

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ПЕТЕЛИН Эдуард Анатоліевич

УДК 622.235

РАЗРАБОТКА ВИСОКОЭФЕКТИВНИХ СРЕДСТВ  
ВЗРИВНОГО ДРОБЛЕНИЯ СКАЛЬНИХ МАССИВОВ  
С УЧЕТОМ ИХ ЭНЕРГОНАСИЩЕНИЯ

Специальность 05.15.11 - "Физические процессы горного  
производства"

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

Днепропетровск - 1993

Работа выполнена в Днепропетровск



00814776 (X)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор  
**БАРАНОВ Е.Г.**

Официальные оппоненты - член-корреспондент АН Украины,  
 доктор технических наук, профессор  
 ЕФРЕМОВ Э.И.

кандидат технических наук, старший  
 научный сотрудник  
 ДЯДЮШКО В.Р.

Ведущее предприятие - предприятие "Донецквзрывпром"

Защита диссертации состоится "29" июня 1993г. в  
14<sup>03</sup> часов на заседании специализированного совета К 068.08.01  
 в Днепропетровском горном институте по адресу: 320027, г. Днепропетровск, 27, пр.К.Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДГИ.

Автореферат диссертации разослан "28" мая 1993 г.

Ученый секретарь  
 специализированного совета  
 кандидат технических наук, доцент *В.В. Харченко* ХАРЧЕНКО В.В.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Существующие требования к процессу взрывоподготовки и технология ведения буровзрывных работ не позволяют в настоящее время успешно решать вопросы комплексного сбережения минеральных и энергетических ресурсов. В этой ситуации по Украине только на карьерах Докучаевского ФДК, Балаклавского, Новотроицкого РЧ и Агаловского карьероуправления это приводит к существенному переизмельчению подготавливаемого взрывом исходного материала и потерям до 7.4 млн.т. полезного ископаемого в год.

Причина этого явления объясняется прежде всего неадекватным энергонасыщением массивов горных пород при их взрывоподготовке.

Вопросы рационального использования энергии взрыва, процесса трансформирования ее в горную породу и характер распределения этой энергии по видам работы исследовались довольно широко. Это способствовало тому, что в последние годы созданы и нашли широкое применение ряд эффективных средств взрывного дробления горных пород, включая и методы управления действием взрыва. Однако, как показывает практика открытых горных работ, они, в своей основе, не преследовали целей комплексного ресурсосбережения.

В этой связи актуальной является научно-техническая задача разработки высокоэффективных и универсальных средств взрывного дробления скальных массивов, позволяющих свести к минимуму потери минерального сырья из-за переизмельчения его на стадии взрывоподготовки.

Диссертационная работа выполнена в рамках хозяйственной работы № 020475 "Разработка и внедрение технологии отбойки горных пород ВВ на основе пенополистирола на карьерах ДФДК" (№ гос.регистрации UA 01000670P).

Цель работы является разработка высокоэффективных средств взрывного дробления скальных массивов на основе их рационального энергонасыщения (РЭ).

Идея работы заключается в использовании эффекта регулируемого нагружения массива на границе раздела сред "заряд - горная порода", достигаемого за счет введения в состав взрывчатого вещества (ВВ) низкоплотных активных добавок и создания направленных потоков продуктов взрыва (ПВ).

Научные положения, выносимые автором на защиту:

1. Величина диссипативных потерь энергии взрыва имеет степенную зависимость и возрастает пропорционально превышению давления ПВ над динамическим пределом прочности пород на сжатие. Работа дроб-

ления и перемещения горной породы пропорциональны общей энергии взрыва и определяются адекватностью параметров нагружения среды ее прочностным характеристикам при динамическом и статическом воздействии.

2. РЗ скального массива и получение заданного качества его дробления достигается снижением давления ПВ на границе раздела сред "заряд - горная порода" до величины динамического предела прочности пород на сжатие и увеличением эффективного времени существования направленного потока ПВ.

3. Смеси графмонита 79/21 с содержанием в них от 5% до 30% пенополистирола позволяют разрушать горные породы различного генезиса с пределом прочности на сжатие 87...200 МПа с минимальным переизмельчением отбитой горной массы.

Методы исследований. Решение поставленных задач осуществлялось с помощью комплекса современных методов исследований, включающего научный анализ и обобщение практики работ на карьерах, аналитические и экспериментальные исследования в лабораторных и полигонных условиях, корреляционный и регрессионный анализ, промышленные эксперименты и технико-экономический анализ.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается достаточным количеством лабораторных, полигонных и промышленных исследований; сходимость результатов аналитических и экспериментальных исследований, при этом отклонение результатов не превышает 20%, что является удовлетворительной степенью точности для рассматриваемых условий.

