

6  
А 66

*В. И.*

Министерство высшего и среднего специального образования СССР  
МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

---

*На правах рукописи*

Горный инженер Д. С. ПОДОЗЕРСКИЙ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВЗРЫВА  
ПРИ СКВАЖИННОЙ ОТБОЙКЕ РУД**

(на примере подземных рудников комбината «Апатит»)

Специальность 05.311 — «Подземная разработка  
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных месторождений»

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



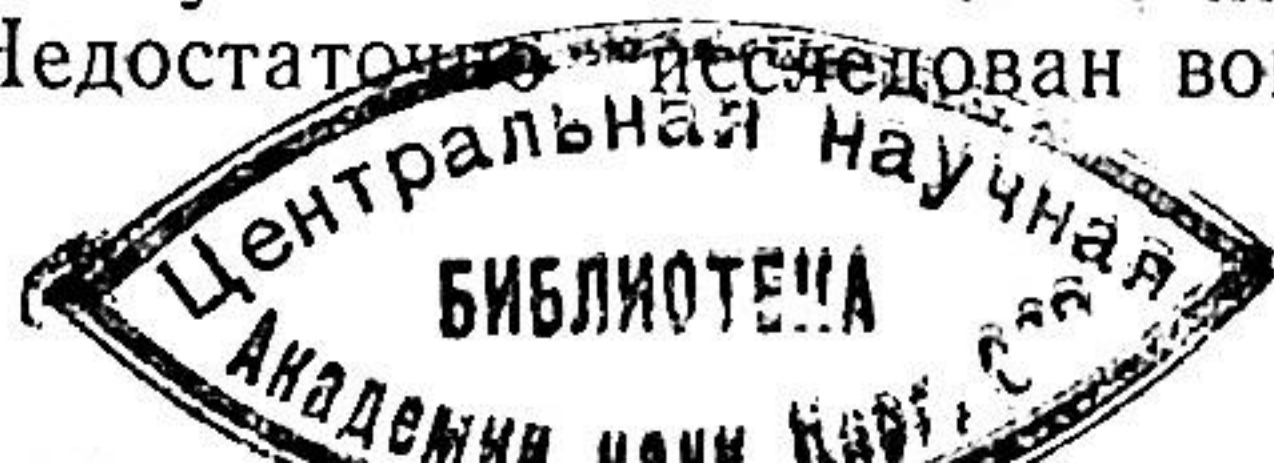
## ВВЕДЕНИЕ

В Программе КПСС уделяется большое внимание развитию горнодобывающей промышленности, в частности горнохимической, поставляющей сырье для производства минеральных удобрений.

Важное место в поставке минерального сырья занимают подземные рудники ордена Ленина комбината «Апатит», разрабатывающие уникальное месторождение апатито-нефелиновых руд, где ежегодно добываются десятки миллионов тонн руды. В условиях рудников комбината и других рудников страны, разрабатывающих мощные месторождения системами с массовым обрушением, основным препятствием к повышению объемов добычи является неудовлетворительное качество дробления руды при отбойке, определяющее высокую трудоемкость ее выпуска и вторичного дробления. В этой связи задача совершенствования параметров буро-взрывных работ на основе выявления оптимальных условий использования энергии взрыва на дробление горных пород безусловно актуальна.

Практика ведения буро-взрывных работ как в СССР, так и за рубежом показывает, что вскрытие потенциальных резервов при различных способах отбойки осуществляется преимущественно путем оптимизации соотношений (согласования) между величинами зарядов и глубинами их заложения во взрывае-мых массивах (ЛНС), обеспечивающих наилучшее использование энергии взрыва на дробление в конкретных горнотехнических условиях.

В то же время, несмотря на большие теоретические и экспериментальные исследования в этой области, методы расчета параметров буро-взрывных работ основаны главным образом на применении эмпирических зависимостей, дающих удовлетворительные результаты применительно к конкретным условиям. Между тем задача улучшения качества дробления требует общего подхода к решению указанного вопроса, возможного лишь на основе изучения процесса разрушения среды под воздействием взрывных нагрузок, который исследован недостаточно полно. Так, сравнительно мало исследовано влияние параметров взрывного импульса на механизм и интенсивность разрушения среды. Недостаточно исследован вопрос о пере-





распределении энергии взрыва между полезной работой (на дробление среды) и потерями энергии на образование сейсмических и ударно-воздушных волн, а также процессы, происходящие при взрыве вблизи свободной поверхности. Вследствие этого нет достаточной ясности в вопросах выбора необходимого удельного расхода ВВ и величин ЛНС при скважинной отбойке руд, обеспечивающих удовлетворительное качество дробления массива.

Настоящая работа посвящена исследованию эффективности использования энергии взрыва на основе изучения физической сущности и механизма разрушения среды.

При решении поставленной задачи использованы методы обобщения теории и практики взрывных работ, теоретических исследований, экспериментальных исследований на моделях и в производственных условиях, технико-экономического анализа.

Эксперименты на моделях выполнены автором в лаборатории подземной разработки недр Горнометаллургического института Кольского филиала АН СССР, опытные взрывы в натуральных условиях проведены на Расвумчоррском и Кировском рудниках комбината «Апатит».

Диссертационная работа объемом 144 страницы машинописного текста с 21 таблицей и 33 рисунками состоит из введения, четырех глав, заключения и перечня литературы из 108 наименований.

## Глава I. Обоснование и постановка задач исследований

В данной главе на основе анализа результатов исследований, посвященных выбору рациональных параметров взрывной отбойки, существующих способов повышения эффективности использования энергии взрыва и опыта ведения взрывных работ при подземной разработке апатито-нефелиновых руд, проводится обоснование и постановка задач исследований.

В главе дан краткий анализ существующих гипотез разрушения горных пород и основанных на них методов выбора параметров буро-взрывных работ. Показано, что применяемые для расчета зависимости носят преимущественно эмпирический характер. Это не позволяет оптимизировать параметры скважинной отбойки на основе максимального использования энергии взрыва на дробление среды.

