

6  
A-29

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

---

Отделение естественных и технических наук  
Институт физики и механики горных пород

На правах рукописи

Горный инженер А. Н. СОЛДАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА БУРОВЗРЫВНЫХ  
РАБОТ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

(на примере Кальмакырского рудника)

312. Открытая разработка и эксплуатация угольных,  
рудных и нерудных месторождений

Автореферат

диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

ФРУНЗЕ 1969

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

---

Отделение естественных и технических наук  
Институт физики и механики горных пород

На правах рукописи

Горный инженер А. Н. СОЛДАТОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСА БУРОВЗРЫВНЫХ  
РАБОТ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

(на примере Кальмакырского рудника)

312. Открытая разработка и эксплуатация угольных,  
рудных и нерудных месторождений

Автореферат

диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

ФРУНЗЕ-1969

Главная задача, стоящая перед горной наукой и горнодобывающей промышленностью СССР, состоит в том, чтобы полностью удовлетворить потребности общества в разнообразных видах полезных ископаемых: руде, топливе, природных строительных материалах и сырье для химической промышленности. При огромном росте объемов горных работ, которые составят в ближайшие годы около 10 млрд м<sup>3</sup> горной массы в год, необходимо повысить в 4—4,5 раза и производительность труда рабочих. Такие задачи определили широкое развитие открытых горных работ на основе внедрения новой высокопроизводительной техники и технологии выемки полезных ископаемых, которые уже к 1970 году должны составить около 70% всего объема добычи.

Необходимость применения буровзрывных работ значительно затрудняет широкое внедрение на открытых горных работах техники и технологии непрерывного действия. Поэтому, наряду с поиском возможности осуществления такого внедрения, ведется теоретическая и практическая работа по совершенствованию существующей технологии и оборудования циклического действия. При этом особое внимание уделяется совершенствованию технологии буровзрывных работ.

В последние годы в решении многих практических вопросов совершенствования буровзрывных работ наблюдаются большие успехи: внедряется высокопроизводительное оборудование, широкий ассортимент ВВ, методы инженерных расчетов параметров буровзрывных работ, современные методы управления энергией взрыва.

Но наряду с бесспорными успехами, достигнутыми в области теории и практики буровзрывных работ, наблюдается отставание в разработке методов получения информации о разрушаемой среде. Еще недостаточно исследованы условия применения и фактические возможности эксплуатируемого буро-

вого оборудования. Это затрудняет экономически эффективное планирование как всего комплекса буровзрывных работ, так и его отдельных операций.

В настоящее время для решения ряда инженерных задач очевидна необходимость в разработке более эффективных критериев оценки свойств буримости и дробимости горных пород взрывом, которые можно положить в основу оценки операций буровзрывного процесса. Для планирования всего комплекса буровзрывных работ на карьере необходима разработка критериев оценки слагающих его производственных операций.

Анализ основных положений существующего состояния вопросов буровзрывных работ на карьерах определил цель исследований: *на основе комплексной оценки производственных операций буровзрывного процесса исследовать зависимость, отражающую естественные условия месторождения, техническую оснащенность производства и требования к количеству и качеству продукции.* При этом комплексная оценка отдельных операций должна учитывать большинство случайных природных явлений и отражать основные производственные признаки.

В соответствии с намеченной целью определились следующие задачи исследований:

1. Выявление существенных признаков и оценка свойств буримости и дробимости взрывом пород месторождения.

2. Выбор критериев оценки эксплуатационных свойств бурового оборудования и определение удельной стоимости буровых работ в зависимости от прочностных характеристик пород.

3. Выявление существенных признаков качества взорванной горной массы и его оценка в зависимости от требований экскаваторной погрузки и целесообразной степени дробления пород массива.

4. Комплексное исследование общих показателей буровзрывного процесса.

Для решения поставленных в диссертационной работе задач были использованы методы теории вероятности, статистического анализа и статистических выборок, практические наблюдения за процессами и экспериментальные исследования в производственных условиях. Оценка производственных операций буровзрывного процесса осуществлялась с использованием понятий и методов теории надежности. Экспериментальные исследования проводились на Кальмакырском руднике в период с 1964 по 1967 гг.

Работа выполнялась в лаборатории разрушения горных пород взрывом Института физики и механики горных пород АН Кирг. ССР в период с 1964 по 1968 гг.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и рекомендаций, изложенных на 157 страницах машинописного текста, включая 16 таблиц, 58 рисунков, приложения с табличными данными экспериментальных наблюдений и списка использованной литературы.

