

6
А-64

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ ОБЪЕДИНЕННОГО
УЧЕНОГО СОВЕТА ПО ТЕХНИЧЕСКИМ И ЕСТЕСТВЕННЫМ
НАУКАМ

Институт физики и механики горных пород

На правах рукописи

ЛАВРОВ ГЕРАЛЬД МИХАЙЛОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ
В ЗАКАРСТОВАННЫХ ПОРОДАХ ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ
ВЫЕМКЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО
(на примере Мазульского карьера)

Диссертация написана на русском языке

Специальность 05.15.03 — открытая разработка
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ФРУНЗЕ — 1975

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР

Совет по геологии и горному делу Объединённого
Учёного Совета по техническим и естественным
наукам

Институт физики и механики горных пород

На правах рукописи

ЛАВРОВ Геральд Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ЗАКАРСТОВАННЫХ ПОРОДАХ ПРИ
СЕЛЕКТИВНОЙ ВЫЕМКЕ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО
(на примере Мазульского карьера)

Диссертация написана на русском языке

Специальность 05.15.03- открытая разработка
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных
месторождений

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1975



Диссертационная работа выполнена в Институте физики и механики горных пород АН Киргизской ССР и Сибцветмет - НИИдроекте.

Научный руководитель - кандидат технических наук, старший научный сотрудник

ТАНГАЕВ И.А.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор технических наук

БАРАНОВ Е.Г.

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

ЖДАНОВСКИХ А.А.

Ведущее предприятие - Ачинский глинозёмный комбинат

Автореферат разослан " " _____ 1975 г.

Защита диссертации состоится " " _____ 1975 г.

в _____ часов на заседании Совета по геологии и горному делу Объединённого Учёного Совета по техническим и естественным наукам АН Киргизской ССР.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке АН Киргизской ССР.

Отзыв в 2-х экземплярах, заверенный печатью, просим направлять по адресу: 720481, г. Фрунзе, проспект Дзержинского, 30, Институт геологии АН Киргизской ССР, учёному секретарю.

Учёный секретарь Совета, кандидат геолого-минералогических наук

МАЛЫГИН В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ. Директивами XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства предусмотрено ускоренное развитие сырьевой базы для производства глинозема с тем, чтобы к концу пятилетки увеличить выпуск алюминия на 50-60 процентов.

Реальным воплощением планов партии стало создание глиноземной и алюминиевой промышленности в Красноярском крае на базе кия-шалтырских нефелинов и форсированное развитие добычи вспомогательного сырья, в частности, флюсовых известняков Мазульского месторождения.

Важнейшей задачей для успешного выполнения народнохозяйственного плана по производству глинозема является обеспечение минимальных потерь полезного ископаемого при разработке Мазульского месторождения, которые в отдельные годы достигали 40% и более.

Такие потери обусловлены чрезвычайно сложным строением рудного тела, отсутствием какой-либо закономерности размещения разубоживающих карстовых глин в массиве известняка.

Наибольшее влияние на формирование потерь в процессе разработки месторождений оказывают буровзрывные работы (БВР). Именно поэтому в последнее время особое внимание уделялось разработке и исследованию методов БВР, направленных на снижение перебиваемости руды с породой в процессе взрывной отбойки. Однако объектом исследований являлись сложные месторождения, представленные только скальными породами.

Механический перенос результатов этих исследований на месторождения с перемежающимися скальными и рыхлыми породами неправилен в связи с некоторыми особенностями взрывания закарстованных пород, к числу которых относятся: повышенная опасность возникновения отказов скважинных зарядов, низкое качество проработки подошвы уступа и т.д.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью настоящей работы является исследование возможности внедрения прогрессивных методов взрывания и разработка рациональной технологии взрывной отбойки закарстованных пород при селективной выемке полезного ископаемого применительно к условиям Мазульского карьера.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- установить причины отказов детонации скважинных зарядов при короткозамедленном взрывании (КЗВ) перемежающихся скальных и рыхлых пород и обеспечить безотказность взрывания;
- изучить механизм разрушения на контакте пород с резко отличными акустическими свойствами при КЗВ;
- исследовать и разработать эффективные методы улучшения качества проработки подошвы уступа в закарстованных породах;
- разработать рациональную технологию буровзрывных работ в условиях распространения в массиве известняка карстовых глин.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для решения поставленных в работе задач использованы следующие методы научного исследования: обобщения литературных материалов, экспериментальные и теоретические исследования, технико-экономический анализ, разработана и применена методика исследования технологии буровзрывных работ в закарстованных породах с использованием математических методов планирования экспериментов и оптимизации процессов и физического моделирования взрывной отбойки на эквивалентных материалах.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. В работе впервые исследованы причины отказов детонации скважинных зарядов при взрывании неоднородных по физико-механическим свойствам пород; выдвинута и теоретически обоснована гипотеза о том, что подбой детонирующего шнура (ДШ) обусловлен действием волн напряжений от взрыва заряда предыдущей серии и происходит в результате относительных смещений смежных неоднородных участков в точке пересечения детонирующим шнуром контакта пород; изучена качественная картина проработки подошвы уступа взрывом в зависимости от расположения глинистых карстов в скальном массиве; разработан взрывной патрон для прострелки скважин (для образования котла) с целью улучшения качества проработки подошвы уступа; разработана методика исследований технологии БВР в закарстованных породах на основе математических методов планирования экспериментов и оптимизации процессов с использованием физического моделирования взрывной отбойки перемежающихся пород на эквивалентных материалах.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Результаты проведенных исследований позволяют повысить безотказность взрывания перемежающихся скальных и рыхлых пород и способствует широкому внедрению прогрессивных методов БВР, направленных на значительное снижение качественных и количественных потерь полезного ископаемого, в практику работы предприятий, разрабатывающих месторождения, представленные перемежающимися скальными и рыхлыми породами. Тактический экономический эффект от внедрения результатов исследований на одном карьере составил более 300 тыс. руб. в год.