В настоящее время в работах Е. Г. Баранова, Л. И. Барона, Ф. А. Баума, Д. М. Бронникова, Г. П. Демидюка, М. Ф. Друкованого, В. Р. Именитова, Ф. И. Кучерявого, Б. Н. Кутузова, Н. В. Мельникова, Л. А. Марченко, Э. О. Миндели, В. Н. Мосинца, Г. И. Покровского, А. Ф. Суханова, М. Д. Фугзана, А. Н. Ханукаева, Н. А. Евстропова и др., а также в работах зарубежных исследователей разработаны и на-

учно обоснованы различные способы управления энергией взрыва, основанные на изменении временных и силовых характеристик взрывного импульса и условий взрывания. Вместе с тем в этих исследованиях указывается на недостаточную изученность и необходимость практической проверки ряда положений, к которым в первую очередь относится вопрос о взаимосвязи величины ЛНС с параметрами взрывного импульса и интенсивностью разрушения среды. Наличие такой взаимосвязи подтверждено приведенными в главе теоретическими и экспериментальными данными. На конкретных примерах показано, что изменение величины ЛНС и параметров взрывного импульса (величины заряда ВВ) может привести к перераспределению энергии взрыва между полезными затратами и потерями на образование сейсмических и ударно-воздушных волн. Это говорит о возможности дальнейшего совершенствования методики расчета параметров буро-взрывных работ на базе исследований, вскрывающих физическую природу явления согласования параметров взрывного импульса с ЛНС.

В главе на основании анализа особенностей геологического строения апатито-нефелиновых месторождений и состояния буро-взрывных работ при их разработке показано, что оптимизация параметров скважинной отбойки, основанная на максимальном использовании энергии взрыва на дробление, позволит создать необходимые предпосылки для улучшения технико-экономических показателей системы этажного принудительного обрушения. Это возможно за счет улучшения качества дробления и снижения затрат на выпуск отбитой руды, которые при отработке апатито-нефелиновых месторождений достигают 30—40% общих затрат при очистной выемке.

С учетом вышеизложенного в работе поставлены следующие основные задачи:

1. Оценка влияния параметров взрывного импульса на интенсивность разрушения среды;
2. Исследование распределения энергии взрыва и эффективности разрушения среды при изменении ЛНС;
3. Обоснование выбора рациональных параметров буро-взрывных работ на основе принципа максимального использования энергии взрыва на дробление;
4. Экспериментальные исследования параметров скважинной отбойки в производственных условиях.

## Глава II. Влияние параметров взрывного импульса на интенсивность разрушения среды при отбойке

Обобщение современных представлений о взрыве заряда вблизи свободной поверхности и анализ экспериментальных данных, приведенный в предыдущей главе, позволяют предпо-



ложить существование взаимосвязи между параметрами взрывного импульса, величиной ЛНС и интенсивностью разрушения среды при отбойке. В задачи настоящей главы входят изучение физической сущности влияния величины взрывного импульса и ЛНС на результирующее действие взрыва, а также установление расчетных зависимостей, описывающих эту взаимосвязь на базе аналитических решений и экспериментальных исследований.

Аналитические решения, приведенные в главе, показали, что если расстояние между зарядом и свободной поверхностью соответствует целому числу полуволн, то взрываеваемый массив будет испытывать максимальные деформации в направлении отбойки, что будет способствовать его интенсивному дроблению.

Для экспериментальной проверки теоретических предпосылок о возможности интенсификации дробления среды в случае, когда расстояние между зарядом и свободной поверхностью равно целому числу полуволн, были проведены эксперименты.

Исследование процесса разрушения среды проводилось на основе метода моделирования параметров взрывной волны на стержнях из органического стекла и специальной линейной модели в средах с малой акустической жесткостью. Регистрация импульсов при взрывах производилась с помощью пьезоэлектрических датчиков, располагаемых в среде и на свободной поверхности на одном уровне с зарядом. Для контроля параметров волны напряжений использовались также турмалиновые и сульфатлитиевые датчики. При этом определение параметров взрывного импульса осуществлялось по методу преломленной волны. Для согласования сопротивления датчика с входом осциллографа применялся катодный повторитель, а для снижения уровня помех — антивибрационный кабель марки АВК.

При взрывании стержней из органического стекла толщиной 10 мм и шириной 20 мм на одном из его концов укреплялся плоский заряд тэна весом 0,5 г, а на другом — инерционный пьезоэлектрический датчик. Длина стержней менялась от 8 до 38 см. Скорость продольной волны в стержнях определялась перед взрывом заряда на ультразвуковых установках типа УКБ-1 и ИПА-59. Скорость отрыва первого куска под действием волны напряжений определялась на катодном осциллографе по моментам разрыва двух перемычек электрических цепей, помещенных непосредственно перед концом стержня.

Результаты проведенных экспериментов (табл. 1) показали, что скорость отрыва первого куска и изменение амплитуды сжимающих напряжений с увеличением длины стержня уменьшаются по гиперболической зависимости, в то время как размеры зоны откольного разрушения являются периодической

функцией отношения расстояния между зарядом и свободной поверхностью к длине волны.

Таблица 1

Влияние длины волны и расстояния между зарядом и свободной поверхностью на интенсивность откольных разрушений

Общая длина стержня $l_{\text{общ}}, \text{ см}$	Скорость отрыва первого куска, $\text{ м/сек}$	Длина волны $\lambda, \text{ см}$	Отношение длины стержня к длине волны, $\frac{l_{\text{общ}}}{\lambda}$	Длина зоны откола $l_{\text{отр}}, \text{ см}$	Число кусков в зоне откола, шт.
8	166,5	5,94	1,35	2,4	1
10,0	122,8	6,78	1,47	2,6	2
12,0	102,6	6,95	1,73	2,4	1
14,0	82,2	7,10	1,97	4,4	2
16,0	63,5	7,24	2,21	2,4	1
18,0	54,7	7,46	2,41	3,3	1
20,0	49,0	7,62	2,62	5,9	2
22,0	46,9	7,72	2,85	6,9	2
24,0	39,2	8,10	2,96	8,6	3
26,0	32,1	8,67	3,00	9,1	2
28,0	30,2	9,41	2,98	7,0	2
30,0	27,2	10,34	2,30	5,8	1
32,0	26,2	11,70	2,74	6,2	2

Анализ экспериментальных данных позволил установить, что наибольший эффект разрушения среды имеет место, если в расстоянии от заряда до свободной поверхности укладывается целое число полуволн.