Научное значение работы состоит в получении аналитических выражений описывающих распределение энергии взрыва по видам работы, совершаемой ПВ в горной породе; в установлении критерия РЗ горных пород, обеспечивающего сочетание параметров взрывного нагружения с физико-техническими свойствами горных пород, отвечающее целям ресурсосбережения; в разработке гипотезы разрушения горных пород энергией взрыва состоящей в том, что их разрушение с минимальным выходом переизмельченных фракций происходит в диапазоне от динамического до статического предела прочности пород на сжатие.

Практическая ценность работы заключается в обосновании конструкций и определении параметров зарядов ВВ с регулируемой объемной энергией взрыва, позволяющих вести взрывоподготовку скальных массивов с минимальным переизмельчением исходного сырья и низкими диссипативными потерями энергии взрыва; в возможности подбора типа ВВ для конкретной горной породы исходя из целей взрывоподготовки; в прогнозировании ожидаемого гранулометрического состава отбитой горной мас-

ся на основании информации о детонационных характеристиках ВВ и прочностных свойствах горной породы.

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанные в диссертационной работе рекомендации и технические решения внедрены на Ходжаиканском солеруднике республики Узбекистан с экономическим эффектом свыше 1 млн. рублей (в ценах 1990 г.). Реализация выполненных разработок на карьерах Докучаевского ФДК позволяет получить экономический эффект свыше 24 млн. карбованцев в год (в ценах 1992 г.).

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на Всесоюзном совещании "Рудоподготовка и ее эффективность", г.Фрунзе, 1990 г., Первой международной конференции "Буровзрывные работы в строительстве" г.Москва, 1992 г., на межкафедральном семинаре Днепропетровского горного института г.Днепропетровск 1993 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 5 работ, получено положительное решение о выдаче авторского свидетельства на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, изложенных на 170 страницах машинописного текста, включая 28 рисунков, 27 таблиц, список литературы из 89 наименований и 2 приложений.

Автор выражает благодарность научному руководителю проф., д.т.н. Баранову Е.Г. и доц., к.т.н. Клочко И.И. за помощь и ценные советы при выполнении работы.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Проблеме повышения качества дробления горной массы и, в частности, снижению переизмельчения исходного сырья на карьерах флюсового сырья и стройматериалов на стадии первичной взрывоподготовки уделяется значительное внимание. Ей посвящены работы Н.В.Мельникова, В.В.Ржевского, Е.Г.Баранова, Л.И.Барона, А.О.Вовка, М.М.Докучаева, М.Ф.Друкованого, Г.П.Демидька, Э.И.Ефремова, Б.Н.Кутузова, В.М.Комира, Ф.И.Кучерявого, В.Н.Мосинца, Ю.С.Меца, В.Д.Петренко, К.Н.Ткачука, Н.Ч.Туруты, П.И.Федоренко, А.Н.Ханукаева, Е.И.Шемякина и других.

В этой связи повышение эффективности открытых горных работ должно достигаться совершенствованием технологического комплекса БВР за счет сбережения минеральных и энергетических ресурсов на стадии взрывоподготовки. Применительно к горнодобывающим предприятиям, разрабатывающим месторождения флюсового сырья и стройматериалов, это выражается в повышении качества и количества готовой продукции за счет сни

жения переизмельчения исходного сырья, в процессе взрывоподготовки.

Выполненным анализом установлено, что на современном этапе не удается добиться полной ликвидации переизмельчения и выхода некондиционных кусков при ведении взрывных работ на указанных предприятиях. Причина подобного явления состоит в том, что до сих пор не решен вопрос энергетического баланса между величиной энергии, выделяемой при взрыве заряда ВВ и ее количеством, реально необходимым для достижения требуемой степени дробления при отсутствии переизмельчения горной массы в процессе взрывоподготовки.

Все это требует создания высокоэффективных и универсальных средств взрывного дробления скальных массивов, построенных на принципиально иных концепциях проблемы энергонасыщения горных пород.

Исходя из анализа состояния вопроса в работе сформулированы и решены следующие задачи:

1. Изучить характер распределения энергии взрыва в горных породах по видам работ.
2. Исследовать влияние параметров взрывного нагружения зарядами ВВ горных пород на их энергонасыщение.
3. Установить условия достижения РЭ скальных массивов на стадии взрывоподготовки, обеспечивающие протекание процесса разрушения горных пород с их минимальным переизмельчением.
4. Обосновать и разработать средства взрывного дробления скальных массивов, позволяющие получать требуемый гранулометрический состав отбитой горной массы.

Выполненным анализом установлено, что в существующих требованиях к взрывоподготовке не учитывается физическая сущность реального процесса разрушения горных пород взрывом.

