

6  
А 40

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР  
УЧЕНЫЙ СОВЕТ ПО ГЕОЛОГИИ И ГОРНОМУ ДЕЛУ

На правах рукописи

Аспирант А. С. Маторин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВТОРИЧНОГО  
ДРОБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА КАРЬЕРАХ  
СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ  
НАГРУЗКАМИ

Специальность 05.312  
Открытая разработка и эксплуатация угольных,  
рудных и нерудных месторождений

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Фрунзе 1971

А К А Д Е М И Я   Н А У К   К И Р Г И З С К О Й   С С Р  
У Ч Ё Н Ы Й   С О В Е Т   П О   Г Е О Л О Г И И   И   Г О Р Н О М У   Д Е Л У

На правах рукописи

Аспирант А.С. Маторин

И С С Л Е Д О В А Н И Е   Э Ф Ф Е К Т И В Н О С Т И   В Т О Р И Ч Н О Г О   Д Р О Б Л Е Н И Я  
Г О Р Н Ы Х   П О Р О Д   Н А   К А Р Ь Е Р А Х   С О С Р Е Д О Т О Ч Е Н Н Ы М И   Д И Н А -  
М И Ч Е С К И М И   Н А Г Р У З К А М И

Специальность 05.312

Открытая разработка и эксплуатация угольных,  
рудных и нерудных месторождений

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ФРУНЗЕ 1971

## В В Е Д Е Н И Е

В Директивах XXIII съезда КПСС указано на всемерное развитие прогрессивных способов разработки месторождений полезных ископаемых, позволяющих существенно повысить производительность труда и снизить себестоимость продукции. Одним из таких направлений в области открытых горных работ является циклично-поточная и поточная технология разработки скальных пород и руд, внедрение которой сдерживается значительным содержанием крупных фракций /класс +500 мм/ во взорванной горной массе.

Следует отметить, что даже при существующей циклической технологии железорудные карьеры характеризуются значительным объёмом и процентом выхода негабарита. В последующие годы, несмотря на технический прогресс в буровзрывных и погрузочных работах, объёмы негабарита могут увеличиться. Опыт разработки скальных пород и руд показывает, что применение прогрессивных способов ведения буровзрывных работ и увеличение размеров кондиционного куска за счет применения более мощного оборудования позволяют значительно снизить выход негабарита, но не дают возможности полностью отказаться от вторичного дробления. Поэтому создание новых более совершенных способов вторичного дробления скальных горных пород на карьерах является актуальной задачей.

Одним из перспективных направлений в решении этого вопроса является использование ударных сосредоточенных нагрузок. Но технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения этого прогрессивного способа вторичного дробления горных пород, правильный выбор конструкции и рациональных параметров машин ударного действия, а следовательно и создание механизмов данного типа затрудняется и замедляется в связи с недостаточной изученностью закономерностей, связывающих работу разрушения с параметрами удара, физико-механическими свойствами и размерами негабарита и степенью дробления, а также в связи с отсутствием достаточно надёжных критериев и методов оценки сопротивляемости горных пород разрушению многократными ударными нагрузками.

Диссертационная работа посвящена исследованию закономерностей разрушения горных пород многократными ударами, изысканию критериев и метода определения сопротивляемости скальных пород и руд разрушению ударными сосредоточенными нагрузками и на этой основе — обоснованию рациональных параметров машин ударного действия, оценке эффективности и области применения существующих и создаваемых установок для вторичного дробления горных пород.

Работа состоит из введения, пяти глав, изложенных на 160 стр. машинописного текста и содержит 48 иллюстраций, 42 таблицы и 14 приложений.

## ГЛАВА I. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И МАТЕРИАЛОВ ПО ТЕМЕ

Карьеры рудной промышленности СССР характеризуются большими, все нарастающими объемами разработки скальных пород и руд, которые составляют около двух третей от общего объема горной массы. Объем разрабатываемой скальной горной массы на карьерах МЧМ СССР вскоре составит 1355 млн. т. против 429,5 млн. т. в 1965 г.