### Оценка буримости и дробимости горных пород при взрыве

В настоящее время трудно выделить какой-либо метод оценки прочностных свойств пород массива, отличающийся простотой и удобством в практическом использовании. Для совершенствования же технологии буровзрывных работ производственная потребность в таких методах очевидна. Опыт многолетних исследований, проводимых Отделом разрушения горных пород взрывом Института физики и механики горных пород АН Кирг. ССР и касающихся различных вопросов буровзрывного дела, показывает, что наилучшая практическая применимость рекомендаций может быть достигнута в случае, если принятые в исследовании методы основаны на использовании условий, преобладающих в практике. Поэтому в исследованиях, проводимых на различных предприятиях, совершенствовались в основном методы оценки прочностных свойств пород массива на месте производства промышленных работ. Одним из таких методов является предлагаемая в диссертационной работе оценка прочностных свойств пород массива с помощью показателей удельной энергоемкости бурения, основанная на определении количества энергии, затраченной на производство полезной работы при выбуривании единицы объема скважины.

О возможности оценки прочностных свойств пород массива с помощью показателей удельных энергетических затрат еще в 1926 году указывалось проф. М. М. Протоdjаконовым. Примерно в то же время появились и первые классификации пород по буримости Харлея и Лареса, основанные на учете энергетических затрат при бурении. Недостатком этих классификаций являлось то, что они не выделяли эффективно затраченное на непосредственное разрушение пород количество энергии. Позднее в исследованиях И. М. Бирюкова, В. С. Федорова, Е. Ф. Ратникова, А. Н. Адамова, М. Г. Бингхема и др. указывалось на целесообразность использования показателей минимальной удельной работы разрушения для оценки прочностных свойств пород массива и эффективности параметров бурения. Исследованиями Ю. Ф. Потапова, В. В. Симонова, Г. И. Була-

ха, М. Я. Берковича, А. И. Сливак и некоторых других была отмечена возможность осуществления эффективного бурения с минимальными энергетическими затратами. Однако, из-за кажущейся трудности определения энергетических параметров этот метод не получил должного применения в практике буровых работ.

При эксплуатации шарошечных буровых станков определение энергетических характеристик бурения значительно упрощается. Одним из условий возможности энергоемкой оценки прочностных свойств пород является соблюдение эффективной очистки скважин от буровой мелочи. В этом случае следует использовать показатель энергоемкости разрушения без учета энергетических затрат на очистку, поскольку между энергоемкостью очистки скважины и прочностными свойствами пород существует обратная зависимость.

Применительно к использованию станков БСШ-2М было установлено, что при бурении скважин диаметром 190 мм в породах крепостью  $f \geq 8$  (по шкале М. М. Протоdjяконова) расход сжатого воздуха 16—18 м<sup>3</sup>/мин обеспечивает необходимую эффективность очистки скважины.

Количество полезно затраченной на разрушение работы в проводимом исследовании определялось графическим интегрированием полученных с помощью ваттметров-самописцев диаграмм потребляемой сетевым двигателем станка мощности, записанной во времени бурения каждого цикла, как

$$k_z = \mathcal{E} - \Delta \mathcal{E}_x - \Delta \mathcal{E}_ш, \quad (1)$$

$k_z$  — показатель удельной энергоемкости бурения, квт-час/пог. м;

$\mathcal{E}$  — общее количество потребляемой сетевым двигателем станка энергии, квт-час/пог. м;

$\Delta \mathcal{E}_x$  — количество энергии холостого хода системы, квт-час/пог. м;

$\Delta \mathcal{E}_ш$  — количество энергии, связанное с износом шарошечных долот, квт-час/пог. м.

Цикл ограничен выбуриванием 1 пог. м скважины до следующего перехвата штанги зажимным устройством гидropатрона.

Для исключения энергии холостого хода системы в соответствии с рабочим режимом оборотов короткое время имитируется бурение с приподнятым над забоем скважины буровым снарядом. Этой энергии соответствует распространенное на все время бурения в каждом цикле значение потребляемой мощности холостого вращения.

Потери энергии, связанные с износом шарошечных штыревых долот, незначительные и составляют около 0,2—0,3 квт-час/пог. м. Как показали наблюдения, при бурении широкого диапазона пород износ твердосплавного вооружения не достигает и 50% по причине выхода долот из строя из-за заклинивания подшипников шарошек или поломки опор. Эти потери энергии из-за износа долот учитывались эмпирической зависимостью:

$$\Delta \mathcal{E}_ш = 0,37 \frac{k_ш}{100} \text{ квт-час/пог. м.} \quad (2)$$

$k_ш$  — процент износа, определяемый сравнением выполненного объема работ и средней статистической стойкостью штыревых долот.

В проведенных исследованиях не удалось установить зависимость между удельным расходом полезной работы разрушения и диаметром долот. Поэтому за единицу работы принято количество полезно затраченной энергии при выбуривании 1 пог. м скважины постоянного диаметра равного 190 мм. Достоверность получаемой при этом оценки определяется соответствием вычисленного количества удельной энергоемкости бурения минимальной объемной работе разрушения при использовании данного оборудования.