ПУБЛИКАЦИЯ. По результатам выполненных исследований опубликовано 7 печатных работ.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация изложена на 145 страницах машинописного текста, иллюстрирована 23 рисунками, содержит 20 таблиц, состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы из 113 наименований и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Разработке методов буровзрывных работ, обеспечивающих минимальные потери и разубоживание руды, посвящены труды чл.-корр. АН СССР Агошкова М.И., проф., д.т.н. Адигамова Я.М., Баранова Е.Р., Боголюбова Б.П., Грачева Р.Г., Зуркова П.Э., Юматова Б.П., к.т.н. Байкова Ф.Н., Ермолина Ю.Н., Секисова Г.В., Тангаева И.А., Шарина В.В. и других.

Наиболее перспективными в условиях месторождений с повышенной сложностью строения рудного тела являются методы БВР, направленные на максимальное сохранение первоначальной структуры массива: многорядное короткозамедленное взрывание (МКЗВ) и взрывание на неподобранной забой.

Обзор ранее проведенных работ позволил установить, что в настоящее время отсутствуют какие-либо исследования технологии буровзрывных работ с целью снижения потерь и разубоживания в условиях перемежающихся скальных и рыхлых пород, не проводились экспериментальные и теоретические работы по определению условий возникновения отказов при МКЗВ в закарстованных породах, не изучался вопрос качества проработки подошвы уступа взрывом в этих условиях.

Решению проблемы безотказности взрывания посвящены работы докторов техн. наук Г.П. Демидюка, М.Ф. Друкованого, Ф.И. Кучерявого, В.К. Рубцова, В.М. Комира, Э.И. Ефремова, кандидатов техн. наук Н.И. Дялечкина, И.М. Кадурина, Е.П. Рябченко, В.Л. Борунова и других.

Однако их разработки не касались влияния неоднородности массива на вероятность возникновения отказов.

Нами было установлено, что на Мазульском карьере отказы в большинстве случаев происходят во втором и последующих рядах скважин, взорванных в известняково-глинистых породах, причем количество отказов при взрывании этих пород в 14-20 раз больше, чем при взрывании чистых известняков или эффузивов, выветренных до состояния глин.

Это дало основание предположить, что причиной отказов скважинных зарядов является подбой детонирующего шнура на контакте разнопрочных пород.

В настоящее время у исследователей нет единого мнения о механизме подбоя скважинного заряда при КЗВ. Подбой ДШ часто объясняют действием проникающих по трещинам газов или ударной воздушной волной, считают причиной отказов затухание детонации в заряде из-за его переуплотнения, обусловленного действием волны скатия, относят подбой к периоду интенсивного раскрытия трещин и т.д.

Эти причины могут существовать в определенных условиях, однако авторы, по-разному объясняющие механизм подбоя ДШ в скважине, приводят сведения о структуре месторождения, откуда выясняется, что отказы из-за подбоя ДШ происходят в основном на месторождениях или участках массива, сложенных разнопрочными, или перемежающимися скальными и рыхлыми породами.

На основе большого фактического и экспериментального материала, анализа литературных источников, свидетельствующих о влиянии неоднородности массива на подбой ДШ в скважине, нами предложена гипотеза механизма подбоя детонирующего шнура.

В соответствии с гипотезой подбой ДШ происходит в результате относительных смещений смежных разнопрочных участков массива под действием волн напряжений. При этом детонирующий шнур, расположенный вблизи контакта неоднородных пород, подвергается

деформациям, соответствующим величине и направлению этих смещений.