В этой связи в работе основной концепцией принято утверждение, что процесс взрывоподготовки скальной горной массы должен рассматриваться прежде всего как физический процесс, протекающий в системе "заряд ВВ - горная порода" и адаптируемый под конкретные технологические требования и горно-геологические условия. Это значит, что перечень требований к взрывоподготовке должен быть дополнен следующим требованием, имеющим приоритетное значение:

- взрывоподготовка скальных массивов флюсового сырья и строительных материалов должна обеспечивать РЭ горных пород, т.е. протекать с наименьшими энергозатратами на переизмельчение полезного ископаемого при наибольшем расходе энергии взрыва на его дробление при заданных технологических требованиях и горно-технических условиях.

Установлено, что реализация РЭ горных пород на стадии взрыво-

подготовки может быть достигнута при адаптировании задающих (характеристики массивов и горных пород) и ограничивающих факторов (показатели качества исходного и конечного продуктов) посредством активных факторов (т.е. характеристик промышленных ВВ и технологических средств).

При изучении условий достижения РЗ скальных массивов на стадии взрывоподготовки за основу была принята известная математическая модель, предложенная В.Н. Родионовым для оценки величины используемой энергии при взрыве в твердой среде, основанная на следующих допущениях: расширение зарядной полости от начального объема ( $V_n$ ) до конечного ( $V_k$ ) оценивается по изменению внутренней энергии ПВ; между ПВ и горной породой отсутствует теплообмен, а проникновение их в трещины при расширении вследствие кратковременности процесса - незначительно; момент начала расширения зарядной полости характеризуется полным превращением ВВ в ПВ и установлением среднего давления; изменение внутренней энергии ПВ будет происходить равномерно по всему объему.

Учитывая, что явление повышения прочности горных пород при увеличении скорости нагружения отмечено многими исследователями при решении рассматриваемой задачи было принято, что прочностной параметр среды  $R_{max}$  (по В.Н. Родионову) соответствует динамическому пределу прочности горных пород на сжатие  $\sigma_{дин}$ . Как установлено исследованиями института геофизики АН Украины, величина  $\sigma_{дин}$  определяется по выражению

$$\sigma_{дин} = k \sigma_{ст}, \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент, зависящий от скорости нагружения горной породы;  $\sigma_{ст}$  - статический предел прочности горной породы на одноосное сжатие, Па.

Развивая это положение можно утверждать, что диапазон изменения прочностных характеристик горных пород лежит в пределах от  $\sigma_{дин}$  до  $\sigma_{ст}$  и дробление последних будет происходить в этом диапазоне изменения давления взрывного нагружения.

Наложение на изоэнтропу расширения ПВ, построенную в логарифмической системе координат  $P-V$  (рис.1) (здесь  $P$ ,  $V$  - соответственно давление и удельный объем ПВ в зарядной полости), прочностных параметров горной породы  $\sigma_{дин}$  и  $\sigma_{ст}$  позволило установить критерий и условия достижения РЗ горных пород на стадии взрывоподготовки.

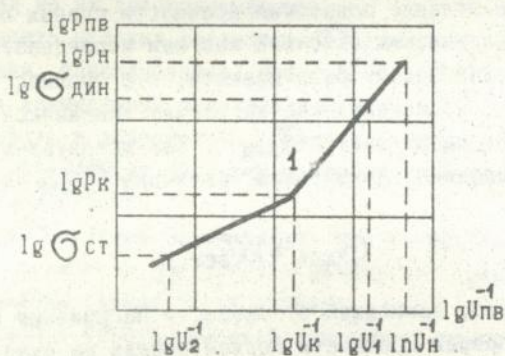
Из рис.1 видно, что изменение объема полости от  $V_n$  до  $V_k = \sigma_{дин}$ , соответствующего начальному давлению ПВ  $P_n$  до  $V_k = \sigma_{дин}$ , сопровождается дис-

сипативними потерями, т.к.  $P_H$  превосходит  $\sigma_{дин}$ . Дальнейшее изменение объема полости от  $V_1 \equiv \sigma_{дин}$  до  $V_2 \equiv \sigma_{ст}$  соответствует работе дробления. Оставшаяся в полости объемом  $V_2$  доля энергии ПВ в случае камуфлета безвозвратно теряется, а при взрыве скважинного заряда ВВ используется на перемещение горной породы при расширении ПВ от давления, соответствующего объему  $V_2$  до давления окружающей среды.

Таким образом, критерий РЗ обуславливается характером распределения энергии взрыва в горной породе по видам работы и состоит в следующем:

- максимальная доля энергии взрыва должна быть затрачена на работу дробления в диапазоне давлений от  $\sigma_{дин}$  до  $\sigma_{ст}$ , при отсутствии диссипативных потерь (переизмельчения горной породы) в диапазоне давлений от  $P_H$  до  $P_{пв} \equiv \sigma_{дин}$  и минимальных затратах энергии взрыва на перемещение раздробленной горной породы.

Расчетная схема к определению условий рационального энергонасыщения горных пород



1- изохропа расширения ПВ.

Рис.1.