Современный уровень техники и технологии разработки скальных пород с применением буровзрывных работ, как правило, не позволяет получить необходимую степень дробления горной массы и полностью избежать выхода негабарита. Так, выход негабарита на железорудных карьерах, зависящий от физико-механических свойств пород, параметров буровзрывных работ, технологии разработки и применяемого оборудования, колеблется в широких пределах, достигая в отдельных случаях 10-20% и составляя в среднем около 2,2%. В абсолютном выражении выход негабарита на карьерах МЧМ СССР превосходит 10 млн. т в год.

При циклично-поточной технологии, в связи со снижением размеров кондиционного куска до 400-500 мм, выход негабарита резко увеличится и его дробление может стать главным затруднением на пути широкого внедрения в производство этого прогрессивного и экономичного способа ведения горных работ.

Совершенствование параметров буровзрывных работ на карьерах и увеличение размеров кондиционного куска за счет применения более мощной и совершенной техники являются главными путями снижения выхода негабарита, однако исследования ряда авторов показывают, что они могут потребовать больших затрат и оказаться экономически невыгодными.

Поэтому, наряду с мероприятиями по снижению выхода негабарита, необходимо форсировать работы по созданию новых, более совершенных способов вторичного дробления скальных горных пород на карьерах.

Широко распространенному сейчас буровзрывному способу, удельный вес которого достигает 90%, характерен ряд существенных недостатков. Кроме того, этот способ совершенно неприменим при циклично-поточной технологии разработки скальных пород и руд. Поэтому как у нас в стране, так и за рубежом ведутся поиски и разработка невзрывных способов разрушения негабарита.

Наиболее разработанные в настоящее время электротермические методы позволяют разрушать токопроводящие породы, в основном железные руды /установки для разрушения негабарита токами промышленной частоты типа 2УРН и УРН-400И/. Из механических способов некоторое распространение получили крановые, экскаваторные и пневматические бутобои. Но параметры и конструкция крановых и экскаваторных бутобоев затрудняют их эффективное использование, в особенности в схемах циклично-поточной технологии, а параметры пневматических бутобоев ограничивают их применение в основном для дробления негабаритов легко- и среднеразрушаемых пород.

Область применения и экономическая эффективность механических средств вторичного дробления горных пород может быть значительно расширена как при циклической, так и циклично-поточной технологии за счет использования установок с гидравлическим приводом и пневматическим аккумулятором энергии, которые позволяют создать бутобои с энергией единичного удара более 500 Кгм при значительной частоте ударов.

Создание высокоэффективных технических средств вторичного дробления горных пород ударом затрудняется и замедляется из-за отсутствия достаточно надежного и вместе с тем простого метода

определения сопротивляемости горных пород разрушению многократными динамическими нагрузками, который бы позволял рассчитывать энергию, необходимую для эффективного разрушения кусков породы с различными размерами и физико-механическими свойствами. Недостаточность для этой цели статистических испытаний и коэффициента крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова уже отмечалась исследователями, а приведенный в работе обзор применяемых методов динамических испытаний материалов показал, что они также не дают ответа на поставленные выше вопросы.

Необходимо отметить, что в результате теоретических и экспериментальных исследований разрушения горных пород механическими ударными нагрузками, выполненных в ИГД им. Скочинского под руководством Л.И. Барона, в Ленинградском горном институте под руководством В.И. Геронтьева, в Карагандинском политехническом институте под руководством А.Ф. Кичигина, в ИГД СО АН СССР под руководством А.И. Федулова и другими исследователями выявлен ряд закономерностей и аналитических зависимостей ударного разрушения. Однако, еще не получены расчётные зависимости, связывающие работу разрушения с параметрами удара и количеством ударов, физико-механическими свойствами, размерами разрушаемого негабарита и степенью его дробления, без которых невозможно обоснование рациональных параметров установок для вторичного дробления горных пород динамическими нагрузками.

В соответствии с целью работы, основными задачами исследований являются:

1. Исследование закономерностей разрушения скальных пород многократными ударными нагрузками и разработка методики расчёта энергии, необходимой для разрушения куска породы до заданного размера.

2. Обоснование показателей сопротивляемости горных пород разрушению ударом, разработка метода определения этих показателей и установление связи между ними.