Анализ результатов наблюдений за работой станков БСШ-2М показал, что для наиболее распространенных горных пород крепостью  $f = 8—14$  удельная энергоемкость бурения при принятой на руднике практике работ близка к минимальной объемной работе разрушения и изменяется в пределах 1,4—2,2 квт-час/пог. м (18—28 кгм/см<sup>3</sup>) в зависимости от прочностных свойств пород. Широкое изменение скорости вращения снаряда резко влияет на изменение непроизводительных затрат энергии, сравнительно легко определяемых учетом энергии холостого хода. Обычно же применяемые давления на долото соответствуют требованию эффективного разрушения пород.

Другим фактором, влияющим на достоверность оценки прочностных свойств пород массива, является способ получения информации о затраченной на бурение энергии. С целью возможного упрощения рекомендуемой предприятию методики исследование удельной энергоемкости бурения производилось с помощью подключенного к сетевому двигателю самопишущего ваттметра Н348. В этом случае при бурении пород различной крепости изменяется, как правило, нагрузка двигателя, что в свою очередь изменяет его к. п. д. и передаваемую на бу-

ровой став мощность. Учитывая существующую на руднике квалификацию буровых бригад и используемые ими приемы бурения, коэффициент вариации нагрузки сетевого двигателя при бурении пород крепостью  $f=8-14$  составил 17,7%. Это приводит к изменению его к. п. д. в пределах 0,88—0,90. С учетом системы Г—Д станка к. п. д. двигателя ротора изменяется в пределах 0,86—0,88. При этом значение поправочного коэффициента, представляющего отношение фактического к. п. д. к расчетному при минимальной нагрузке, составляет 0,990—0,995.

Таким образом, обычно применяющиеся значения основных режимных параметров бурения оказывают незначительное влияние на изменение передаваемой двигателем ротора мощности. Как показали стендовые исследования М. Я. Беркович, А. И. Спивак и др. величина минимальной удельной энергоемкости разрушения при широком изменении давлений на долото и оборотов снаряда изменяется в пределах лишь 3—8%. В проводимых нами исследованиях при бурении в наиболее однородных участках массива обычно применяющиеся в практике рудника режимные параметры изменяют минимальную энергоемкость процесса разрушения в пределах 5—8%. Достоверность оценки прочностных свойств пород массива с помощью показателей удельной энергоемкости бурения может быть улучшена путем использования рекомендуемых режимных параметров бурения, при которых сохраняется меньшая энергоемкость процесса разрушения и обеспечивается экономическая эффективность основных производственных показателей. Для пород крепостью  $f=8-16$  значения режимных параметров приведены ниже (см. в табл. 6).

Как показали исследования, для большинства горных пород определенные таким образом показатели удельной энергоемкости бурения хорошо характеризуют прочностные свойства пород массива и могут быть использованы для оценки их буримости. Такая оценка при бурении станками БСШ-2М скважин диаметром 190 мм штыревыми долотами в сравнении с некоторыми существующими классификациями пород по буримости представлена в таблице 1.

Возможность оценки свойств дробимости массива при взрыве на основе использования показателей удельной энергоемкости бурения устанавливалась по результатам наблюдений за гранулометрическим составом взорванной горной массы при экспериментальном взрывании. Дополнительно было проведено исследование вероятности разрушения массива по соотношениям характерных площадей скола на крупных кусках в за-

Таблица 1

Классы по Единой шкале буримости (по А. Ф. Суханову)	Группы по М. М. Протодьяконову		Категории по Союзу взрывному	Категории по ЕНПР	Группы по Ларесу (перфораторное бурение)		Удельная энергоемкость бурения 1 пог. м скважины станком БСШ-2М	
	категор.	коэф.			категории	энергоемкость кгм/см <sup>3</sup>	квт-час/пог. м	кгм/см <sup>3</sup>
IV	I—II	18	XIIa	XV	V	3,00	38,80	
V	II	15	XIб	XIV	VI—VII	2,66	34,30	
VI	III	10	XIa	XIII	VIII—IX	2,23	29,20	
VII	IIIa	8	Xa	XII	X	1,83	23,60	
VIII	IV	6	IXб	XI	XI	1,38	17,80	
IX	IVa	5	IXa	X	XI	0,95	12,25	
II			IX—VIII			0,58	6,70	

зависимости от прочностных свойств пород, естественной трещиноватости массива и состава заполнителей трещин.