Отличие рассматриваемой задачи от исследований В.Н. Родионова состоит в том, что взаимодействие ПВ с горной породой на границе раздела сред рассматривается поэтапно. Это позволило установить критерий РЗ горных пород, определить затраты энергии взрыва на диссипативные потери или работу переизмельчения горной породы ( $A_{дис}$ , Дж/кг), на работу дробления горной породы ( $A_{др}$ , Дж/кг), на работу по перемещению дробленой горной массы ( $A_{ост}$ , Дж/кг), а также установить

соотношения между различными видами работы взрыва и величину оптимальной плотности заряжения для конкретных ВВ и горных пород, обеспечивающую максимальное перераспределение энергии взрыва заряда ВВ на работу дробления.

Для определения условий достижения РЗ горных пород на стадии взрывоподготовки была выполнена оценка эффективности действия различных ВВ в горных породах с учетом критерия их РЗ.

Эта оценка обусловила изучение 7-ми вариантов различных сочетаний, определяемых типом ВВ и видом горной породы:

$$\begin{aligned}
 & 1 \left\{ \begin{array}{l} P_H > G_{\text{дин}} \\ G_{\text{ст}} < P_K < G_{\text{дин}} \end{array} \right. ; \quad 2 \left\{ \begin{array}{l} P_H > G_{\text{дин}} \\ P_K > G_{\text{дин}} \end{array} \right. ; \quad 3 \left\{ \begin{array}{l} P_H \leq G_{\text{дин}} \\ G_{\text{ст}} < P_K < G_{\text{дин}} \end{array} \right. ; \\
 & 4 \left\{ \begin{array}{l} P_H \leq G_{\text{дин}} \\ P_K < G_{\text{ст}} \end{array} \right. ; \quad 5 \left\{ \begin{array}{l} P_H > G_{\text{дин}} \\ P_K < G_{\text{ст}} \end{array} \right. ; \quad 6 \left\{ \begin{array}{l} P_H \approx P_K > G_{\text{дин}} \\ P_H \approx P_K \leq G_{\text{дин}} \end{array} \right. , \quad (2)
 \end{aligned}$$

где  $P_K$  - давление ПВ в точке сопряжения изоэнтроп, Па.

Интегрирование уравнения изоэнтропы расширения ПВ в диапазонах изменения  $V_{\text{пв}}$  от  $V_H$  до  $V_1$ , от  $V_1$  до  $V_2$  и от  $V_2$  до  $V_3$  (здесь  $V_3$  - удельный объем ПВ, до которого рассматривается их расширение) позволило установить выражения для определения  $A_{\text{дин}}$ ,  $A_{\text{др}}$ ,  $A_{\text{ост}}$  с помощью которых выполнялась оценка для указанных семи вариантов. Выражения для определения  $A_{\text{дин}}$ ,  $A_{\text{др}}$  и  $A_{\text{ост}}$  (по 1-му варианту) представлены ниже.

$$A_{\text{дин}} = \frac{P_H}{\rho_0(1-k)} \left[ \left( \frac{G_{\text{дин}}}{P_H} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (3)$$

$$A_{\text{др}} = \frac{P_H R}{\rho_0} \left[ \frac{1}{(1-k)} - \frac{1}{(1-g)} \right] + \frac{1}{\rho_0} \left[ \frac{P_H^{\frac{1}{g}} G_{\text{ст}}^{\frac{g-1}{g}} R^{\frac{(k-g)}{g(k-1)}}}{(1-g)} - \frac{P_H^{\frac{1}{k}} G_{\text{дин}}^{\frac{k-1}{k}}}{(1-k)} \right], \quad (4)$$

$$A_{\text{ост}} = \frac{1}{\rho_0(1-g)} \left[ \frac{P_H R^{\frac{k-g}{k-1}} \rho_{\text{ост}}^{(g-1)}}{\rho_0(g-1)} - P_H^{\frac{1}{g}} G_{\text{ст}}^{\frac{g-1}{g}} R^{\frac{(k-g)}{g(k-1)}} \right], \quad (5)$$

$$\text{где } R = \frac{(g-1)}{(k-g)} \left( \frac{(k-1) Q_v}{V_H P_H} - 1 \right)$$

$\rho_0$  - плотность заряжения ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $k, g$  - показатели изоэнтропы;  $Q_v$  - теплота взрыва ВВ, Дж/кг;  $\rho_{\text{ост}}$  - плотность ПВ, до которой рассматривается их расширение, кг/м<sup>3</sup>.

При оценке вариантов, представленных выражениями (2) определяли величины  $A_{дис}/Q_v$ ,  $A_{др}/Q_v$ ,  $A_{ост}/Q_v$  для различных сочетаний ВВ и горной породы и сопоставляли их между собой по критерию РЭ. Для оценки были выбраны гранит, мрамор, магнезит, доломит и флисовые породы девяти промышленных зон Докучаевского ФДК, т.е. породы различного генезиса с пределом прочности на сжатие от 0,035 ГПа до 0,2 ГПа. В расчетах принимали, что взрывоподготовка этих пород осуществляется тротилом, граммонитом 30/70 и 79/21, аммонитом 6ЖВ, гранулитом, игданитом, смесь граммонита 79/21 с пенополистиролом ПСВ-СП в различном процентном соотношении и другими промышленными ВВ.