Время прихода волны напряжений в точку R определяется как

$$t = \frac{1000 R}{C_p} \quad , \text{ мсек} \quad (1)$$

где R - расстояние точки от заряда, м;

C_p - скорость распространения упругой волны, м/сек.

Тогда при обычных параметрах взрывной отбойки на карьерах фронт волны напряжений достигает следующей серии взрываемых скважин через 2-3 мсек, т.е. смещения породы в районе последующих серий взрываемых зарядов начинаются раньше, чем инициирующая детонационная волна с учетом замедления достигнет заряда.

На основе экспериментальных данных о скорости смещений скальных пород в ближней зоне взрыва (рис. I) и приведения относительного расстояния \bar{R} к моменту начала смещений t путем интегрирования скорости

$$w = \int_0^t v(t) dt \quad , \text{ мм} \quad (2)$$

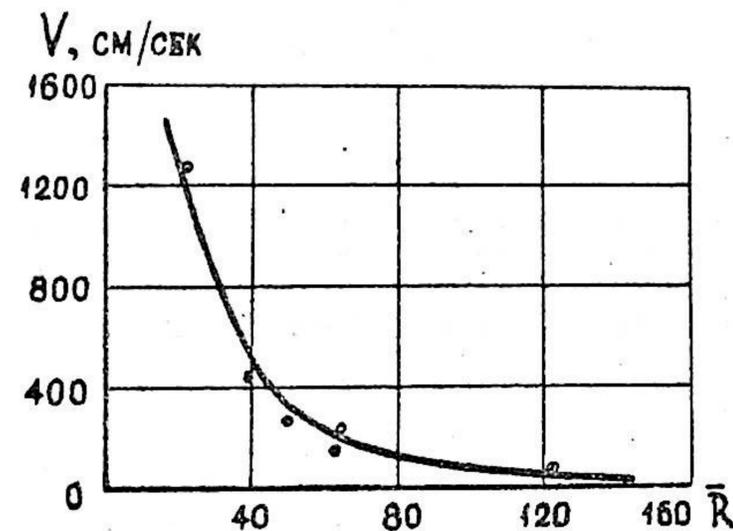


Рис. I. Зависимость скорости смещений породы от относительного расстояния при взрывании скважинных зарядов

определим, что величина смещений w в результате прохождения волны сжатия на расстоянии 7,5 м от заряда может достигать в известняке 20 мм.

Разрыв детонирующего шнура происходит при относительном смещении верхней части уступа вдоль оси ДШ, проложенного в скважине и зажатого забойкой, на 15 мм.

Отсюда однако не следует, что при смещении породы в районе скважины на 15-30 мм должен последовать разрыв ДШ, т.к. относительные смещения смежных точек при взрыве в однородных породах практически будут отсутствовать (рис. 2).

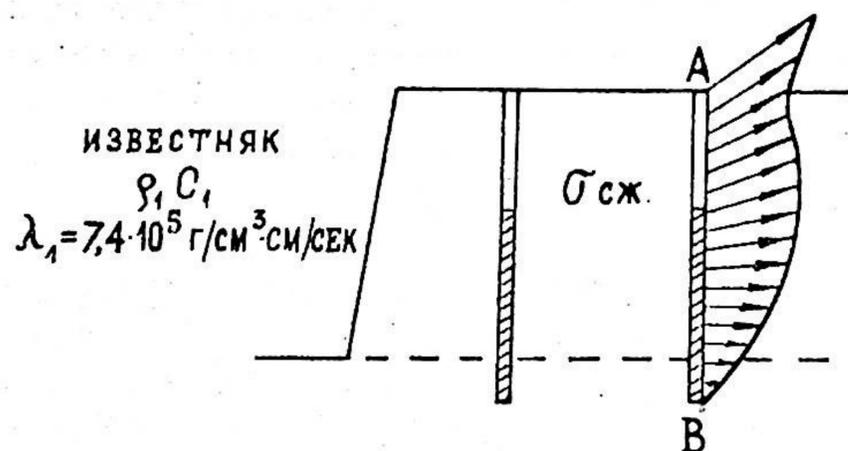


Рис. 2. Эпюра смещений частиц под воздействием волны сжатия при взрыве скважинного заряда в однородных породах

Иная картина наблюдается в случае пересечения скважиной контакта пород с резко отличающимися акустическими свойствами.

Рассмотрим два наиболее характерных случая ориентации глинистых карстов относительно фронта поля напряжений (рис. 3).