Взрывы в средах с малой акустической жесткостью также подтвердили взаимосвязь длины взрывного импульса и величины ЛНС с интенсивностью дробления среды. Эксперименты проводились на специальной линейной модели диаметром 66 мм, заполненной апатитовой рудой крупностью 0—5 мм. Для контроля плотности руды по высоте модели до и после взрыва использовался радиоактивный плотномер ПЖР 2 м, принцип действия которого основан на поглощении пучка гамма-излучения при прохождении им слоя вещества. При взрывании капсуля детонатора № 8 на расстоянии от 5 до 25 см от поверхности руды определялась эффективная длина волны и замерялось количество отбитой руды. Эксперименты показали, что и в средах с малой акустической жесткостью наибольший объем отбитой руды соответствовал условию максимальных деформаций среды, когда ЛНС была равна целому числу полуолн.

На основе этих результатов в главе показана возможность повышения использования доли энергии взрыва на дробление



среды за счет рационального использования энергии взрывного импульса и уменьшения ее потерь.

Исходя из условия максимальных деформаций массива в направлении отбойки  $\frac{\lambda_{эф}}{2} = W$  ( $\lambda_{эф}$  — длина волны,  $W$  — ЛНС), можно найти те значения расстояний от заряда до свободной поверхности, которые соответствуют этому положению.

По данным замера длин волн и скоростей их распространения в апатитовых рудах величина ЛНС при скважинной отбойке может быть определена по формуле:

$$W = \frac{\bar{\tau}_{эф} \cdot C_p \cdot R_0 \cdot 10^{-3}}{2}, \text{ м}, \quad (45)$$

где  $\bar{\tau}_{эф}$  — эффективная длительность волны напряжений, приведенная к заряду радиуса  $R_0$ , мсек/м;

$C_p$  — скорость распространения в среде волны напряжений, м/сек.

На основании теоретических и экспериментальных данных в главе показано, что при многократном инициировании скважинного заряда, когда частота инициаторов, расположенных по его длине, равна частоте колебаний взрывающегося участка, интенсивность дробления горных пород может быть существенно увеличена. При зарядании скважин взрывчатыми веществами, которые не инициируют от детонирующего шнура (ДШ), или при создании таких условий для определения количества инициаторов предлагается формула:

$$n = \frac{l_{зар} \cdot C_p (D_{ВВ} + D_{ДШ})}{4W \cdot D_{ВВ} \cdot D_{ДШ}} + 1, \quad (48)$$

где  $l_{зар}$  — длина заряда в скважине, м;

$D_{ВВ}$  — скорость детонации заряда, м/сек;

$D_{ДШ}$  — скорость детонации ДШ, м/сек.

Если инициирование зарядов в скважине возможно без ДШ, то общее количество промежуточных инициаторов рекомендуется определить как

$$n = \frac{C_p \cdot l_{зар}}{4W \cdot D_{ВВ}} + 1. \quad (49)$$

Для проверки полученных зависимостей были проведены экспериментальные взрывы с различным числом инициаторов, которые подтвердили, что выбор необходимого числа точек инициирования по длине заряда из условий максимальных деформаций среды приводит к значительному снижению выхода негабаритных фракций и уменьшению диаметра среднего куска.

В результате проведенных исследований установлено, что максимальные деформации среды имеют место, когда величина ЛНС кратна целому числу полуволн. При этом интенсивность дробления среды возрастает в связи с увеличением доли энергии взрыва, расходуемой на дробление. Многократное инициирование скважинного заряда с частотой взрывания инициаторов, равной частоте колебаний взрывающегося участка, также ведет к улучшению качества дробления горных пород.

### Глава III. Исследование распределения энергии взрыва при изменении ЛНС и выбор рациональных параметров буро-взрывных работ

В главе излагаются результаты теоретических и экспериментальных исследований закономерностей распределения энергии взрыва в массиве и определяется условие согласования заряда ВВ с ЛНС. Исходя из этого условия, обосновывается выбор оптимальных значений удельного расхода ВВ при скважинной отбойке апатито-нефелиновых руд.

В соответствии с принципом Гопкинсона доказано, что когда величина ЛНС равна половине длины волны, количество движения, захваченное головной частью импульса, будет наибольшим. Это приводит к накоплению в отбиваемом участке максимального запаса упругой энергии, способствуя тем самым повышению качества его дробления. Если ЛНС меньше оптимальных значений, относительная доля энергии взрыва, затрачиваемая на дробление породы, уменьшается. При большей ЛНС недостаточная разгрузка массива в направлении отбойки не только ухудшает качество его дробления, но и приводит к возрастанию сейсмического эффекта. Указанные закономерности характерны как для взрывов на свободную поверхность, так и для отбойки руды в зажиме, когда влияние зажимающей среды сказывается на уменьшении доли энергии, отраженной от границы двух сред.

Для проверки указанных положений были проведены эксперименты. Исследования передачи энергии проводились через стальные стержни переменной длины ( $l=40-170$  мм,  $d=10$  мм), на одном из концов которых помещались плоские заряды тэна весом 0,150 и 0,250 г. Во второй серии опытов единичные ударные нагрузки создавались при сбрасывании с постоянной высоты ударника длиной 180 мм на стержни переменной длины ( $l=273-620$  мм,  $d=25$  мм). Определение скорости распространения продольной волны в стержнях и блоке оргстекла проводилось на ультразвуковых приборах УКБ-1 и ИПА-59.

Регистрация параметров импульса, перешедшего из стержня в блок, осуществлялась пьезоэлектрическим датчиком, размещенным в оргстекле под поверхностью контакта. Из соотно-



шения акустических жесткостей стали и оргстекла был найден коэффициент отражения по энергии, близкий по величине к его значениям, определенным в натуральных условиях при отбойке руды в зажиме (В. Р. Именитов, Н. В. Плакса).