Анализ полученных расчетных значений  $A_{дис}/Q_v$ ,  $A_{др}/Q_v$ ,  $A_{ост}/Q_v$  позволил установить, а полигонные и промышленные экспериментальные исследования подтвердили следующее:

1. Современный ассортимент ВВ не в состоянии обеспечить РЭ горных пород различного генезиса на стадии взрывоподготовки;

2. РЭ горных пород обеспечивается прогрессивным снижением диссипативных потерь в ближней зоне действия взрыва при выполнении одного из следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_H \leq \sigma_{дин} \\ \sigma_{ст} < P_K < \sigma_{дин} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} P_H \leq \sigma_{дин} \\ P_K < \sigma_{ст} \end{array} \right. ; \left\{ \begin{array}{l} P_H \approx P_K \leq \sigma_{дин} \end{array} \right. \quad (6)$$

3. Выражения для расчета  $A_{дис}$ ,  $A_{др}$  и  $A_{ост}$  позволяют подобрать пару "ВВ - горная порода" по критерию РЭ.

4. Целенаправленное изменение плотности заряжания ВВ ( $\rho_0$ ), скорости детонации ВВ ( $D$ ) и теплоты взрыва ВВ ( $Q_v$ ) способствует перераспределению энергии взрыва до 50% и более на выполнение работы дробления горных пород, а, следовательно, позволяет регулировать качество их дробления. Варьирование  $\rho_0$ ,  $D$  и  $Q_v$  возможно за счет введения в состав ВВ активных чаполнителей, например, пенополистирола.

5. Смеси граммонита 79/21 с пенополистиролом ПСВ-СП позволяют сформировать параметрический ряд "ВВ- горная порода" для широкого спектра горных пород.

6. Смеси граммонита 79/21 с пенополистиролом ПСВ-СП обеспечивают разрушение горных пород различного генезиса с пределом прочности на сжатие от 0,0875 до 0,2 ГПа в режиме РЭ (табл.1). Это обеспечивается адаптацией детонационных параметров ВВ и прочностных характеристик горных пород по 4-му варианту (выражения (2)) за счет варьирования процентным содержанием в смеси пенополистирола.

7. В условиях ФДК применение смесей граммонита 79/21 с пено-

полистиролом ПСВ-СП позволит снизить диссипативные потери энергии взрыва, а, следовательно, и переизмельчение горной массы с 24,0 - 12,0% практически до нуля (табл.1) (диссипативные потери энергии взрыва, обусловленные выходом детонационной волны на границу раздела сред "ВВ - горная порода" при этом не учитывались).

Таблица 1

Распределение энергии взрыва по видам работы, совершаемой продуктами взрыва в горных породах для смесей графмонита 79/21 с пенополистиролом ПСВ-СП

Горная порода или номер промышленной зоны для флюсовых пород ДФДК	Предел прочности горной породы на сжатие $\sigma_{сж}$ , ГПа	Распределение энергии взрыва в % от теплоты взрыва			Процентный состав смеси ВВ:ПСВ-СП
		диссипативные потери $A_{дис}$ , %	на работу дробления горной породы $A_{др}$ , %	на работу по перемещению отбитой горной массы $A_{ост}$ , %	
Гранит	0,2	0	57,5	39	95:05
Мрамор	0,13	0	46,8	37	80:20
Магнезит	0,0875	0	36,6	33,2	70:30
Н зоны 1-9	0,0924-1,38	0-6,1 *)	41,7-53,8 *)	34,6-37,9	от 85:15 до 75:25
Н зоны 1-9	- и -	24,0-12,0	44,2-51,2	31,2-36,3	100:0

\*) - большие значения  $A_{дис}$ ,  $A_{др}$  соответствует меньшему содержанию ПСВ-СП в смеси.

Реализация требования по РЗ горных пород на стадии взрывоподготовки возможна за счет регулирования объемной плотностью энергии взрывчатого превращения заряда ВВ. Это обеспечивается как применением ВВ на основе пенополистирола, так и использованием эффекта кумуляции энергии взрыва в виде образования направленных потоков ПВ с различной интенсивностью и пространственной ориентацией.