В результате исследований было установлено, что основным фактором разрушения при взрыве являются имеющиеся в массиве ослабления, выраженные наличием непрочных заполнителей трещин и развитой микротрещиноватостью. В таблице 2 приведены некоторые результаты исследования в зависимости от прочностных свойств пород, выраженных показателями удельной энергоемкости бурения  $k_э$ , и применяемой удельной энергии взрыва  $q$ . С увеличением прочностных свойств среды вероятность ее разрушения  $P$  почти полностью определяется наличием в массиве ослаблений, представленных трещиноватостью. Возможность разрушения по трещинам с непрочными заполнителями быстро исчерпывается уже при применяющихся на руднике удельных расходах ВВ. Дальнейшая возможность разрушения массива заключается в увеличении вероятности разрушения по микротрещинам монолитной среды  $P_1$ , что при увеличении ее прочностных характеристик связано с большим удельным расходом энергии взрыва.

Для гарантированного обеспечения общей вероятности разрушения массива  $P=0,99$ , что методически соответствует 1% выхода фракций размером равным или более 1 м, вероятность разрушения по монолитной среде  $P_1$  необходимо увеличить до значений  $P'_1$ . Тогда расчетные значения удельного расхода ВВ для этого условия могут быть определены с помощью эмпирической зависимости

$$q' = 0,124k_э^3 + 0,1k_э^2 + 0,032k_э + 0,2, \quad (3)$$

где  $q'$  — удельный расход ВВ (аммонит № 6), кг/м<sup>3</sup>;  
 $k_э$  — показатель удельной энергоемкости бурения, квт-час/пог. м.

Таблица 2

$k_э$ квт-час/п. м	$q$ кг/м <sup>3</sup>	$P$	$P_1$	$P'_1$	$q'$ кг/м <sup>3</sup>
0,8	0,30	0,990	0,43	0,430	0,3
1,2	0,32	0,984	0,21	0,500	0,6
1,6	0,36	0,979	0,15	0,600	1,1
2,0	0,41	0,965	0,13	0,750	1,7
2,4	0,49	0,938	0,11	0,857	2,6

Результаты анализа наблюдений за экспериментальными взрывами подтвердили применимость оценки свойств дробимости массива с помощью показателей удельной энергоемкости бурения. При этом было установлено, что трещиноватость, способствующая разрушению при взрыве, характеризует местные ослабления массива в результате прошедших тектонических воздействий и снижает удельную энергоемкость бурения. Оценка дробимости массива взрывом на основе характеристик удельной энергоемкости бурения исходит из прямого учета признака сопротивляемости пород механическому разрушению. Положительной стороной такой оценки является то, что она учитывает свойства пород и структурные особенности массива, исключая ошибки, связанные с использованием корреляционных зависимостей ряда промежуточных признаков.

### Оценка надежности буровых станков БСШ-2М

Исследование надежности бурового оборудования в производственных условиях было предпринято с целью выяснения следующих вопросов: 1) определение фактической безотказности буровых станков в зависимости от объема произведенной работы и применяющихся режимов бурения, 2) влияние ремонтпригодных характеристик буровых станков и качества ремонтного обслуживания на показатели надежности, 3) определение удельной стоимости буровых работ с учетом надежных показателей буровых станков.

Наблюдения производились за работой 12 буровых станков в течение года. Определение показателей надежности осуществлялось в зависимости от объема произведенной работы, выраженного с помощью показателей удельной энергоемкости бурения как затраченное на разрушение полезное количество энергии.

Для практики горнодобывающих предприятий характерно, что в процессе эксплуатации восстанавливаемых технических систем фактическая безотказность оборудования неизбежно изменяется по мере замены вышедших из строя заводских деталей изделиями местного производства. При этом безотказность системы в основном зависит от качества проведения ремонтно-профилактических мероприятий, характерного для ремонтной базы предприятия. Исследование безотказности бурового оборудования производилось по общепринятой схеме, где полная безотказность системы  $P_c$  определяется произведением вероятностей безотказной работы зависящих от приработки деталей —  $P_{п}$  внезапных —  $P_{в}$  и износных —  $P_{и}$  отказов, т. е.

$$P_c = P_{\Pi} P_B P_H = e^{-\lambda_{\Pi} \Theta} e^{-\lambda_B \Theta} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \int_{\Theta}^{\infty} e^{-(\Theta - M)^2 / 2\sigma^2} d\Theta, \quad (4)$$

где  $\lambda_B$  и  $\lambda_{\Pi}$  — интенсивность внезапных и приработочных отказов в определенном интервале;

$\Theta$  — число интервалов;

$\sigma$  и  $M$  — основные параметры нормального распределения, характеризующие износные явления;  $\sigma$  — стандартное отклонение от среднего времени безотказной работы  $M$ ;

$\Theta$  — объем выполняемой работы.