Очевидно, что в первом случае разрыв детонирующего шнура $O_2 - O_2$ произойдет в результате сдвиговой деформации участка B_1 относительно B_2 , т.к. волна сжатия, пройдя через среду со значительно меньшей акустической жесткостью ($\lambda_2 = 10^5$ г/см³ · см/сек, $\lambda_1 = 7,4 \cdot 10^5$ г/см³ · см/сек) достигнет

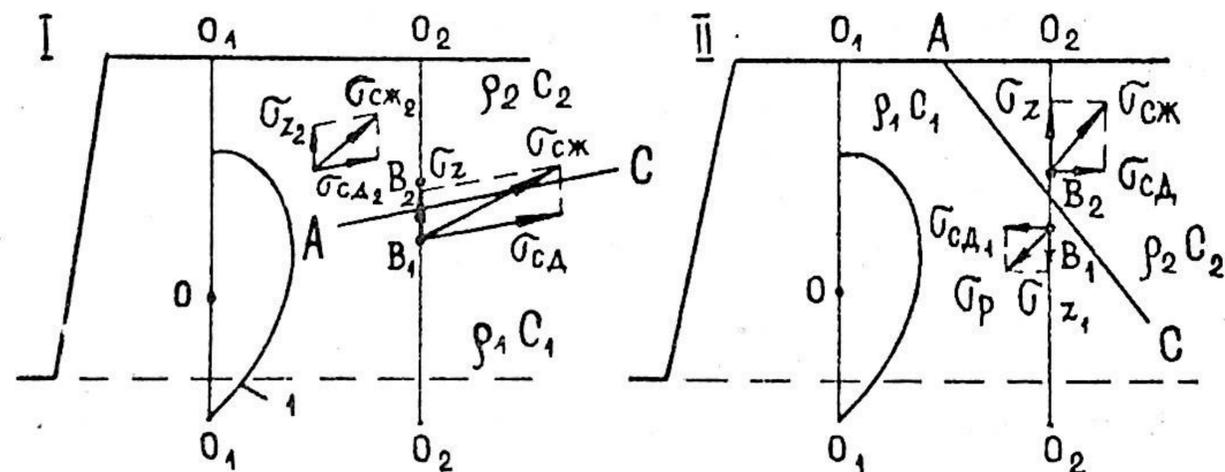


Рис. 3. Схема векторов поля напряжений на контакте сред с резко отличающимися акустическими свойствами: I - граница раздела двух сред расположена перпендикулярно фронту поля напряжений; II - граница раздела сред проходит в плоскости фронта поля напряжений; AC - проекция плоскости раздела сред, B_1, B_2 - элементарные участки контакта, соответственно представляющие среды с λ_1 и λ_2 , 1 - начальное положение фронта поля напряжений

участка B_2 к моменту, когда в B_1 уже завершатся волновые процессы.

Во втором случае волна сжатия, дойдя до границы раздела сред, переходит в среду с λ_2 , при этом значительно снижается скорость волны и увеличивается амплитуда колебаний частиц породы. В то же время отразившаяся от границы полупространства волна сжатия переходит в волну растяжения, вектор напряжений которой σ_p имеет обратное направление.

Именно этот момент синфазного смещения смежных неоднородных участков массива в точке пересечения их детонирующим шнуром является одним из наиболее опасных для растяжения ДШ

$$(\sigma_z + \sigma_{z1}) > \sigma_{z \text{ пред.}}$$

или нарушения его сдвиговой деформацией

$$(\sigma_{сд} + \sigma_{сд1}) > \sigma_{сд \text{ пред.}}$$

С учетом известного положения о том, что величина смещений удваивается у свободной поверхности, увеличиваясь также на контакте со средой, обладающей меньшей акустической жесткостью, относительные смещения могут значительно превысить допустимый предел ДШ на разрыв.

Таким образом, рассмотрение процесса смещений смежных участков на контакте двух сред, обусловленного действием волны напряжений, доказывает возможность относительных деформаций, превышающих предел прочности детонирующего шнура на разрыв в пределах времени прохождения инициирующего импульса через точку контакта.

Однако отказы зарядов согласно гипотезе следует рассматривать не только как результат обрыва ДШ, но и как следствие его перегиба под воздействием сдвиговой деформации в момент прохождения по нему детонационной волны.

Выдвинутая гипотеза объясняет основную долю отказов при МКЗВ на карьерах, сложенных породами с резко отличными акустическими свойствами.

Частными случаями, объясняемыми этой гипотезой, могут быть нарушения ДШ на контакте:

- а) заряда ВВ с отличающейся по плотности забойкой;
- б) монолитной породы и нарушенной предыдущим взрывом (по вертикали) верхней части уступа;
- в) пород с резко отличающейся степенью трещиноватости;
- г) неоднородных пород, пересекаемых магистралью ДШ на поверхности уступа и др.