Для исследования особенностей нагружения горных пород направленными потоками ПВ нами были приняты следующие допущения: дробление горных пород энергией взрыва происходит в диапазоне давлений ПВ от динамического до статического предела прочности пород на сжатие; направленный поток ПВ представляет собой ударную волну (УВ) с параметрами газа за ее фронтом  $P_2$ ,  $\rho_2$ ,  $u_2$ ; при оценке направленного потока

ПВ правомерно говорить о скорости потока  $U$ , о его плотности  $\rho$ , давлении, оказываемом потоком на преграду  $P$ , а также о времени его существования  $t_{\text{эф}}$ , т.к. понятие длины кумулятивной струи  $l$  справедливо для кумулятивных зарядов с металлической облицовкой кумулятивной выемки.

Такая постановка вопроса позволила установить следующее.

Скорость движения границы раздела сред "газовая кумулятивная струя (поток ПВ) - горная порода" (с учетом прочности породы) определяется по выражению

$$u_x = U \sqrt{\frac{2}{R(2+d_2)} - \frac{22d_2 G_{\text{ст}}}{(2+d_2)\rho_{20}U^2}}, \quad (7)$$

где  $R = \left(1 + \sqrt{\left(\frac{d_1}{d_2}\right) \frac{\rho_{20}}{\rho_{10}}}\right)^2$

$d_1, d_2$  - соответственно сжимаемость кумулятивного потока и преграды;  $\rho_{10}, \rho_{20}$  - соответственно начальные плотности кумулятивного потока и преграды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $U$  - скорость удара (массовая скорость кумулятивного потока),  $\text{м/с}$ .

Давление на границе раздела сред  $P_x$  равно давлению за фронтом отраженной ударной волны  $P_3$ .

Глубина проникновения кумулятивного потока в горную породу определяется эффективным временем его существования:

$$L = u_x t_{\text{эф}} = u_x \left( \frac{(2d+h)}{D_{\text{оуб}}} + \Delta t \right), \quad (8)$$

где  $d$  - расстояние от заряда до преграды,  $\text{м}$ ;  $h$  - высота кумулятивной выемки,  $\text{м}$ ;  $D_{\text{оуб}}$  - скорость фронта отраженной ЧВ,  $\text{м/с}$ ;  $\Delta t$  - время падения давления от  $G_{\text{ами}}$  до  $G_{\text{ст}}$ ,  $\text{с}$ .

Расчетные значения параметров направленного потока ПВ и параметров нагружения показали:

1. Давление на границе раздела сред  $P_x$  значительно превышает предел динамической прочности горных пород на сжатие. Для гранита это превышение составляет 2,5-21 раз, для мрамора 4-32 раза, для доломита 14,6-120 раз. Такое превышение давления будет вызывать интенсивную диссипацию энергии взрыва в месте контакта кумулятивного потока ПВ с горной породой.

2. Высокие параметры кумулятивных потоков ПВ, создаваемые зарядами ВВ типа тротила не всегда целесообразны, т.к. время существования кумулятивных потоков ПВ в 1,5-2 раза выше для зарядов ВВ с пониженными детонационными характеристиками (аммонит БХВ), а увеличение

времени приложения нагрузки, как известно, позволяет трансформировать в массив большую энергию.

3. Основными параметрами, характеризующими эффективность нагружения горной породы зарядами ВВ направленного действия являются: давление на границе раздела сред "кумулятивный поток - горная порода"  $P_x$ , скорость потока  $U$ , эффективное время воздействия кумулятивного потока на горную породу  $t_{эф}$ .

4. С учетом критерия РЗ горных пород целесообразно снизить давление на границе раздела сред "кумулятивный поток - горная порода" до значения динамического предела прочности горной породы на сжатие  $\sigma_{дин}$ , при одновременном увеличении площади приложения нагрузки и увеличении  $t_{эф}$ , в частности  $\Delta t$ , что позволяет сократить диссипативные потери энергии взрыва и переизмельчение горной породы в месте контакта потока ПВ с горной породой.

Известно, что при соударении двух одинаковых струй под некоторым углом образуются две струи, движущиеся в противоположные стороны в направлении биссектрисы угла схождения. Подобный эффект наблюдается при кумуляции газовых потоков ПВ заряда ВВ, когда некоторая часть вновь образованного потока движется в сторону, противоположную направлению движения кумулятивного потока ПВ. Создав условия для торможения этой части потока возможно увеличение значения  $\Delta t$  за счет того, что энергия заторможенных ПВ будет перераспределена в кумулятивный поток, обеспечив тем самым его энергетическую подпитку и увеличение продолжительности существования.

С учетом этого условия была разработана конструкция удлиненного кумулятивного заряда (УКЗ) для дробления горных пород (положительное решение о выдаче А.С. от 30.05.91г.), в которой реализовано торможение указанного выше потока за счет создания "газовой забойки" на пути его распространения. "Газовая забойка" образуется в результате концентрации ПВ в логарифмической кумулятивной полости.

Лабораторные исследования разлета ПВ, выполненные с помощью установки СФР-2М, работающей в режиме "лупы времени", подтвердили высокую эффективность торможения потока "газовой забойкой".