Узлами станка БСШ-2М с наиболее низкой безотказностью элементов являются «буровой став», «гидравлическая система», «электросистема» и «ходовая часть». Основной причиной низкой вероятности безотказной работы этих узлов является большое число отказов, методически классифицируемых как приработочные и происходящих в результате плохого качества проведенных ранее ремонтных работ. Так, например, вероятность безотказной работы узла «буровой став» (табл. 3) очень

Таблица 3

Объем работы, квт-час	Вероятность безотказной работы узла «буровой став»				Вероятность безотказной работы станка
	$P_{\Pi}$	$P_B$	$P_H$	$P_c$	
1000	0,3850	0,7760	1,0000	0,2990	$1,0 \cdot 10^{-3}$
3000	0,1500	0,6020	0,9938	0,0897	$1,1 \cdot 10^{-6}$
5000	0,0580	0,4670	0,0124	0,0004	$1,2 \cdot 10^{-9}$
7000	0,0220	0,3200	0,0038	0,00003	$1,0 \cdot 10^{-12}$

низкая уже при выполнении объема работ 3000 квт-час, хотя износ самих штанг наступает значительно позже. На безотказную работу узла оказывают большое влияние и так называемые внезапные отказы, происходящие в результате внезапных перегрузок. Такая вероятность безотказной работы отдельных узлов определяет и чрезвычайно низкую безотказность всего станка в целом (см. табл. 3). Выполнению объема работ равного 1000 квт-час соответствует выбуривание 500 пог. м сква-

жин диаметром 190 мм штыревым долотом по породам крепостью  $f=12-14$ .

Большое влияние на безотказность бурового оборудования оказывают применяющиеся для крепких пород режимы бурения. Особенно опасным для конструкции станка БСШ-2М является завышение числа оборотов снаряда. При этом наблюдается удорожание стоимости бурения без заметного увеличения выполнения норм выработки в длительном периоде эксплуатации (см. табл. 4). С другой стороны, увеличение скоро-

Таблица 4

Производственные показатели бурения скважин диаметром 190 мм в породах крепостью  $f=12-14$  при нагрузке на долото 14-16 т и с разным числом оборотов бурового снаряда

Показатели	Обороты $n$ , об/мин	
	80-100	120-160
Выполнение месячной нормы выработки, %	101,0	102,0
Ремонтные простои на 1000 пог. м скважин, бриг.-часов	51,6	112,8
Частота отказов на 1000 пог. м скважин	10,3	20,0
Стойкость долота 5Н-190 ОК, пог. м	92,0	56,0
Стоимость бурения 1 пог. м, руб	5,6	7,0

сти вращения бурового снаряда является одной из мер по увеличению производительности бурения. Поэтому безотказность станка может служить одним из критериев, определяющих совершенствование последующих конструкций бурового оборудования.

Интенсивность отказов бурового оборудования хотя и определяет число остановок в работе, но полностью не может характеризовать надежность устройства в эксплуатации. Здесь большое значение приобретают ремонтпригодные характеристики оборудования, зависящие от конструктивного исполнения станков и организации ремонтной службы на карьере. Наиболее важной характеристикой организации ремонтных работ является показатель ремонтпригодности, рассматриваемый как совокупность двух видов обслуживания: профилактического и по устранению отказов. Если безотказность характеризуется вероятностью безотказной работы в зависимости от выполняемого объема работ, то показатель ремонтпригодности связан в первую очередь с вероятностью восстановления устройства, ко-



торое вышло из строя или работает ненормально, и может быть определено зависимостью

$$K_p = 1 - e^{-\frac{t_n}{t_\phi}} \quad (5)$$

где  $t_n$  и  $t_\phi$  — планируемое и фактическое среднее время на устранение одного отказа.

Для полной оценки надежности оборудования в режиме установившегося ремонтного обслуживания необходимо учитывать как безотказные, так и ремонтпригодные характеристики. На основании теоретических разработок С. Р. Калабро и проведенных в диссертационной работе исследований рекомендуется использовать следующую зависимость:

$$R_c = 1 - e^{-\frac{t_n}{t_\phi} (1 - e^{-\lambda_{cp} n})} \quad (6)$$

где  $R_c$  — коэффициент надежности в эксплуатации,  
 $\lambda_{cp}$  — средняя частота отказов в заданном интервале,  
 $n$  — число интервалов в заданном объеме работ.

Преимуществом использования в расчетах коэффициента надежности  $R_c$  является то, что выявленная с его помощью готовность оборудования выполнять задание оказывается гораздо выше, чем можно было бы ожидать только от влияния

Таблица 5

Э, квт-час	$R_c$	$K_p$	$R_c$
100	0,5520	0,47	0,762
200	0,3050	0,47	0,638
400	0,0930	0,47	0,520
600	0,0270	0,47	0,484
1000	0,0010	0,74	0,475

одной его безотказности. Для длительного периода эксплуатации показатель надежности  $R_c$  принимает некоторое установившееся значение и зависит в дальнейшем от качества ремонтного обслуживания. Это соответствует действительным условиям. В качестве примера в таблице 5 приводится расчет характеристик безотказности станка  $R_c$ , ремонтпригодности