3. Экспериментальные исследования сопротивляемости скальных пород разрушению многократными ударами на железорудных и других карьерах СССР.

4. Обоснование рациональных параметров установок для вторичного дробления горных пород сосредоточенными ударными нагрузками

на основании выявленных показателей сопротивляемости горных пород динамическому разрушению и характера изменения фракционного состава отбитой горной массы.

5. Проверка основных закономерностей вторичного дробления пород ударом в производственных условиях на карьерах.

6. Разработка методики определения полных затрат, связанных с разрушением негабарита и расчет экономической эффективности механического способа вторичного дробления пород.

## ГЛАВА П. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Оценка эффективности статического нагружения производится обычно по величине силы, вызывающей разрушение. При динамическом нагружении практическое использование этого показателя затруднительно, так как величина силы, возникающей при ударе, зависит от очень многих факторов и в противоположность статическому нагружению бывает обычно неизвестной. Оценка эффективности динамического разрушения может быть произведена по величине затраченной при этом работы.

Исходя из аналогии процесса полного разрушения породы на несколько частей и местного выкола некоторого объёма материала в области штампа, работа разрушения может быть определена по формуле теории упругости с учётом поправок на пластичность породы, проверенной экспериментально Л.А. Шрейнером для условий местного разрушения самых разнообразных горных пород, на влияние масштабного и усталостного эффектов, проявление которых отмечается многими исследователями и с учётом потерь энергии при её передаче от ударного инструмента к разрушаемой породе. Заменяв диаметр контакта через действующую силу и контактную прочность породы, определяемую по методике Л.И. Барона, а силу формулой С.А. Брылова, которая проверена экспериментально, И.С. Куклин с соавторами получил расчётную формулу, позволяющую при динамическом сосредоточенном многократном нагружении определять работу разрушения негабарита с различными физико-механическими свойствами

и размерами

$$A_{\Sigma} = \frac{K_1 \sigma_p^{1.5} R_k (1-\mu)^{2.5} (1+\mu) \Gamma^b \kappa^c}{K_y E \mu^{1.5}}, \quad / 1 /$$

- где:
- $K_1$  - коэффициент пропорциональности, учитывающий форму и размеры штампа;
  - $\sigma_p$  - предел прочности породы на разрыв;
  - $\Gamma$  - площадь разрыва, при разделении образца на две части, приравненная к площади поперечного сечения образца;
  - $\kappa$  - число ударов до разрушения;
  - $R_k$  - контактная прочность породы, определяемая по методике Л.И. Барона;
  - $K_y$  - коэффициент передачи энергии упругих волн;
  - $\mu$  - коэффициент Пуассона;
  - $E$  - модуль упругости горной породы;
  - $b$  - показатель степени, зависящий от физико-механических свойств горной породы и характеризующий степень проявления масштабного эффекта;
  - $c$  - показатель степени, зависящий от физико-механических свойств и характеризующий усталостный эффект горной породы.

Расчётная формула / 1 / в общем виде может быть записана

как

$$A_{\Sigma} = a \Gamma^b \kappa^c$$

или, выражая  $\kappa$  через энергию единичного удара формула / 1 /

$$A_{\Sigma} = \left( a \Gamma^b A_{eq}^{-c} \right)^{\frac{1}{1-c}}$$

позволяет рассчитать необходимую энергию при разрушении образца на две части. В действительности же возникает необходимость последующего дробления каждой из образовавшихся после первого приема дробления частей, т.е. разрушать кусок горной породы на 4 части, а затем на 8, 16, 32 и т.д. в зависимости от размера негабарита и кондиционного куска. Работа, необходимая для разрушения негабарита до требуемых размеров будет равна сумме работ,

затраченной на каждый прием дробления. Кроме того, необходимо учитывать, что уже при первом приеме дробления не вся энергия расходуется на образование поверхности раскола. Часть её накапливается на образование или увеличение трещин, не доходящих до поверхности /усталостный эффект/, т.е. при разрушении кусков, образовавшихся после первого приема дробления мы будем иметь дело с материалом, у которого предел прочности будет несколько ниже, чем до первого раскола; после второго приема - ниже, чем после первого и т.д.