Полигонная проверка эффективности действия УКЗ по методу воронкообразования подтвердила их преимущество по сравнению с контрольными кумулятивными зарядами (массой 1 кг) имеющими коническую кумулятивную выемку. При этом установлено, что максимальный объем воронки выброса составил  $0,00736 \text{ м}^3$  при заряде ВВ массой 0,8 кг, что в 1,35 раза больше, чем в случае контрольного взрывания.

Таким образом выполненные исследования показали, что для сниже-

ния диссипативных потерь энергии взрыва и переизмельчения горной породы на границе раздела сред "ВВ - горная порода" необходимо ограничить на уровне  $\sigma_{\text{дин}}$  давление  $P_x$ , создаваемое направленным потоком ПВ на контакте его с горной породой, а для накладных зарядов ВВ направленного действия наряду с ограничением давления  $P_x$ , увеличить эффективное время существования кумулятивного потока ПВ  $t_{\text{эф}}$ .

Как известно, массив горных пород не является однородным по своему строению и физико-механическим свойствам. На естественную неоднородность строения и физико-механических свойств скальных массивов накладывается неоднородность в виде зон дезинтеграции различной интенсивности, вызванная технологическими процессами. Размещение зарядов ВВ в зонах с естественными показателями свойств приведет к усреднению всех характеристик скального массива. Расположение зарядов ВВ в зонах с пониженными значениями прочностных и упругих свойств горных пород вызовет их переизмельчение при сохранении свойств остатальной части скального массива. Таким образом, рациональное размещение зарядов ВВ в пределах скального массива горных пород должно определяться показателями качества готового продукта.

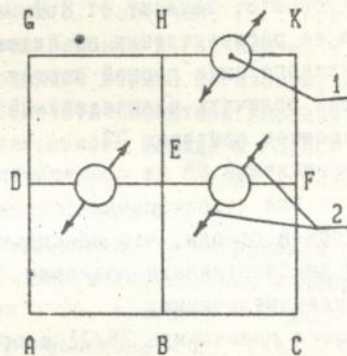
Для получения информации о состоянии массива необходимо перед бурением скважин провести оценку его свойств, например, по скорости звука в массиве, которая, как нами установлено, хорошо коррелирует с прочностью горной породы на сжатие.

Для этого необходимо определить величину  $K = v/v_T$ , где  $v$ ,  $v_T$  - соответственно скорость волны в массиве опытная и табличная (по геологическим данным), м/с. Если  $0 < K < 0,5$ , то этот участок скального массива находится в состоянии предразрушения и бурить скважину в этой части массива нецелесообразно. При  $0,5 \leq K \leq 1$  можно сделать вывод, что прочностные и упругие свойства снизились незначительно, массив не потерял своей сплошности, но для разрушения его необходимо подвергнуть взрывному воздействию умеренной интенсивности, в отличие от участков со значением  $K = 1$ .

Известно, что в скважинных зарядах со сплошной колонкой ВВ при диаметрально противоположном инициировании за счет направленного истечения ПВ, возможно перераспределение интенсивности выделения энергии взрыва по разным направлениям. В этом случае выбирают участки скального массива, которым соответствует значения  $0,5 \leq K \leq 1$  и на сторонах квадратов, вдоль которых размещаются эти участки, располагают скважины для зарядов ВВ (рис.2). Пусть участки массива горных пород, ориентированные вдоль сторон А-Д и В-Е, а также вдоль Н-Е и F-К, характеризуются значением  $K = 0,5$ . Поскольку участки с таким

значением  $K$  близки к состоянию предразрушения, то на них скважины не располагают, а их нагружение обеспечивается за счет направленного истечения ПВ. На участках горного массива со значениями  $0 < K < 0,5$  скважины не располагают и направленное истечение ПВ на них не ориентируют. Однако, эти участки будут подвергаться действию взрыва, интенсивность воздействия которого в 2-2,5 раза ниже за счет перераспределения энергии взрыва вследствие направленного истечения ПВ.

Схема размещения скважин под заряды ВВ



1 - скважина под заряд ВВ; 2 - направление истечения ПВ с повышенной энергией.

Рис. 2.

Такой порядок размещения скважинных зарядов ВВ в горном массиве, их конструкция и способ инициирования позволяют составлять паспорт БВР с учетом РЗ скального массива.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены результаты нового решения актуальной научно-технической задачи, заключающейся в разработке высокоэффективных и универсальных средств взрывного дробления скальных массивов, позволяющих свести к минимуму потери минерального сырья из-за переизмельчения его на стадии взрывоподготовки.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили:

- разработать новую математическую модель, описывающую распре-

деление энергии взрыва ВВ по видам работы, совершаемой ПВ в горной породе;