В производственных условиях были поставлены эксперименты с целью определения максимально допустимых интервалов замедления.

Опыты проводились по усовершенствованной нами известной методике В.К. Рубцова в известняках и известняково-глинистых породах. Исследованиями было подтверждено, что отказы происходят вследствие подбоя детонирующего шнура в скважинах, пробуренных в породах с резко отличающимися физико-механическими свойствами и доказано, что при взрывании известняков по принятым на карьере параметрам отказов скважинных зарядов из-за подбоя не происходит.

В результате обработки экспериментальных данных на ЭВМ "Урал-2" установлена зависимость максимально допустимых интервалов замедления от расстояния между поочередно взрывающимися скважинными зарядами в перемежающихся скальных и рыхлых породах.

Зависимость имеет вид кривой (рис. 4), которая лежит на границе зоны отказов и зоны без отказов и аппроксимируется уравнением

$$\tau = -20,58 + 21,69a - 5,218a^2 + 0,4935a^3, \text{ мсек} \quad (3)$$

где τ - максимально допустимый интервал замедления, мсек;
а - расстояние между поочередно взрывающимися зарядами, м.

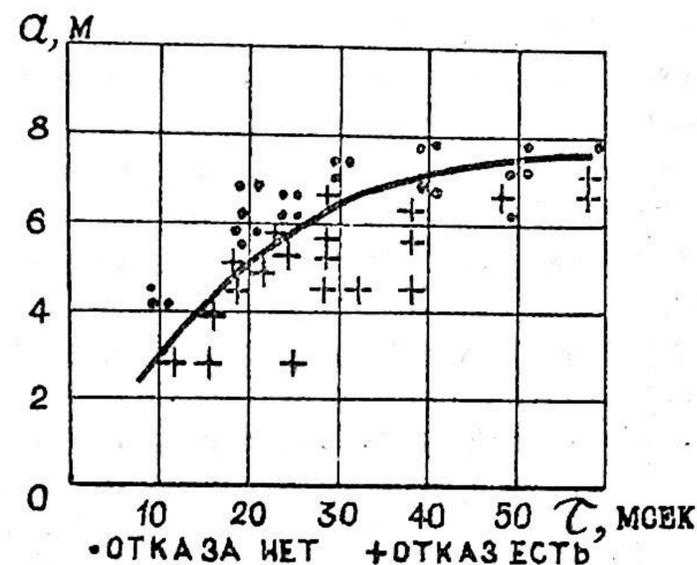


Рис. 4. Зависимость максимально допустимого интервала замедления от расстояния между поочередно взрывающимися зарядами

Использование этой зависимости при монтаже измененных коммутационных схем практически обеспечило безотказность взрывания на карьере.

Проведенными исследованиями установлено, что на качество проработки подошвы уступа взрывом наибольшее влияние оказывают:

- наличие глинистых карстов во взрываемом массиве;
- строение подошвенной части уступа.

В зависимости от ориентации карста в межскважинном пространстве величина и форма образующихся при взрыве порогов различна.

При расположении глины в верхней части уступа после взрыва и отработки блока образуется равномерное по всей площади завывание.

При расположении глины в межскважинном пространстве средней части уступа образуются пороги, имеющие в поперечном сечении форму трапеции, верхняя сторона которой служила "подушкой" глинистого карста, а основания боковых сторон расположены на линиях параллельных рядов скважин. Причина образования таких завываний заключается в том, что скважинные заряды, расположенные впереди карста, не прорабатывают подошву в тыльной части массива, а заряды за карстом, действуя в направлении меньшего сопротивления (в сторону карста) и, частично камуфлируя, не разрушают объем пород, находящийся ниже глинистого включения.

В случае расположения глины в нижней части уступа при недостаточном удельном расходе ВВ небольшие пороги образуются только между карстом и расположенной впереди скважиной.

Взрывами на моделях из эквивалентных материалов с проверкой воспроизводимости опытов в реальных условиях установлены количественные зависимости величины и формы завываний от ориентации трещин в подошвенной части уступа, мощности горизонтальных или слабонаклонных слоев, их расположения относительно нулевой отметки подошвы уступа.

Известно, что качество проработки подошвы уступа определяется прежде всего энергией заряда, сосредоточенного в нижней части взрываемого массива.

С целью увеличения объемной концентрации энергии заряда на уровне подошвы используют ряд способов. Наиболее целесообразно применение котловых зарядов.

Взрывной способ образования "котлов" основан на взрывании прострелочного заряда сплошной конструкции. Наибольшее применение он нашел в породах, характери-

зующихся высокой вязкостью и небольшой крепостью. Достоинства этого способа в простоте и доступности для любого предприятия, ведущего взрывные работы.