Результаты двух серий экспериментов (рис. 1) свидетельствуют о наличии четко выраженных максимумов напряжений при согласовании параметров взрывного импульса с ЛНС. Анализ параметров импульсов показывает, что если вначале при увеличении ЛНС значения максимальных напряжений на границе двух сред уменьшаются по зависимости, близкой к экспоненциальной, то при равенстве ЛНС и произведения времени нарастания напряжений до максимума на скорость звука в стержне происходит увеличение максимальных напряжений. В точках максимума ( $W=12-13$  см) напряжения на 25—30% превышают их значения, полученные при ЛНС больше или меньше оптимальных. Аналогичная зависимость обнаружена и при ударных нагрузках. В оптимальной области длин ЛНС возрастают и абсолютные значения импульса.

В натуральных условиях определение скорости распространения волн напряжений в среде производилось путем регистрации упругих колебаний с помощью сейсмоприемников СПМ-16 и осциллографа Н-102. Источником возбуждения упругих колебаний в массиве служил взрыв заряда ВВ весом 0,2 кг. Расчет скорости звука в среде производился по моментам первых вступлений. В результате проведенных экспериментов было установлено, что определение скорости распространения упругих волн в массиве с помощью сейсмоприемников обеспечивает удовлетворительную точность только при достаточно больших базах между ними. Если расстояния между приемниками малы, то точность метода значительно снижается. Для определения скорости распространения волны напряжений в пределах разрушаемого слоя был применен ультразвуковой метод с использованием импульсных приборов типа ИКЛ-5, ИПА-59 и УКБ-1, которые обеспечивают значительно большую точность измерений. В качестве излучателей и приемников использовались пьезоэлектрические датчики, конструкция которых позволила производить измерения в шпурах и скважинах вне нарушенной зоны. Проведенные исследования позволили установить, что в условиях напряженного состояния взрываемого участка, обусловленного горным давлением, влияние трещиноватости массива на скорость распространения упругих волн сказывается незначительно.

По известной скорости распространения волн напряжений и длительности нарастания напряжений в импульсе до максимума для конкретных типов апатитовых руд были найдены значения ЛНС, удовлетворяющие условиям согласования их с зарядом ВВ.

Эта зависимость для рассматриваемых условий имеет вид

$$W = \frac{31,8 \cdot C_p \cdot R_0 \cdot \rho_1^{\frac{1}{2}}}{(C_p - 2170) \cdot \rho_0^{\frac{1}{2}}}, \text{ м}, \quad (73)$$

где  $\rho_0$  и  $\rho_1$  — соответственно расчетная и фактическая плотность заряжения,  $\text{кг/дм}^3$ ;

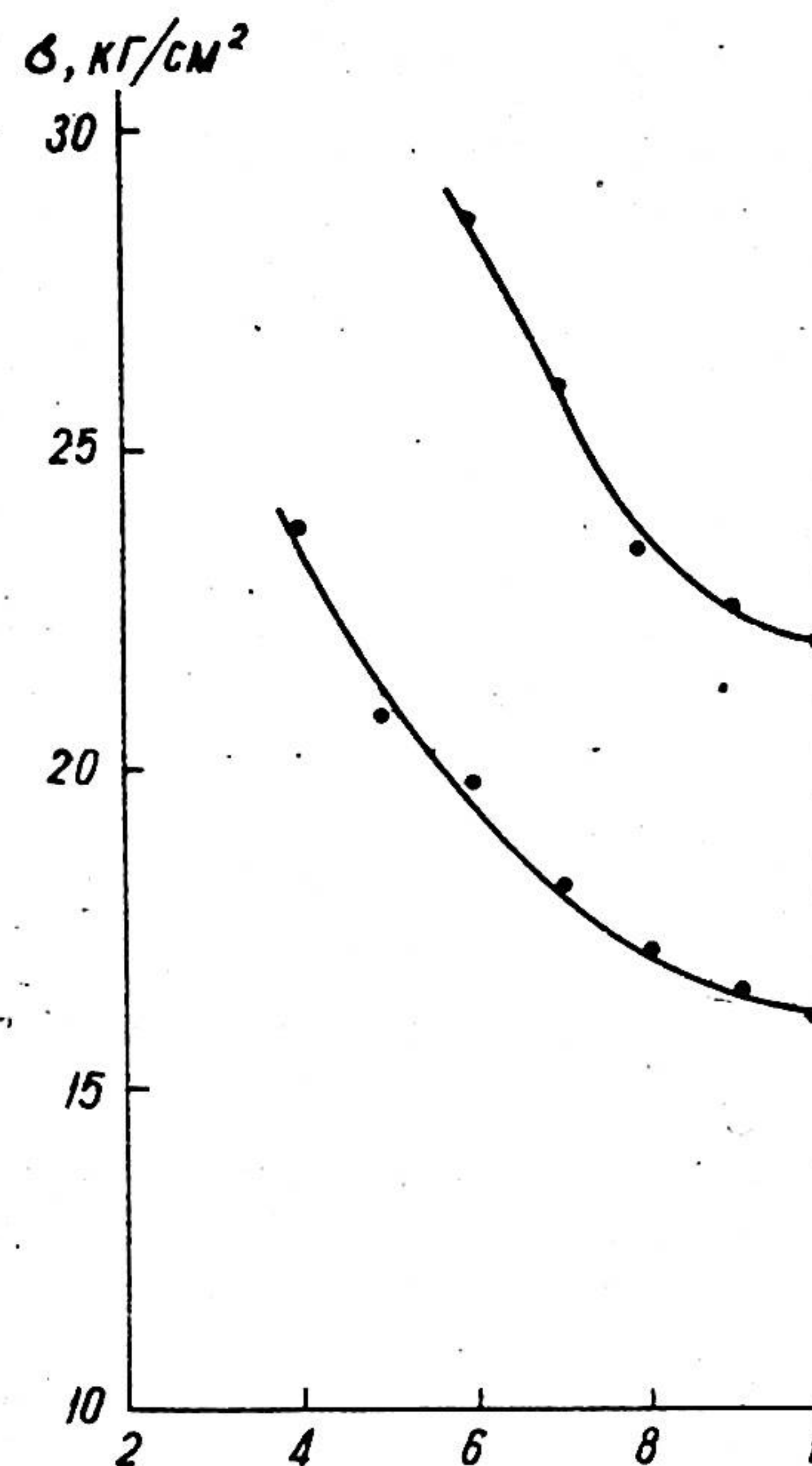


Рис. 1. Влияние величины ЛНС на

l-заряд 0.25г тэна;

напряжений, возникающих в массиве при взрыве, регистриро-



шения акустических жесткостей стали и оргстекла был найден коэффициент отражения по энергии, близкий по величине к его значениям, определенным в натуральных условиях при отбойке руды в зажиме (В. Р. Именитов, Н. В. Плакса).