С учётом влияния масштабного и усталостного эффектов расчётная формула для определения работы разрушения образца /негабарита/ при любой степени дробления  $\lambda$  имеет следующий вид

$$A_{\Sigma} = \frac{K_1 \sigma_p^{1.5} R_k (1-\mu)^{2.5} (1+\mu) \Gamma^b \kappa^c}{K_y E \mu^{1.5}} \left[ \frac{2^{\frac{c-b-1}{c-1} \lg \lambda}}{2^{\frac{c-b-1}{c-1}} - 1} \right]^{1-c} \quad / 2 /$$

или в более простом виде

$$A_{\Sigma} = a \Gamma^b \kappa^c N \quad / 3 /$$

где:  $N$  - число приемов дробления с учётом масштабного и усталостного эффектов;

$\kappa$  - число ударов в первом приеме дробления.

Производительность / $\Pi$ / установок для разрушения негабарита ударом можно определять по уравнению

$$\Pi = \frac{60 A_{eq} \kappa_n V_n}{A_{\Sigma}}, \quad \text{м}^3 / \text{час} \quad / 4 /$$

где:  $A_{eq}$  - энергия единичного удара;

$V_n$  - средний объём негабаритного куска;

$\kappa_n$  - число ударов установки в минуту.

Анализ работ по усталостному и масштабному эффектам позволяет установить, что эти факторы находятся в определенной взаимосвязи, так как природа данных явлений, по существу, одинакова и эта связь может быть описана выражением

$$b = 1 + 0,5c \quad / 5 /$$

Полученная зависимость была проверена и подтвердилась для бетонов, сталей, углей и некоторых других материалов.

Анализируя уравнение для определения работы, требуемой для разрушения блоков горных пород динамическими нагрузками / 3 / видим, что зная показатели номинальной работы -  $a$ , масштабного -  $b$  и усталостного -  $c$  эффектов, можно определить энергоёмкость разрушения негабаритов любых размеров, представленных породами с любыми физико-механическими свойствами, т.е. величиной показателей  $a, b, c$  можно характеризовать сопротивляемость горных пород разрушению ударом. Однако, наличие трех различных показателей затрудняет общую оценку сопротивляемости разрушению той или иной породы, усложняет сравнение различных пород между собой. Поэтому каждая порода должна иметь также один, обобщенный показатель сопротивляемости разрушению, который бы в интегральной форме правильно учитывал показатели  $a, b, c$  и для своего определения не требовал бы дополнительного опробования пород или использования других коэффициентов и констант.

Теоретический анализ и изучение экспериментальных данных позволил сделать вывод, что наиболее характерным и обоснованным обобщенным показателем сопротивляемости горных пород является относительная энергоёмкость их разрушения. Применительно к дроблению негабарита на карьерах за условную единицу энергоёмкости целесообразно принять затраты работы на разрушение образца по площади его поперечного сечения, равной  $1 \text{ м}^2 / 10000 \text{ см}^2$ , представленного породой со следующими значениями показателей:

$a = 1, b = 1, c = 0$ . Тогда величину относительной энергоёмкости  $Z_0$ , которая является обобщенным показателем сопротивляемости той или иной породы разрушению можно определять по выражению

$$Z_0 = \left( 10000^{b-1} a \right)^{\frac{1}{1-c}} \quad / 6 /$$

Для экспериментального определения показателей номинальной работы, масштабного, усталостного эффектов и относительной энергоёмкости разрушения горных пород разработана методика, которая состоит в следующем: при помощи специального устройства получения ударных нагрузок разрушается три серии образцов горной породы, причем площадь поперечного сечения одной серии образцов существенно отличается от двух других, а разрушение двух групп образцов с одинаковыми поперечными сечениями производится при двух различных энергиях удара. Фиксируя число ударов до разрушения образца на две части и суммарную работу разрушения, можно составить систему из трех уравнений

$$\begin{cases} A_{z1} = a F_1^b n_1^c \\ A_{z2} = a F_2^b n_2^c \\ A_{z3} = a F_3^b n_3^c \end{cases} \quad / 7 /$$

в которую входят три неизвестные, интересующих нас величины  $a, b, c$ , определив которые можно найти также и  $Z_0$  по выражению / 6 /.