Однако существенным недостатком его является нарушение целостности стенок скважины при прострелке, приводящее зачастую к потере скважины или уменьшению объема котловой выемки, а также недостаточно эффективное использование энергии взрыва прострелочного заряда.

Нами разработан взрывной патрон для прострелки скважин. Он состоит из эластичной оболочки, заполненной водой, на наружной поверхности которой размещен заряд ВВ.

Идея создания взрывного патрона заключается в следующем: при прострелке скважины обычными зарядами отношение высоты заряда H к его диаметру D как правило меньше единицы

$$\frac{H}{D} < 1 \quad (4)$$

В этом случае производительно используется только энергия части заряда, непосредственно прилегающей к стенкам скважины. Остальная же часть энергии переходит в среду, обладающую меньшей плотностью (забойка или воздух) и в дальнейшем идет на разрушение стенок скважины в верхней ее части.

Заполнение внутренней части заряда водой искусственно увеличивает длительность импульсивной нагрузки энергии заряда ВВ.

Условием повторного нагружения разрушаемого объекта отраженной от гидрозкрана волной является соотношение

$$\frac{M}{m} \leq \frac{2K}{K+1} \left[2^{\frac{K+1}{2(K-1)}} - 1 \right], \quad (5)$$

где m - масса ВВ;

M - масса метаемого жидкого тела;

K - показатель изэнтропы (для штатных ВВ $K = 3$).

Тогда при соотношении

$$\frac{M}{m} > \frac{2}{3} \quad (6)$$

разрушение объекта происходит не только за счет волны сжатия и растяжения, образующихся при взрыве заряда ВВ, но и за счет дополнительных напряжений волнами, отраженными от гидрозюрана.

С другой стороны, наличие полости с водой увеличивает продолжительность воздействия продуктов взрыва на массив.

Таким образом, конструкция предложенного заряда основана на комплексном использовании различных эффектов и отвечает теоретическим представлениям о наиболее полном и рациональном использовании энергии взрыва заряда ВВ при образовании камуфлетной полости.

На основании сравнения показателей прострелки скважин зарядами обычной конструкции и с помощью взрывного патрона установлено, что основной критерий эффективности прострелки скважин, — показатель простреливаемости, при использовании предложенного устройства в среднем в 4,5 раза выше, чем при обычных прострелочных зарядах, или, соответственно, во столько же раз ниже расход ВВ на прострелку.

Использование новой конструкции прострелочного заряда позволяет вести прострелочные работы без потерь скважин.

С целью улучшения качества проработки подошвы уступа в приконтактной зоне переложенных глин разработан способ определения рациональной глубины скважин.

Сущность способа и разработанной на его основе номограммы заключается в том, что перебур скважины задается в зависимости от мощности известняка в уступе с таким расчетом, чтобы заряд ВВ полностью находился в известняке.

С целью уточнения литологии забоев и сокращения количества скважин, пройденных в глинистых породах, производилось разведочное бурение по сетке, превышающей вдвое сетку взрывных скважин. Разведочные скважины, пересекающие известняк в пределах высоты уступа, бурились с перебором, определенным по номограмме и использовались как взрывные. В местах выхода известняка между разведочными скважинами задавались дополнительные взрывные скважины.

Таким образом с предварительным бурением разведочных скважин удалось сократить удельный расход бурения по сравнению со сплошным обуриванием блоков по принятой до исследований сетке скважин в этой зоне на 35,0%.

Разработка рациональной технологии буровзрывных работ в карстованных породах основана на применении одного из методов отыскания математического описания и оптимизации технологических процессов, в частности, метода Бокса-Уилсона.

В качестве существенных управляемых приняты факторы, оказывающие наибольшее влияние на трансформацию массива при взрывной отбойке горных пород, показатель которой, — коэффициент деформации взорванного блока K_d , является параметром оптимизации:

X_1 — количество рядов скважин в блоке, n ;

X_2 — интервал замедления между рядами, τ мсек;

X_3 — состояние откоса уступа — взрывание на неубранную горную массу или на открытый забой;

X_4 — удельный расход ВВ, q кг/м³.

Не нарушая скалярности критерия оптимальности, второй по значению показатель, определяющий качество взрыва, — степень проработки подошвы уступа, выражаемая в абсолютной величине среднего завывшения подошвы по блоку h , принят в качестве ограничения.

Реализация матрицы планирования эксперимента согласно выбранному методу исследований в производственных условиях нецелесообразна по следующим причинам.

1. Планируемые в матрице опыты не гарантируют получение положительных результатов, поскольку параметры некоторых взрывов находятся за диапазоном применяемых на предприятии.

2. Затрудняется замер некоторых элементов качественно разнородных масс в развале в процессе экскавации.