Результаты двух серий экспериментов (рис. 1) свидетельствуют о наличии четко выраженных максимумов напряжений при согласовании ЛНС. Анализ параметров при увеличении  $J$  в границе двух серий экспоненциально нарастания  $W$  в стержне происходит. В точках 25—30% превыше или меньше ружена и при удлин ЛНС возр

В натуральных условиях волн напряжения упругих колебаний в массе с учетом скорости вступлений. В установлено, что гих волн в массе ет. удовлетвори ших базах меж малы, то точно ления скорости лах разрушае с использовани и УКБ-1, кот ность измерен пользовались рых позволил вне нарушенн установить, ч мого участка, щинovatости волн сказыва

По извест и длительнос мума для ко значения ЛНС, удовлетворяющие условиям согласования с зарядом ВВ.

Эта зависимость для рассматриваемых условий имеет вид

$$W = \frac{31,8 \cdot C_p \cdot R_0 \cdot \rho_1^{\frac{1}{2}}}{(C_p - 2170) \cdot \rho_0^{\frac{1}{2}}}, \text{ м}, \quad (73)$$

где  $\rho_0$  и  $\rho_1$  — соответственно расчетная и фактическая плотность заряжения,  $\text{кг/дм}^3$ ;

$R_0$  — радиус скважины, м.

Основываясь на решениях данной главы, в работе приведены расчеты значений ЛНС и величин удельного расхода ВВ для условий отбойки скважинами различного диаметра ( $d_{\text{скв}} = 80 \div 243 \text{ мм}$ ). Расчеты показали, что величины удельного расхода ВВ на отбойку, при которых возможно улучшение показателей выпуска отбитой руды за счет повышения качества ее дробления, должна составлять 1,0—1,15  $\text{кг/м}^3$ .

Справедливость расчета подтверждается результатами массовых взрывов, проведенных на Кировском и Расвумчоррском рудниках.

В результате проведенных исследований экспериментально установлено, что эффективность передачи энергии взрыва зависит как от величины ЛНС, так и от формы и длительности взрывного импульса. Показано, что условие согласования веса заряда с ЛНС имеет место, когда ЛНС равна произведению времени нарастания напряжений во взрывном импульсе до максимума на скорость звука в среде. Последнее соотношение характеризует принцип согласования заряда с ЛНС, который справедлив как при отбойке на свободную поверхность, так и при отбойке руды в зажиме. Исходя из этого принципа получены значения оптимального удельного расхода ВВ при скважинной отбойке апатито-нефелиновых руд.

#### Глава IV. Экспериментальные исследования параметров скважинной отбойки в производственных условиях рудников комбината «Апатит»

Глава посвящена экспериментальной проверке теоретических положений и расчетных зависимостей, предложенных для определения параметров скважинной отбойки. Приводятся результаты опытно-промышленных работ по установлению оптимального удельного расхода ВВ при существующих способах отбойки, опытной проверки рекомендуемых параметров и дается их технико-экономическая оценка.

Проверка теоретических выводов и результатов моделирования проводилась на Расвумчоррском руднике при взрыве шпуровых зарядов аммонита 6 ЖВ, весом 0,6 кг при различных величинах ЛНС ( $W = 20 \div 40 R_0$ ). Параметры импульсов напряжений, возникающих в массиве при взрыве, регистриро-



вались пьезоэлектрическими датчиками в измерительных шпурах на расстоянии  $15 R_0$  от заряда и в противоположном направлении, а также датчиками, укрепленными на поверхности забоя и вблизи устья взрываемого шпура.

Результаты опытных взрывов подтвердили существование для конкретных пород оптимальных соотношений между величинами зарядов и ЛНС. Так, наибольшее значение напряжений и наилучшее качество дробления массива в объеме воронки разрушения имели место при ЛНС 0,6 м ( $q_{\text{опт}} = 1,0 - 1,15 \text{ кг/м}^3$ ). Величина максимальных напряжений в импульсе при оптимальном удельном расходе ВВ на отбойку на 25-30% превышала их величину при ЛНС больше или меньше рациональной, что подтверждает результаты, полученные при моделировании. Увеличение ЛНС сверх оптимальных значений приводило к прострелам взрываемых шпуров, при которых отмечалось увеличение напряжений вблизи устья взрываемого шпура в 3-4 раза, что свидетельствует об увеличении доли энергии, идущей на образование сейсмических и ударно-воздушных волн.

Эксперименты по определению оптимальных соотношений между удельным расходом ВВ и величиной ЛНС проводились на Кировском руднике при многорядном взрывании скважин диаметром 214 мм. Результаты исследований показали, что наилучшее качество дробления взрываемого массива достигалось при ЛНС 5,6-6,0 м (коэффициент сближения скважин  $m = 1,0 - 1,1$ ), в то время как расчетное значение величины ЛНС равно 5,6 м.

Результаты опытных взрывов подтвердили основные теоретические выводы и результаты моделирования, что явилось основанием к постановке исследований по оптимизации параметров скважинной отбойки апатито-нефелиновых руд.