$K_p$  и надежности  $R_c$ . Можно отметить, что при выполнении объема работ более 200 квт-час вероятность безотказности имеет очень малые значения и в длительном периоде эксплуатации не характеризует всех возможностей оборудования, способного к частым отказам. Характеристика ремонтпригодности  $K_p$  хорошо отражает установившийся процесс ремонтного обслуживания, но безотказные свойства она учитывает косвенно через величину фактической продолжительности ремонтов, связанной с частотой поломок. Коэффициент надежности оборудования  $R_c$  в этом отношении выгодно отличается от рассмотренных характеристик. Он непосредственно учитывает зависимость надежных свойств от безотказности оборудования, указывая возможность их улучшения, и характеризует установившийся режим ремонтного обслуживания.

Используя характеристики ремонтного состояния станка, можно сформулировать требования, предъявляемые к организации ремонтной службы на карьере. Наиболее существенным мероприятием по улучшению надежности бурового оборудования является сокращение сроков ремонтных операций. Большую помощь при этом могут оказать имеющиеся данные о средней наработке на отказ наиболее ответственных узлов и деталей, аварийные поломки которых сильно ухудшают показатель надежности.

Одной из мер по увеличению надежности бурового оборудования и снижению стоимости бурения является использование экономически эффективных режимов бурения. На основании расчетов, учитывающих эффективность бурения, надежность оборудования, затраты, связанные с ремонтом станка и поломками долот, были определены режимы бурения, обеспечивающие наименьшую удельную стоимость работ (табл. 6).  
 Использование в расчетах надежных показателей спо-

Таблица 6

Показатели	Коэффициент крепости $f$ (по М. М. Протодьяконову)				
	8	10	12	14	16
	Показатель удельной энергоемкости бурения $K_э$ , квт-час/пог.м				
	1,4	1,8	2,2	2,5	2,8
Обороты снаряда, об/мин	125	115	100	80	60
Нагрузка на долото, т	10—12	13—14	15	16	16—17
Стоимость бурения, руб/пог.м	3,0	3,8	4,7	5,8	8

способствует выбору экономически эффективных режимов бурения, планированию ремонтных операций и улучшению общей организации работ. При этом основные объемы работ определяются на основании информации о прочностных свойствах пород, получаемой с помощью энергетических показателей бурения.

### Оценка качества взорванной горной массы

Если исходить из требования эффективной экскаваторной погрузки, то гранулометрический состав не может служить окончательной оценкой качества взорванной горной массы. Этот показатель необходимо дополнять сведениями о компактности развала и некоторых механических свойствах пород. Проведенными наблюдениями было установлено, что в зависимости от прочностных свойств улучшение дробления пород за счет увеличения удельной энергии взрыва при постоянных параметрах уступа и диаметре скважин имеет вполне определенные практические пределы, превышение которых снижает показатели экскаваторной погрузки в первую очередь от ухудшающейся компактности развала. Более приемлемой комплексной оценкой качества взорванной горной массы может служить показатель времени экскаваторной погрузки  $1 \text{ м}^3$ , включающий время на разборку забоя, поддирку подошвы, откидывание негабаритных валунов и т. п., в сравнении с максимально возможным значением в наилучших для экскавации условиях. Этому показателю удобнее придать надежный смысл, т. е. наиболее вероятного обеспечения максимально возможной производительности. Тогда показатель будет характеризовать приемлемость в забое условий для погрузки и может быть выражен как

$$P_3 = \frac{V_{\phi}}{V_{\max}} \quad (7)$$

где  $P_3$  — коэффициент подготовленности забоя к экскавации,

$V_{\phi}$  — фактическая производительность при экскаваторной погрузке,

$V_{\max}$  — максимально возможная производительность в забое с наилучшими для экскаваторной погрузки условиями.

Как показали наблюдения, максимально возможная производительность экскаватора ЭКГ-4,6 при погрузке в ж. д. думп-кары хорошо раздробленных легковзрывааемых пород составля-

ет  $565 \text{ м}^3/\text{час}$ . Тогда фактическая производительность экскаватора в зависимости от коэффициента подготовленности забоя к экскавации  $P_3$  составит

$$V_{\phi} = \frac{P_3}{1,77} \text{ тыс. м}^3/\text{час}, \quad (8)$$

где 1,77 — время в часах погрузки  $1000 \text{ м}^3$  горной массы при максимально возможной производительности.