3. Обязательным условием применения метода Бокса-Уилсона является воспроизводимость эксперимента. Большой "шумовой эффект" при проведении слитов в несопоставимых условиях карьера значительно снижает воспроизводимость процесса.

Поэтому планируемые в матрице опыты проводились в лабораторных условиях с использованием разработанной нами методики моделирования взрывной отбойки перемежающихся скальных и рыхлых пород на эквивалентных материалах, что позволило значительно сократить сроки проведения экспериментальных работ и снизить их стоимость, уменьшить число неуправляемых факторов и получать достаточно воспроизводимые результаты.

Поскольку расположение карстовых глин в массиве чрезвычайно разнообразно, для исследований приняты типичные случаи строения взрывааемых блоков, наиболее полно представляющие многообразие геологических ситуаций.

В табл. I показаны параметры взрывной отбойки в натуре и на модели для одного из вариантов.

Таблица I
Параметры взрывной отбойки

Параметры	Ед. изм.	Натура	Модель
Линейный масштаб		I	I : 40
Высота уступа	м	10	0,25
Глубина скважин	м	12	0,30
Перебур	м	2	0,05
Объемный вес пород	т/м ³	2,63	2,63
Предел прочности при сжатии	кг/см ²	1180	29,5
Предел прочности при растяжении	кг/см ²	93,2	2,33
Удельный расход ВВ	кг/м ³	0,35-0,45	-
Вес заряда		197-254 (кг)	1,72-2,2 (г)
Диаметр скважины	мм	245	4,4
Длина заряда	м	4,6-5,9	0,113-0,146
Интервал замедления	мсек	20-40	3,2-6,4
Расстояние между скважинами	м	7,5	0,187
Расстояние между рядами	м	7,5	0,187
Ширина навала по подошве уступа	м	12	0,3

Результаты опытов при реализации матрицы планирования для этого случая представлены в табл. 2.

Таблица 2
Планирование эксперимента и результаты опытов

Факторы	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂
	П	Σ	сост. откоса	Q	K _g	h
Единица измерения		мсек		кг/м ³	%	см
Основной уровень		30		0,40		
Шаг варьирования		10		0,05		
Верхний уровень	3	40	чистый	0,45		
Нижний уровень	2	20	с навалом	0,35		
I	-	-	-	-	41,0	0,4
ДФЭ	+	-	-	+	44,2	0
типа	-	+	-	+	51,0	0
П-I	+	+	-	-	34,3	0,5
2	-	-	+	+	69,2	0
	+	-	+	-	57,3	0,2
	-	+	+	-	61,5	0,3
	+	+	+	+	65,0	0
Дублированные опыты	-	+	-	+	48,0	0
	-	-	+	+	68,5	0
Σ X _i Y _j	-21,7	+0,1	+72,5	+25,3		
b _i	-2,71	+0,01	+9,06	+3,16	51,7	
Σ X _i Y _j	0	+0,2	-0,4	-1,4		
b _i	0	+0,02	-0,05	-0,17		0,17
I шаг по градиенту	3	30	-	0,44	42,0	0
П шаг по градиенту	3	30	-	0,43	41,2	0,1

С целью исключения систематической ошибки проводилась рандомизация эксперимента.

Для параметра оптимизации и ограничения получены уравнения связи

$$Y_1 = 51,7 - 2,71 X_1 + 0,12 X_2 + 9,09 X_3 + 3,16 X_4 \quad (7)$$

$$Y_2 = 0,17 + 0,02 X_2 - 0,05 X_3 - 0,17 X_4 \quad (8)$$

Статистическая оценка уравнений доказала однородность дисперсии воспроизводимости и адекватность полученных математических моделей.

Проведение шагов по градиенту и интерпретация математического описания процесса позволили получить оптимальные параметры буровзрывных работ для каждого рассматриваемого случая.

Для оперативного определения параметров взрывной отбойки в зоне элювиально-карстовых глин на основании полученных уравнений связи разработаны номограммы.

Проверка результатов исследований в производственных условиях подтвердила высокую воспроизводимость лабораторных экспериментов при переносе их в натурные условия, что говорит о возможности разработки рациональной технологии БВР еще на стадии проектирования предприятия или в начальный период эксплуатации карьера.

В целом разработка рациональной технологии буровзрывных работ с учетом исследований по обеспечению безотказности взрывания и улучшению качества проработки подошвы уступа позволила внедрить прогрессивные методы взрывания в закарстованных породах карьера и значительно снизить потери полезного ископаемого.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Внедрение прогрессивных методов взрывания, применяемых с целью снижения потерь полезного ископаемого на ряде предприятий, разрабатывающих закарстованные или перемежающиеся скальные и рыхлые породы, сдерживается в связи с повышенной опасностью возникновения отказов скважинных зарядов и низким качеством проработки подошвы уступа, со сложностью обнаружения многочисленных карстов в массиве полезного ископаемого, а также с отсутствием научно обоснованных технологических схем взрывных работ при разработке месторождений подобного типа.