Определение величины оптимального удельного расхода ВВ проводилось в сопоставимых горно-геологических условиях на смежных блоках 10/11 и 12/13 гор. +322 м Кировского рудника, отбойка руды в которых осуществлялась в широком диапазоне изменения удельного расхода ВВ. Анализ результатов массовых взрывов объемом 3400 тыс. т (рис. 2) показал хорошую сходимость расчетных значений удельного расхода ВВ на отбойку с оптимальными, при которых энергия заряда ВВ рационально расходуется на дробление массива при минимальных ее затратах на разлет кусков. При этом показано, что для апатито-нефелиновых руд ( $\gamma = 3 \text{ т/м}^3$ ) наименьшие затраты энергии на разлет кусков (5,5% от энергии заряда ВВ, идущей на разрушение единичного объема) имеют место при удельном расходе ВВ, не превышающем  $1,2 \text{ кг/м}^3$ , в то время как увеличение удельного расхода ВВ до  $1,8 \text{ кг/м}^3$  приводит к росту затрат энергии более чем в 3 раза (до 17%). Это подтверждается и анализом зависимости между удельным рас-

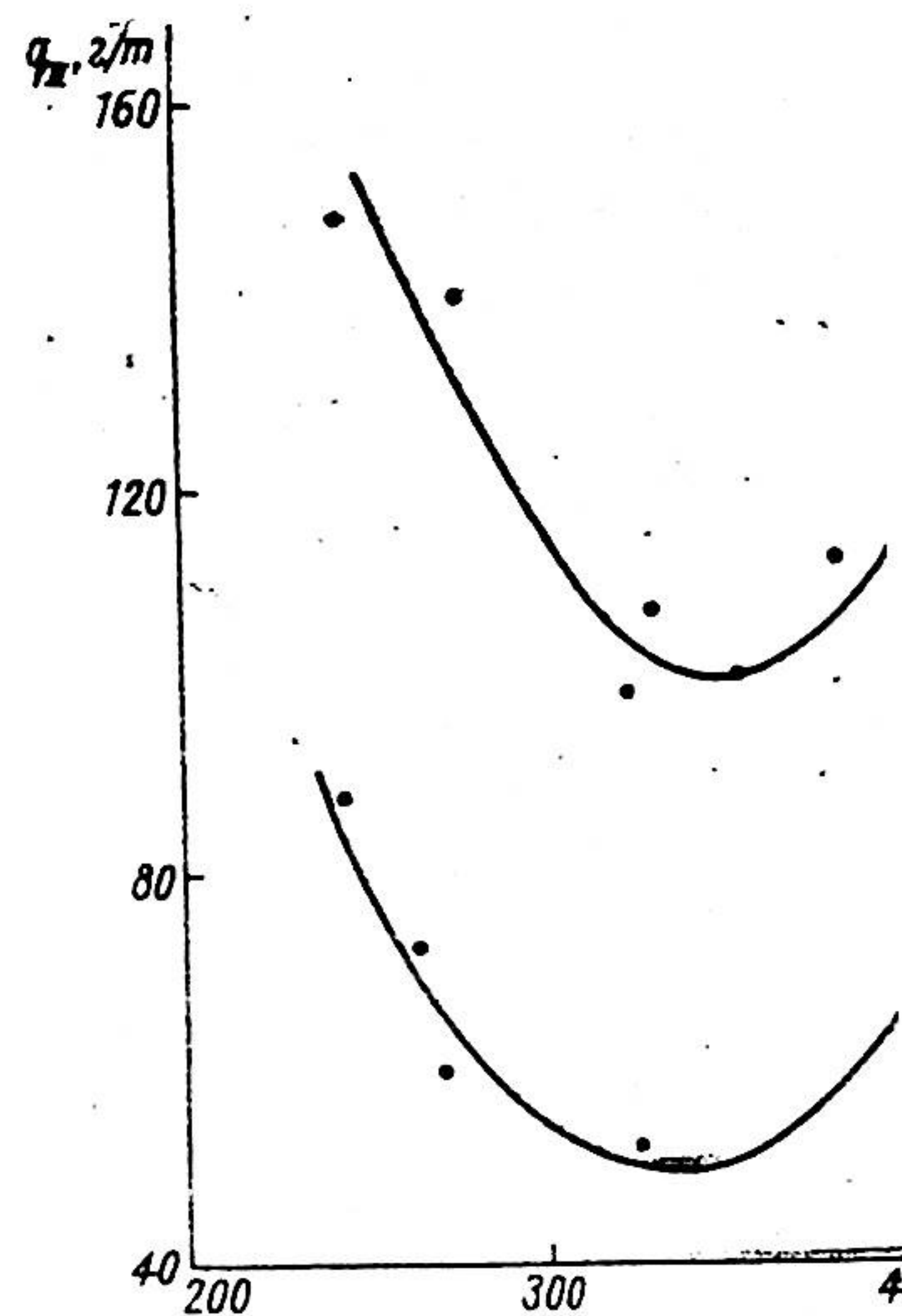
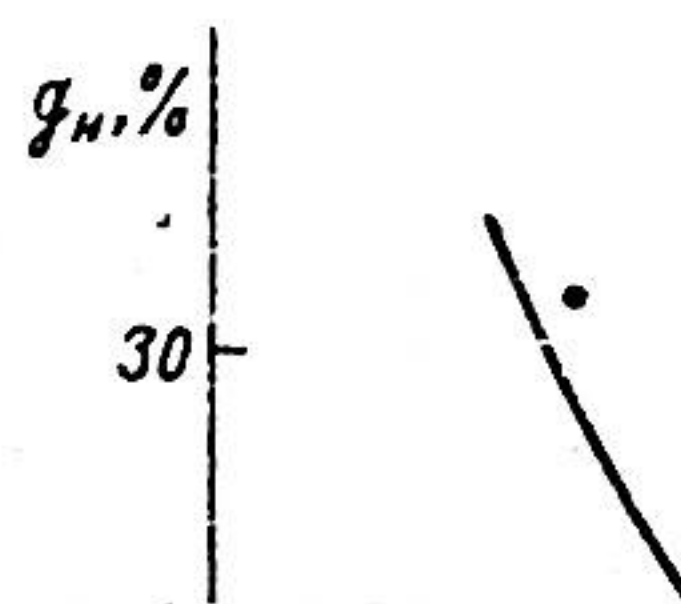


Рис. 2. Влияние удельного расхода ВВ на удельный расход при I-кондиционный кусок 700-800



М В  
ОДОМ  
И ВЫ-

(79)

е с  
рас-  
за-  
сим-  
же  
ться  
о за-  
ного  
нега-  
гиче-  
зрос-  
ной

пока-  
отби-  
ожно  
ном

(80)

(81)

рав-  
ной  
пти-  
апа-  
ион-  
ного  
овой  
ойки  
и ве-  
При  
оп-  
ло к  
уске.