С увеличением прочностных свойств пород возможная максимальная производительность экскаватора уменьшается, а определяющий ее предельный коэффициент подготовленности забоя к экскавации для большинства горных пород крепостью  $i=6-16$  изменяется от 0,994 до 0,888 согласно установленной корреляционной зависимости

$$P_{3, \text{пр}} = \frac{1}{0,016k_3^2 + 1}, \quad (9)$$

где  $k_3$  — показатель удельной энергоемкости бурения,  $\text{квт-час/пог.м.}$

Обеспечение большей эффективности экскаваторной погрузки связано с увеличением затрат на производство отбойки массива. При этом снижение стоимости погрузки в зависимости от типа применяющегося оборудования и прочностных свойств пород имеет определенные экономические пределы. Согласно представленной в диссертационной работе методики расчета качество дробления пород определялось удельным расходом энергии взрыва в зависимости от прочностных характеристик массива. Для более полного отражения реальных условий экскавации в расчетах использовался коэффициент подготовленности забоя к экскавации. С помощью этого коэффициента определялись показатели экскаваторной погрузки. В расчет удельной стоимости буровых работ было включено влияние прочностных свойств пород на надежные характеристики буровых станков и стойкость шарошечных долот. Проведенный расчет удельных затрат по различным операциям при существующей на Кальмакырском руднике организации работ для пород с энергетической характеристикой  $k_3 = 1,6 \text{ квт-час/пог.м.}$  представлен в таблице 7. Из данных таблицы видно, что с улучшением дробления снижаются удельные расходы на экскавацию и вторичное дробление, но растут удельные расходы на массовую отбойку. Экономически эффективный коэффициент подготовленности забоя к экскавации для этих пород составляет 0,64, что соответствует содержанию не-

344567

Центральная научная  
БИБЛИОТЕКА  
Академии наук Киргизской ССР

Таблица 7

Кэф. подго- товленности взрывной горной массы	Содержание негабарита, %	Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	Выход горной массы, м <sup>3</sup> /м	Производи- тельность экс- каватора, м <sup>3</sup> /час	Удельные расходы на 1 м <sup>3</sup> горной массы, руб./м <sup>3</sup>					суммар- ные
					по бу- рению	по мас- совому взрыва- нию	по вто- ричному взрыва- нию	по экска- вации	по Б В Р	
0,90	0,5	0,74	38,0	510,0	0,1053	0,1554	0,0021	0,0986	0,2628	0,3614
0,80	1,4	0,50	50,0	450,0	0,0800	0,1050	0,0054	0,1110	0,1904	0,3014
0,70	2,5	0,37	63,0	395,0	0,0635	0,0777	0,0104	0,1272	0,1516	0,2788
0,60	4,0	0,30	71,0	335,0	0,0538	0,0599	0,0165	0,1480	0,1302	0,2782
0,50	6,0	0,24	87,0	280,0	0,0460	0,0504	0,0250	0,1785	0,1214	0,2999

габарита около 3% при удельном расходе ВВ (аммонит № 6) 0,320 кг/м<sup>3</sup> и себестоимости погрузки с отбойкой 0,275 руб/м<sup>3</sup>. Негабаритным куском считается фракция с максимальным размером равным или более 1 м. Дальнейшее улучшение качества дробления вызовет более резкое увеличение затрат по буровзрывному процессу при менее значительном их снижении на экскавации.

С увеличением прочностных характеристик пород в целях экономичности всего буровзрывного процесса приходится идти на некоторое увеличение содержания во взорванной горной массе негабарита и снижение коэффициента подготовленности забоя к экскавации. Так, для пород с характеристикой  $k_3 = 2,4$  квт-час/пог.м. экономически эффективный коэффициент подготовленности забоя к экскавации уже составит 0,44, что соответствует содержанию негабарита около 6% при удельном расходе ВВ 0,45 кг/м<sup>3</sup> и общей себестоимости погрузки с отбойкой 0,43 руб/м<sup>3</sup>.

Значение экономически эффективного коэффициента подготовленности забоя к экскавации  $P_{эк.эф.}$  в зависимости от энергетических характеристик пород  $k_3$  при использовании на погрузке в ж. д. думпкары экскаваторов ЭКГ-4,6 может быть определено как

$$P_{эк.эф.} = \frac{1}{0,22k_3^2 + 1} \quad (10)$$

Для практического использования рекомендаций исследований предложен метод районирования участков месторождения, который заключается в определении прочностных свойств массива в перебурах скважин для нижележащих горизонтов и способствует улучшению планирования отдельных операций и процессов при последующей разработке. Так, например, планируемый удельный расход ВВ для обеспечения экономически эффективного коэффициента подготовленности забоя к экскавации может быть определен зависимостью

$$q = 0,14 e^{0,53k_3} \quad (11)$$

объем буровых работ —

$$p = 160 e^{-1,43k_3} + 53,5 \quad (12)$$

суммарная планируемая удельная стоимость работ по отбойке и экскаваторной погрузке —

$$c = 0,017k_3^2 + 0,11k_3 + 0,06 \quad (13)$$

и т. д., включая планирование запасных частей, расстановку оборудования и составление оперативных графиков работ.