Анализ литературных и экспериментальных материалов показал, что исследования можно проводить на образцах неправильной, но близкой к кубообразной формы с размером ребра 7 см и 4 см.

Для правильного обоснования рациональных параметров машин, разрушающих негабарит ударными нагрузками, необходимо знать фракционный состав горных пород подвергающихся вторичному дроблению.

Изучение результатов фотопланиметрических определений фракционного состава взорванной горной массы на 21 карьере показал, что между диаметром среднего куска /  $d_{ср}$  / и выходом фракций /  $V$  / существует корреляционная зависимость, которую с точностью до 10-15% можно описать уравнением

$$V \cdot l = 100 e^{-\frac{0,32}{\lambda}}$$

$$\text{где } A = \left(0,055 \frac{d_{cp}}{d_l}\right)^{1,54} \sqrt{\frac{d_{cp}}{d_l}} + 0,16$$

$d_l$  - средний диаметр отбитой горной массы, при которой фракции размером  $+l$  содержится 50%.

Величина  $d_l$  зависит от  $l$  и может быть определена по эмпирической формуле

$$d_l = 23,3 l^{0,5} + 4,2 \cdot 10^{-4} l^2, \quad / 9 /$$

где  $l$  и  $d_l$  в мм

### ГЛАВА III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Основной целью исследований явилось получение достаточно большого объема экспериментальных данных по разрушению образцов и негабарита ударными сосредоточенными нагрузками и на основе этого проверка и подтверждение теоретических выводов работы.

По разработанной методике определения сопротивляемости горных пород разрушению ударом, при помощи специально созданного прибора, работающего на принципе пневматического аккумулятора, было проведено определение показателей сопротивляемости основных пород крупнейших железорудных и других карьеров. В результате экспериментальных работ было опробовано около 70 горных пород и разрушено свыше 4000 образцов.

В результате обработки экспериментальных данных для всех опробованных пород были вычислены величины  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и величина относительной энергоёмкости  $\mathcal{E}_0$ . Было также подтверждено, что показатели масштабного и усталостного эффектов связаны между собой уравнением / 5 /, коэффициент корреляции равен 0,91. Какой-либо зависимости показателей  $b$ ,  $c$  от коэффициента крепости установить не удалось.

На основании результатов испытаний и определения величины относительной энергоёмкости составлена классификация скальных пород по сопротивляемости разрушению динамическими нагрузками, которая составлена в соответствии с общими принципами построения горнотехнических классификаций, сформулированных в работах Л.И. Барона.

Таблица I

Классификация горных пород по сопротивляемости разрушению ударными нагрузками

Категория пород по сопротивляемости	Величина показателя относительной энергоёмкости	Наименование пород
Легкоразрушаемые.	менее 5	Известняк /Билимбаевское КУ/, Известняк /Тургоякское РУ/, кварц /ОЛГОК/, альбитофир /ССГОК/ и др.
Средней разрушаемости	5-10	Плагиоклазиты /КачГОК/, брекчий роговикового состава /СевГОК/, верлиты /КачГОК/, сланцы /ОЛГОК/, магнетитовые кварциты /ОчГОК/ и др.
Трудноразрушаемые	10-20	Габбро /ОЛГОК/, магнетитовые кварциты /ИнГОК/, богатая и бедная руда /ССГОК/, диабазы /ОЛГОК/ и др.
Весьма трудноразрушаемые	более 20	Убогая руда и известняк /ССГОК/, магнетитовые роговики /ЮГОК/, массивные магнетитовые руды /КоршГОК/ и др.



расчёте выход негабарита принят 2,2%, т.е. равным среднезавешенному по карьерам МЧМ СССР и весь негабарит должен быть разрушен за одну смену/.

Существующая цикличная технология не позволяет резко повысить производительность труда вследствие наличия большого объёма вспомогательных работ. Поэтому в настоящее время как в СССР, так и за рубежом наметилась тенденция к переходу на циклично-поточную технологию. Дробление негабарита при этой технологии производится на искусственном основании, а в некоторых схемах на почве забоя. При дроблении на искусственном основании энергия единичного удара бутобойной установки ограничивается прочностью грохота или контрольной решетки и не должна превышать 2000 кгм, а производительность должна быть не ниже 120 м<sup>3</sup> /смену при работе на перегрузочном узле двух бутобоев.