- предложить критерий РЗ горных пород на стадии взрывоподготовки;
- определить, что РЗ горных пород обеспечивается прогрессивным снижением диссипативных потерь в ближней зоне действия взрыва при выполнении одного из следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_H \leq \sigma_{дин} \\ \sigma_{ст} < P_K < \sigma_{дин} \end{array} \right. ; \quad \left\{ \begin{array}{l} P_H \leq \sigma_{дин} \\ P_K < \sigma_{ст} \end{array} \right. ; \quad \{ P_H \approx P_K \leq \sigma_{дин}$$

- показать, что результат взрыва и, в частности, выход переизмельченных фракций и негабарита, зависят от количества энергии взрыва заряда ВВ и характера ее распределения по видам работы (затрат энергии) взрыва, а для каждого вида горной породы существует определенный тип ВВ, позволяющий получить распределение энергии взрыва по формам работы, удовлетворяющее критерию РЗ;

- установить, что применение ВВ на основе пенополистирола позволяет привести в соответствие детонационные параметры ВВ и прочностные характеристики горной породы, что обеспечивает разрушение последней с минимальными диссипативными потерями, а следовательно, прогрессивное снижение переизмельчения;

- установить, что смеси графмонита 79/21 с пенополистиролом ПСВ-СП позволяют разрушать горные породы различного генезиса с величиной  $\sigma_{ст} = 0,0875 - 0,2$  ГПа в режиме РЗ и могут использоваться взамен чистого графмонита 79/21 и аммонита БХВ;

- показать, что увеличение длительности существования направленного потока и снижения давления в нем до величины  $\sigma_{дин}$  при одновременном увеличении площади приложения нагрузки способствует снижению диссипативных потерь энергии взрыва в ближней зоне.

- определить, что ультразвуковое зондирование скального массива, диаметрально противоположное инициирование скважинных зарядов ВВ (заряды ВВ направленного действия), скважинные заряды ВВ с регулируемой объемной энергией (за счет введения в них пенополистирола) составляют активные факторы, обеспечивающие отбойку горной массы с требуемыми показателями качества.

Внедрение на карьерах Докучаевского ФДК ВВ на основе пенополистирола с учетом РЗ массива горных пород, позволяет получить экономический эффект в размере 24 млн. 124 тыс. карбованцев в год (в ценах по состоянию на 1 декабря 1992 г.).

На Ходжайонском ослеруднике республики Узбекистан внедрение паспорта БВР с учетом РЗ скального массива позволило получить эконо-

мический эффект в размере 1 млн. 105 тыс. руб. (в ценах по состоянию на 1 декабря 1990 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Возможности повышения эффективности взрывоподготовки флессового сырья на карьерах Докучаевского ФДК // Огнеупоры.- 1991.- №12.- С. 19-21 (соавторы: Баранов Е.Г., Ключко И.И., Грибовода А.Ф.)

2. Принципы оптимизации параметров системы "ВВ-горная порода" в комплексе БВР на карьерах стройматериалов // Первая международная конференция "Буровзрывные работы в строительстве": Сб. докладов / Редкол.: Б.Н. Кутузов, И.П. Балбачан, Г.Г. Гречушникова.- М., 1992.- С.121-126. (соавторы: Баранов Е.Г., Ключко И.И.).

3. О разлете продуктов взрыва в газокумулятивных зарядах // ФГВ.- 1991.- №6.- С.127-131. (соавторы: Баранов Е.Г., Ключко И.И.).

4. Действие кумулятивного заряда в горной породе и расчет параметров нагружения // Изв.вузов. Горный журнал.- 1992.- №3.- С. (соавторы: Баранов Е.Г., Ключко И.И.).

5. Исследования эффективности нагружения горной породы кумулятивными зарядами // Первая международная конференция "Буровзрывные работы в строительстве": Сб. докладов / Редкол.: Б.Н. Кутузов, И.П. Балбачан, Г.Г. Гречушникова.- М., 1992.- С.133-138 (соавторы: Баранов Е.Г., Ключко И.И.).

6. Положительное решение от 30.05.91 о выдаче А.С., МКИ F42 В 1/02. Удлиненный кумулятивный заряд для дробления горных пород. Заявл. 19.02.90. (соавтор Ключко И.И.)

Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве:

- [1] - установлена аналитическая зависимость выхода готовой продукции от удельной энергии и предложены пути снижения выхода переизмельченных фракций полезного ископаемого;
- [2] - определено условие достижения РЗ горных пород и получены аналитические выражения, описывающие распределение энергии взрыва по видам работы;
- [3] - выполнены экспериментальные исследования особенностей формирования направленных потоков ПВ;
- [4] - выполнены теоретические исследования параметров нагружения горных пород направленными потоками ПВ;
- [5] - выполнены работы по исследованию параметров нагружения горных пород зарядами ВВ направленного действия различных конструкций;
- [6] - предложено осуществлять торможение продуктов взрыва газовой забойкой, формируемой в логарифмической кумулятивной полости;



ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

465816

Ab 27.625

**AB 27.625**