2. Экспериментальными исследованиями установлено, что основная причина отказов заключается в подбое детонирующего шнура в скважине. Выдвинута и теоретически обоснована гипотеза о том, что подбой ДШ обусловлен действием волн напряжений от взрыва заряда предыдущей серии и происходит в результате отно-

сительных смещений смежных неоднородных участков в точке пересечения детонирующим шнуром контакта пород.

3. Установлена зависимость максимально допустимых интервалов замедления от расстояния между скважинами для пород с резко отличающейся акустической жесткостью ($\lambda_1 = 7,4 \cdot 10^5$ г/см³ х см/сек, $\lambda_2 = 10^5$ г/см³ · см/сек) и разработаны схемы монтажа взрывной сети, исключаящие подбор скважинных зарядов.

4. Установлены причины образования завывшений по подошве уступа и разработаны способы их предупреждения. В частности, разработан и испытан в условиях Мазульского карьера взрывной патрон для прострелки скважин с целью образования котловых выемок, применение которого увеличивает показатель простреливаемости в 4,5 раза по сравнению с обычным прострелочным зарядом. По данному техническому решению получено авторское свидетельство на изобретение.

5. Разработана рациональная технология буровзрывных работ при отбойке закарстованных пород на основе использования математического метода планирования экспериментов и оптимизации процессов (метод Бокса-Уилсона) и физического моделирования.

Исследованиями подтверждена идентичность условий взрывания, необходимых для максимального сохранения первоначальной структуры массива как в скальных, так и в резко отличающихся по своим физико-механическим свойствам породах.

6. Для определения величины перебура и веса заряда при отработке контакта зоны переотложенных глин с выходами известняка разработана номограмма, учитывающая высоту уступа и глубину залегания известняка. Для уточнения литологии сложных забоев и снижения удельного расхода бурения в этой зоне обуривание блока целесообразно производить в две очереди.

7. Результаты выполненных исследований внедрены на Мазульском карьере АК с годовым экономическим эффектом более 300,0 тыс. руб. и могут быть использованы на других карьерах с аналогичными горногеологическими условиями, а также на карьерах, повторно разрабатывающих месторождения после частичной их отработки подземными горными работами.

Материалы по диссертации докладывались: на конференции молодых ученых и специалистов в Красноярском институте цветных металлов им. М.И. Калинина, на I Всесоюзном научно-техническом совещании по отказам детонации взрывчатых веществ на открытых разработках в г. Кривом Роге, на научно-техническом семинаре "Горение и взрыв" ЦНТИ цветной металлургии в г. Красноярске, в Ачинском глиноземном комбинате, на горногеологической секции НТС Института Сибцветметниипроект в г. Красноярске, на научно-методических семинарах и заседании Ученого Совета Института физики и механики горных пород АН Киргизской ССР.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Совершенствование технологии буровзрывных работ на Мазульском карьере. - В кн.: "Совершенствование технологии горных работ". Красноярск, 1969 (соавтор Кауфман И.А.).

2. Некоторые особенности короткозамедленного взрывания на карьерах со сложными горногеологическими условиями. - "Науч. тр. ин-та Сибцветметниипроект", вып. 2, Красноярск, 1969 (соавторы Савватеев В.Ф., Ромашенко М.Т.).

3. Пути улучшения качества взрывов при отбойке закарстованных пород. - В кн.: "Вопросы комплексной механизации вспомогательных работ на карьерах Красноярского края", Красноярск, 1969 (соавторы Савватеев В.Ф., Ромашенко М.Т.).

4. К вопросу оптимизации буровзрывных работ на стадии проектирования. - В кн.: "Совершенствование технологии добычи и переработки руд цветных металлов", Красноярск, 1971 (соавтор Кауфман И.А.).

5. Об отказах скважинных зарядов в перемежающихся скальных и рыхлых породах. - В кн.: "Отказы детонации взрывчатых веществ на открытых разработках" (материалы I Всесоюзного научно-технического совещания", Кривой Рог, 1970), Киев, "Наукова думка", 1972.

6. Исследование и опыт взрывной отбойки закарстованных горных пород. - В кн.: "Вопросы добычи и переработки руд цветных металлов", Красноярск, 1974 (соавтор Кауфман И.А.).

7. Взрывной патрон для прострелки скважин. Авторское свидетельство. Кл. Е21с 37/12 № 414893 (соавторы: Папушин Р.Б., Кауфман И.А., Ромашенко М.Т.).