На основании выявленных закономерностей разрушения горных пород ударными сосредоточенными нагрузками и показателей сопротивляемости, определенных экспериментально по разработанной методике, выполнен расчёт необходимой мощности бутобоя, оптимальной и рациональной энергии единичного удара для пород и руд каждой категории разрушаемости.

Расчёты показали, что для обеспечения требуемой производительности необходима мощность установки в 300000 кгм/мин.

Для каждой группы пород определена оптимальная энергия единичного удара бутобоя для цикличной и циклично-поточной разработки, а также производительность бутобойных установок за чистое машинное время и с учётом вспомогательных операций.

Расчёты показали, что увеличение энергии единичного удара свыше 2000 кгм является не целесообразным, так как ведет к незначительному повышению производительности установки. Поэтому сделан вывод, что для разрушения негабаритов пород железорудных карьеров ударными нагрузками необходимо создание установок с энергией единичного удара 2000 кгм и частотой 150 ударов /мин. Средняя расчётная производительность такой установки при существующей цикличной технологии составит для пород легкоразрушаемых - 55,4 м<sup>3</sup>/ч, средней разрушаемости - 32,2 м<sup>3</sup>/час, трудноразрушаемых - 26,9 м<sup>3</sup>/час и весьма трудноразрушаемых - 19,3 м<sup>3</sup>/час.

Анализ возможных принципов работы установок для разрушения негабаритов горных пород динамическими нагрузками с вышперечисленными параметрами показал, что наиболее перспективным следует считать принцип гидropневматического аккумулятора. При этом требуемые параметры могут быть получены путем создания гидropневматических ударников двойного действия, а также гидropневматических дизель-молотов.

В 1968-1969 гг. лабораторией новых методов разрушения горных пород ИГД МЧМ СССР совместно с Карагандинским политехническим институтом при участии автора создана конструкция гидropневматического ударника, которая признана изобретением /решение Комитета от 2 июля 1969г. № 1278388 /29-33/.

В 1969г. был изготовлен экспериментальный образец гидropневматического бутобоя и испытан на карьерах Гайского и Соколовско-Сарбайского ГОК'ов, которые подтвердили возможность создания установок для вторичного дробления горных пород на этом принципе.

#### ГЛАВА У. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗРУШЕНИЯ НЕГАБАРИТА НА КАРЬЕРАХ УДАРНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Анализ затрат, связанных с разрушением негабарита на горных предприятиях показал, что прямые затраты, учитываемые на предприятиях, не характеризуют полностью весь ущерб, связанный с наличием и дроблением негабарита тем или иным способом.

Полная стоимость вторичного дробления горных пород представляет собой сумму следующих затрат: прямые затраты, ущерб от простоя оборудования во время разрушения негабарита, ущерб от снижения производительности погрузочно-транспортного оборудования из-за наличия некондиционных кусков во взорванной горной массе, ущерб от более быстрого износа некоторых узлов и канатов экскаватора.

Расчёты, проведенные для ряда предприятий, показали, что полную стоимость разрушения /и/ негабарита способами, требующими вывода людей и оборудования из забоя /взрывные способы/,

ориентировочно можно определять по уравнению

$$a = 1,9 a_n \quad / \text{ IO } /$$

а при разрушении негабарита способами, не требующими вывoda людей из забоя / механический, электрофизический и другие невзрывные способы / по выражению

$$a = (1,5 \div 1,6) a_n \quad / \text{ II } /$$

где:  $a_n$  — себестоимость вторичного дробления по прямым затратам.