11



вались  
 рах на  
 правле  
 забоя  
 Рез  
 для ко  
 чинами  
 ний и  
 ки ра  
 1,15 ка  
 при оп  
 30% пр  
 ционал  
 модели  
 ний пр  
 рых от  
 емого  
 доли э  
 но-возд  
 Экс  
 между  
 на Кир  
 диамет  
 наилуч  
 лось пр  
 $m=1,0$   
 ЛНС ра  
 Резу  
 тически  
 основан  
 метров  
 Опр  
 ВВ про  
 ях на с  
 рудника  
 диапазо  
 тов мас  
 хорошу  
 ВВ на  
 ВВ рац  
 мальны  
 для апа  
 ты энер  
 щей на  
 удельно  
 как увел  
 росту за  
 твержда

ходом ВВ на дробление негабарита (рис. 3), выраженным в % к удельному расходу ВВ на выпуске, и удельным расходом ВВ на отбойку, установленным по данным наблюдений за выпуском руды в блоке 12/13 Кировского рудника.

$$q_{II} = \frac{1}{6,22 \cdot 10^{-4} \cdot q_1 - 0,1174}, \quad (79)$$

где  $q_1$  — удельный расход ВВ на отбойку руды, г/т.

Из анализа опытных данных следует, что если вначале с увеличением удельного расхода ВВ на отбойку удельный расход на дробление негабарита значительно снижается, то затем это снижение происходит более плавно и начинает асимптотически приближаться к постоянному значению. В то же время общий расход ВВ на выпуске начинает увеличиваться за счет повышения удельного расхода ВВ на ликвидацию зависаний переуплотненной руды. Так, при увеличении удельного расхода ВВ на отбойку на 20% — с 355 до 424 г/т, выход негабарита (кусков крупностью более 400 мм) остался практически постоянным — 12,6—12,2%, а расход ВВ на выпуске возрос на 15% в связи с ликвидацией зависаний переуплотненной руды.

Статистическая обработка данных массовых взрывов показала, что зависимость удельного расхода ВВ на выпуске отбитой руды от величины удельного расхода ВВ на отбойку можно выразить уравнениями параболы, которые при кондиционном куске в 400 и 700—800 мм равны соответственно:

$$q_2 = 537 - 2,39q_1 + 3,28 \cdot 10^{-3} \cdot q_1^2, \quad \text{г/т}; \quad (80)$$

$$q_2 = 610 - 3,40q_1 + 4,91 \cdot 10^{-3} \cdot q_1^2, \quad \text{г/т}, \quad (81)$$

где  $q_1$  — удельный расход ВВ на отбойку руды, г/т;

$q_2$  — удельный расход ВВ на выпуске отбитой руды, г/т.

Коэффициенты корреляции полученных зависимостей равны соответственно 0,83 и 0,77, что говорит о достаточно тесной связи между признаками. Это позволяет на основе найденной функциональной зависимости найти диапазон значений оптимального удельного расхода ВВ при скважинной отбойке апатито-нефелиновых руд. При безлюковой погрузке (кондиционный кусок  $d_k = 700$ —800 мм) значения оптимального удельного расхода ВВ колеблются в пределах 340—370 г/т, а люковой ( $d_k = 400$  мм) — 370—400 г/т. Оптимальным условием отбойки при безлюковой и люковой погрузке руды соответствовали величины удельного расхода ВВ на выпуске — 50 и 100 г/т. При этом увеличение удельного расхода ВВ на отбойку сверх оптимальных значений при люковой погрузке руды приводило к более интенсивному росту удельного расхода ВВ на выпуске.



Разработанная в диссертации методика расчета параметров скважинной отбойки подтверждена результатами опытно-промышленных работ в III панели блока 6/7 гор.+322 м Кировского рудника, которая обрабатывалась системой этажного принудительного обрушения с отбойкой руды вертикальными скважинами.

Результаты опытных взрывов вертикальных скважин диаметром 145, 214 и 243 мм при расчетных параметрах (удельный расход ВВ соответственно 324, 369 г/т, ЛНС 4,0; 5,8; 6,5 м) показали, что расход ВВ на выпуске меньше (51, 85 и 75 г/т), чем при выпуске руды, отбитой веерными скважинами  $d=105$  мм. Наилучшее качество дробления апатито-нефелиновых руд было достигнуто при отбойке скважинами  $d=145$  мм, табл. 2.

Таблица 2

Показатели дробления и выпуска руды, отбитой скважинами различного диаметра

Диаметр скважин, их расположение	Удельный расход ВВ на отбойку, г/т	Выход класса в % к общему весу, при крупности кусков, мм					Выход кусков крупностью < 400 мм	Удельный расход ВВ на выпуске, г/т
		0-200	201-400	401-700	700-1000	+1000		
Веерные скважины $d = 105$ мм	355	67,7	27,7	7,7	3,1	1,8	12,6	100
	424	57,6	24,8	7,9	2,7	1,6	12,2	113
Параллельные скважины $d = 145$ мм	324	76,5	14,6	7,1	1,8	0,4	9,3	51

Оценка эффективности выпуска руды, отбитой вертикальными скважинами различного диаметра, показывает возможность более равномерного и ритмичного выпуска до 70% отбитой руды, тогда как при существующих способах отбойки веерными скважинами уже после выпуска 50% руды наблюдается увеличение удельного расхода ВВ на выпуске в 1,5—2 раза, по сравнению с его средним значением.