Здесь  $q$  — удельный расход ВВ (аммонит № 6),  $кг/м^3$ ;  
 $p$  — выход взорванной горной массы,  $м^3/пог.м.$ ;  
 $c$  — суммарная удельная стоимость работ,  $руб/м^3$ ;  
 $k_3$  — показатель удельной энергоемкости бурения,  $квт-час/пог.м.$

Рекомендуемый метод оценки прочностных свойств пород с помощью показателей удельной энергоемкости бурения обеспечивает достаточную надежность планирования работ буровзрывного комплекса. Отклонения на 1% при определении показателей удельной энергоемкости бурения, соответствующих минимальной объемной работе разрушения, приводит к средним относительным ошибкам в расчетах удельных стоимостных расходов на 1  $м^3$  горной массы:

массовое взрывание —	$\pm 2\%$ ,
бурение —	$\pm (2-3\%)$ ,
вторичное взрывание —	$\pm (5-10\%)$ ,
экскавация —	$\pm (1-2,5\%)$ .

Завышение прочностных характеристик пород увеличивает удельные затраты на бурение и взрывание, снижая их на вторичном взрывании и экскавации, и наоборот. Это изменяет суммарную удельную стоимость работ в пределах  $\pm (0,5-1,5\%)$ . Рекомендуемые исследованием режимные параметры допускают отклонения при определении показателей удельной энергоемкости бурения, соответствующих минимальной объемной работе разрушения, на 1—2%. Здесь следует указать на практическую трудность осуществления бурения с рекомендуемыми режимными параметрами в разнородных участках, требующего предварительной оценки прочностных свойств пород массива. В противном случае обычно используемые в практике приемы бурения приведут к отклонениям в определении показателя минимальной объемной работы разрушения на  $\pm (5-8\%)$ .

#### Общие выводы и рекомендации

1. Оценка буримости и дробимости массива горных пород при взрыве с помощью показателей удельной энергоемкости бурения основана на непосредственной информации о свойствах пород при их механическом разрушении. Такая оценка учитывает как свойства пород, так и структурные особенности

массива. Являясь непосредственным производственным показателем, удельная энергоемкость бурения может служить для оценки других производственных операций, способствуя экономически эффективному управлению производством.

2. Оценку влияния прочностных свойств пород и объемов работ на показатели процесса бурения возможно произвести на основе надежных характеристик бурового оборудования, отражающих его безотказные свойства и режим установившегося ремонтного обслуживания.

3. Одним из основных требований, предъявляемых к качеству взорванной горной массы, является обеспечение большей эффективности погрузочных работ. Комплексный учет случайных воздействий на процесс эскавации возможен на основе использования непосредственных производственных показателей. Удобной характеристикой этих показателей может служить коэффициент подготовленности забоя к экскавации.

4. Целесообразное улучшение дробления пород взрывом имеет экономические пределы, зависящие от прочностных свойств разрушаемой среды и применяемого оборудования. Для условий Кальмакырского рудника планирование буровзрывных работ может быть осуществлено с помощью исследованного экономически эффективного коэффициента подготовленности забоя к экскавации. Использование этого коэффициента в разработанной методике инженерных расчетов позволяет по исследованным зависимостям оперативно определять технико-экономические показатели основных операций буровзрывного процесса.

Достоинство рекомендуемой методики инженерных расчетов заключается в том, что она основана на исследованных устойчивых корреляционных зависимостях технико-экономических показателей различных операций процесса от прочностного показателя массива — удельной энергоемкости бурения.

5. Наилучшие результаты от использования рекомендаций исследования могут быть достигнуты применением разработанного метода районирования участков месторождения по показателям удельной энергоемкости бурения, что позволяет в условиях Кальмакырского рудника повысить общую эффективность работ с экономией средств на сумму 239 тыс. рублей в год.

6. Задачи дальнейших исследований должны включать: 1) разработку методов управления процессом бурения в оптимальном режиме на основании энергетических характеристик обуриваемых пород и 2) разработку упрощенных методов приборного исследования энергоемкости горных пород в процессе бурения.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в статьях:

1. Мосинец В. Н., Подойницын Е. М., Солдатов А. Н., Тангаев И. А. и Токтосунов Э. К. Метод районирования горных пород по трудности взрывания. Новосибирск, «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых», № 1, 1967.
2. Солдатов А. Н. Метод исследования буровзрывных свойств массива горных пород с помощью энергетических характеристик бурения. Фрунзе, КиргизИНТИ. № 98 (429), 1967.
3. Солдатов А. Н. Надежность комплекса буровзрывных работ. Новосибирск, «Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых». 1968 (в печати).

Подписано в печать 16/І 1969 г. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 1,5 п. л.  
Д—00013 Зак. 32. Тираж 200 экз.

у. Фрунзе. тип. АН Киргиз. ССР.