Технико-экономическая оценка эффективности вторичного дробления горных пород и руд ударными нагрузками выполнена для условий Качканарского, Соколовско-Сарбайского, Оленегорского и других ГОК'ов. Расчеты показали, что применение самоходного гидропневматического бутобоя при существующей циклической технологии ведения открытых горных работ позволит снизить себестоимость вторичного дробления горных пород и руд по сравнению с существующим буровзрывным способом в 2,5-3 раза. Экономическая эффективность внедрения самоходных гидропневматических бутобоев, только для железорудных предприятий, по которым проведен расчет в работе, составит около 1,2 млн. руб. в год.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

I. Анализ литературы и опыта ведения горных работ показал, что в настоящее время на железорудных предприятиях выход негабарита является значительным и изменяется от десятых долей до 10-20%. Наряду с мероприятиями по совершенствованию буровзрывных работ, увеличению размеров кондиционного куска, направленными на снижение выхода негабарита, необходимо создание и внедрение новых более совершенных способов вторичного дробления скальных пород и руд на карьерах.

2. Несмотря на большое количество работ, выполненных в области ударного разрушения, отсутствуют расчётные зависимости, связывающие работу, необходимую для разрушения, с физико-механическими свойствами, размерами негабарита и степенью дробления. Не имеется также достаточно объективного и точного метода оценки сопротивляемости горных пород разрушению многократными динамическими нагрузками.

Отсутствуют зависимости позволяющие прогнозировать фракционный состав негабарита.

3. В результате анализа теоретических и экспериментальных данных получено математическое выражение / формула 2 / работы, необходимой для разрушения негабарита или образцов динамическими сосредоточенными нагрузками в зависимости от физико-механических свойств, размеров, негабарита, степени дробления и параметров удара. В формуле учтен масштабный и усталостный эффекты горных пород.

4. Разработаны показатели и методика определения сопротивляемости горных пород разрушению при многократном динамическом нагружении. Создан прибор для проведения исследований непосредственно на карьерах и проведены экспериментальные работы по определению сопротивляемости разрушению ударами основных пород железорудных и некоторых других предприятий.

5. Наряду с тремя дифференцированными показателями сопротивляемости номинальной энергоёмкости, масштабного и усталостного эффектов, получен обобщенный показатель, которым является относительная энергоёмкость разрушения негабарита с площадью поперечного сечения  $1 \text{ м}^2$  / формула 6 /. Разработана классификация горных пород по сопротивляемости разрушению динамическими нагрузками / табл. I /.

6. Теоретический анализ и математическая обработка экспериментальных данных позволили установить закономерность соответствия показателей усталостного и масштабного эффектов для горных пород, заключающуюся в том, что работа, затрачиваемая на разрушение, изменяется в равной мере как при увеличении линейных размеров образца, так и количества нагружений. Это позволяет существенно упростить методику определения показателей сопротивляемости горных пород разрушению.

7. Анализ фракционного состава отбитой горной массы позволил установить обобщенную корреляционную зависимость, позволяющую для большинства горных пород по ожидаемому диаметру среднего куска взорванной горной массы ориентировочно определять выход фракций любого размера, в том числе и негабарита.

8. Удовлетворительная сходимость / отклонения не превышают 10% / фактических величин работы, затраченной на разрушение негабаритов некоторых пород и руд СССР, Гайского ГОК'а и Билимбаевского КУ с расчетными, полученными по расчетной формуле / 3 / с использованием зависимости фракционного состава взорванной горной массы от диаметра среднего куска и показателей сопротивляемости разрушению ударом, определенные по разработанной методике / табл. 2 / позволяет рекомендовать расчетную формулу / 3 / и методику определения сопротивляемости горных пород разрушению динамическими нагрузками для практического использования.

9. На основании анализа современного состояния буровзрывных и экскаваторных работ при существующей циклической технологии и возможных схем циклично-поточной технологии разработки скальных пород и руд установлена необходимая производительность средств вторичного дробления, обеспечивающая бесперебойную работу погрузочно-транспортного оборудования.

Используя полученные экспериментально показатели сопротивляемости горных пород разрушению ударом, математическую зависимость работы, необходимой для разрушения от физико-механических свойств, размеров негабарита и степени дробления, а также обобщенную корреляционную зависимость фракционного состава взорванной горной массы от диаметра среднего куска проведен расчет оптимальной энергии единичного удара бутобоя. Установлено, что эффективное дробление негабарита пород любой крепости можно осуществлять бутобоем с регулируемой энергией удара, изменяющейся в пределах 1000-2000 кгм.

