отбитой горной массы. Взрывное дело № 62/19, М., 1967.

6. Сиротюк Г.Н., Л.И.Барон. Методика определения усредненной крупности дробления при проходке горных выработок. Взрывное дело № 64/21, Изд."Недра", М., 1968.

7. Барон Л.И., Г.Н.Сиротюк. К вопросу оценки сопротивляемости горных пород разрушению динамическими нагрузками. Взрывное дело № 53/10, Госгортехиздат, М., 1963.

8. Сиротюк Г.Н. Методика расчета гранулометрического состава взорванной горной массы по заданному размеру негабаритных кусков. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Изд., "Наука", Новосибирск (в печати).

9. Барон Л.И., Г.Н.Сиротюк. Исследование градиента удельного расхода ВВ при отбойке скважинными зарядами в условиях проходки разрезной траншеи. Сб.: Технология разработки рудных месторождений Заполярья, Изд., "Наука", Л., 1964.

10. Сиротюк Г.Н. Методика расчета параметров буровзрывных работ с учетом заданной крупности дробления при проходке горных выработок. Изд. Кольского филиала АН СССР (в печати).