При рассмотренных условиях применение вибропитателей, способных транспортировать крупнокусковую руду, приводит к дальнейшему улучшению показателей выпуска. Так, при кондиционном куске 800—900 мм производительность вибропитателя ЗКВ достигала 300 т/ч чистого времени работы. Удельный расход ВВ на выпуске составлял 26 г/т, из которых только 16 г шло на дробление негабаритов. Однако увеличение удельного расхода ВВ на отбойку сверх оптимального (до 480 г/т) вызвало затруднение при выпуске отбитой руды. Если

вначале удельный расход на выпуске составлял 30—20 г/т, а сменная производительность 320 т/смен (при максимальной 1700 т/смен), то после выпуска 58% отбитой руды добыча была прекращена из-за сильного переуплотнения отбитой руды и частых ее зависаний. Таким образом, доказано, что оптимальные условия на выпуске руды достигаются при значениях удельного расхода ВВ на отбойку, близких к рекомендуемым.

Разработанная в диссертации расчетная методика, апробированная в условиях широких производственных испытаний, использована для выбора параметров скважинной отбойки руды параллельными и веерными скважинами в IV и V панелях блока 6/7 гор.+322 м Кировского рудника. Технико-экономическое сравнение трудовых затрат по процессам в блоке 6/7 и действующих блоках Кировского рудника показало, что при рекомендуемых параметрах скважинной отбойки эти затраты в 1,2 раза меньше, что позволит сэкономить до 80 руб. на 1000 т добытой руды.

Таким образом, опытно-промышленная проверка предложенной методики дает положительный результат, что позволяет использовать ее при расчетах параметров отбойки на других рудниках, имеющих сходные горнотехнические условия.

### Заключение

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Эффективность использования энергии заряда ВВ определяется не только величиной ЛНС и длительностью взрывного импульса, но и его формой.

2. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден способ повышения использования энергии взрыва за счет согласования веса заряда ВВ с ЛНС. Этот принцип может служить основой для определения оптимального удельного расхода ВВ на отбойку.

3. При многократном инициировании удлиненных зарядов ВВ с частотой взрывания инициаторов, равной частоте колебаний отбиваемого участка, повышается интенсивность дробления среды. Необходимое число инициаторов рекомендуется определять по формуле (48).

4. Увеличение удельного расхода ВВ на отбойку сверх оптимальных значений, приводя к возрастанию затрат энергии взрыва на переуплотнении отбитой руды, повышает затраты труда, времени и расхода ВВ на ее выпуск.

5. Для расчета параметров скважинной отбойки предложены формулы (45, 72, 79, 80, 81), основанные на принципе максимального использования энергии взрыва на дробление.



6. За счет равномерности распределения ВВ во взрывае-  
мом массиве при отбойке руды вертикальными скважинами  
 $d=145$  мм и расчетных параметрах их расположения может  
быть достигнуто значительно лучшее ее дробление и ритмич-  
ность выпуска, чем при существующих способах отбойки ве-  
ерными скважинами  $d=105$  мм.

7. Основные положения диссертации проверены при прове-  
дении опытно-промышленных работ на рудниках комбината  
«Апатит», в результате чего установлена область оптимальных  
значений удельного расхода ВВ ( $q_1=340-370$  и  $370-400$  г/т  
при кондиционном куске соответственно 700—800 и 400 мм)  
при отбойке апатито-нефелиновых руд.

8. При внедрении рекомендаций может быть достигнуто  
снижение общих затрат на очистную выемку в 1,2 раза, что  
позволит сэкономить до 180 руб. на 1000 т добытой руды.

Отдельные положения диссертационной работы доклады-  
вались на конференции по разрушению горных пород (г. Ка-  
раганда, 1968 г.) и на научно-технической конференции в ЛГИ  
им. Г. В. Плеханова (г. Ленинград, 1970 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следую-  
щих работах автора:

1. К вопросу влияния параметров взрывного импульса на  
интенсивность разрушения среды при отбойке. Сб. «Анализ  
эффективности горных работ и процессов при эксплуатации  
рудных месторождений». «Наука», Л., 1971.

2. Критерии подобия при моделировании процесса дробле-  
ния пород взрывом. Сб. «Проблемы работы карьеров Севера».  
Изд. ЛГИ им. Г. В. Плеханова, 1968 (соавторы В. А. Паду-  
ков, В. А. Антоненко).

3. К определению оптимального удельного расхода ВВ на  
отбойку. В сб. «Тезисы докладов всесоюзной конференции по  
разрушению горных пород». Караганда, 1968 (соавторы  
В. А. Падуков, В. А. Антоненко).

4. Взаимосвязь удельного расхода ВВ со средним разме-  
ром куска отбитой горной массы. В сб. «Тезисы докладов все-  
союзной конференции по разрушению горных пород». Кара-  
ганда, 1968 (соавтор В. А. Падуков).

5. Оптимизация параметров буро-взрывных работ. Сб.  
«Проблемы разработки рудных месторождений полезных ис-  
копаемых Севера». Изд. ЛГИ им. Г. В. Плеханова, 1970 (со-  
автор В. А. Падуков).

6. Взаимосвязь простреливаемости, взрываемости и сей-  
смичности горных пород. Сб. «Пути повышения эффективности  
открытых горных работ». «Наука», Л., 1970. (соавтор В. А. Па-  
дуков).

7. К вопросу оптимизации параметров буро-взрывных работ  
на рудниках комбината «Апатит». Сб. «Физика процессов, тех-  
нология и техника разработки недр». «Наука», Л., 1970 (соав-  
торы Б. И. Нифонтов, В. А. Падуков, В. А. Антоненко,  
М. И. Шиман).

8. Исследование системы разработки в опытном блоке Ки-  
ровского рудника. Сб. «Вопросы комплексного совершенство-  
вания горных работ». Изд. КФ АН СССР, г. Апатиты, 1971 (со-  
авторы И. И. Бессонов, В. Г. Колесников, В. А. Антоненко,  
Ю. И. Дудин).

9. Разрушение горных пород при ударе и взрыве. «Наука»,  
Л., 1971 (соавторы В. А. Падуков, В. А. Антоненко).