10. Испытания экспериментального образца гидropневматического бутобоя, проведенные при участии автора на Гайском и Соколовско-Сарбайском ГОК'ах показали, что гидropневматический ударник двойного действия, может быть использован в качестве исполнительного органа бутобоев с вышеперечисленными параметрами для дробления негабаритов скальных пород и руд.

II. Вторичное дробление пород с любыми физико-механическими свойствами может осуществляться крановыми и экскаваторными бутобоями, но в силу недостатков, присущих этому методу можно рекомендовать их для применения до создания более совершенных механических средств вторичного дробления.

Пневматические бутобои могут успешно применяться на карьерах, разрабатывающих преимущественно легко- и среднеразрушаемые породы.

Наиболее перспективными средствами вторичного дробления горных пород ударом на рудных карьерах следует считать гидropневматические бутобои и гидropневматические дизель-молоты с энергией удара 2000 кгм и частотой 150-200 уд/мин., которые могут применяться на карьерах, разрабатывающих породы любой категории по сопротивляемости динамическому разрушению как при циклической, так и циклично-поточной технологии разработки скальных пород и руд.

Из взрывных способов наиболее перспективными следует считать микровзрывной способ и кумулятивные заряды.

12. Разработана методика определения полных затрат, связанных с вторичным дроблением, учитывающая прямые затраты на разрушение негабарита, ущерб от простоя оборудования при ведении взрывных работ по вторичному дроблению, ущерб от снижения производительности и ущерб от более быстрого износа отдельных узлов экскаватора, связанные с наличием негабаритных кусков во взорванной горной массе.

Технико-экономические расчеты показывают, что вторичное дробление горных пород гидropневматическими бутобоями, гидropневматическими дизель-молотами, крановыми и экскаваторными бутобоями позволяет снизить себестоимость вторичного дробления в 1,5-2,5 раза.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

I. Исследование закономерностей изменения фракционного состава взорванной горной массы на карьерах в зависимости от диаметра среднего куска. Горный журнал, № 12, Москва, 1968 /Соавтор И.С. Кушлин/.

2. Разрушение горных пород падающим грузом. Горный журнал, № 2, Москва, 1969 /Соавторы В.Ф. Боровиков, И.С. Куклин и др./.
3. Основные задачи по дальнейшему внедрению новых методов разрушения негабарита на рудных карьерах. Горный журнал, № 2, Москва, 1969г. / Соавторы: И.С. Куклин, В.М. Аленичев, А.Н.Шилин/.
4. Методика определения разрушаемости скальных горных пород ударными нагрузками. Конференция молодых ученых ИГД /тезисы докладов/, Свердловск, 1969 /Соавторы: В.Г. Кузнецов, Б.Г.Козлов/.
5. Обоснование оптимальной энергии единичного удара бутобоя. Конференция молодых ученых ИГД /тезисы докладов/, Свердловск, 1969 / Соавтор В.Г. Кузнецов/.
6. Исследование и оценка разрушаемости негабарита горных пород ударом. Конференция ВУЗ'ов СССР по физике горных пород и процессов /тезисы докладов/, Москва, 1969 /Соавторы: И.С.Куклин, В.Г. Кузнецов/.
7. Исследование объёмного электротермомеханического ослабления и разрушения горных пород. Труды первой Всесоюзной научно-технической конференции 28 октября - 1 ноября 1969г., Днепропетровск, 1969 /Соавторы: И.С.Куклин, Г.В. Хрущев, К.И. Потапов, В.Г. Кузнецов/.
8. Вторичное дробление горных пород механическим способом. Сб. трудов ИГД МЧМ СССР, Механизация горных работ, Свердловск /Соавторы: И.С.Куклин, В.М. Аленичев, В.Г. Кузнецов и др/.
9. Гидропневматический ударник двойного действия. Решение Комитета о выдаче авторского свидетельства по заявке от 2 июля 1969г. № 1278388/29-33/ Соавторы: И.С. Куклин, В.Г.Кузнецов и др.

---

Подписано в печать 30/III-71 г. Объем 1,5 печ.л.

Формат бумаги 60x90/16 Зак.892 Тир.200 Д-05358

---

г. Фрунзе, тип. АН Кирг.ССР  
ул. Пушкина, 144