

6  
А-55

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ**

---

*На правах рукописи  
ДОРОВСКОЙ В. А.*

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗРЫВНЫХ  
РАБОТ В ПРОКОДЧЕСКИХ ЗАБОЯХ ШАХТ  
КРЕМЛЯССА**

**Специальность 05.311 Подземная разработка  
и эксплуатация угольных, рудных и нерудных  
месторождений**

(на русском языке)

**А в т о р е ф е р а т**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Кривой Рог  
1971**

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР  
КРИВОРОЖСКИЙ ГОРНОРУДНЫЙ ИНСТИТУТ

---

На правах рукописи  
ДОРОВСКИЙ В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ПРОХОДЧЕСКИХ ЗАБОЯХ ШАХТ КРИВБАССА

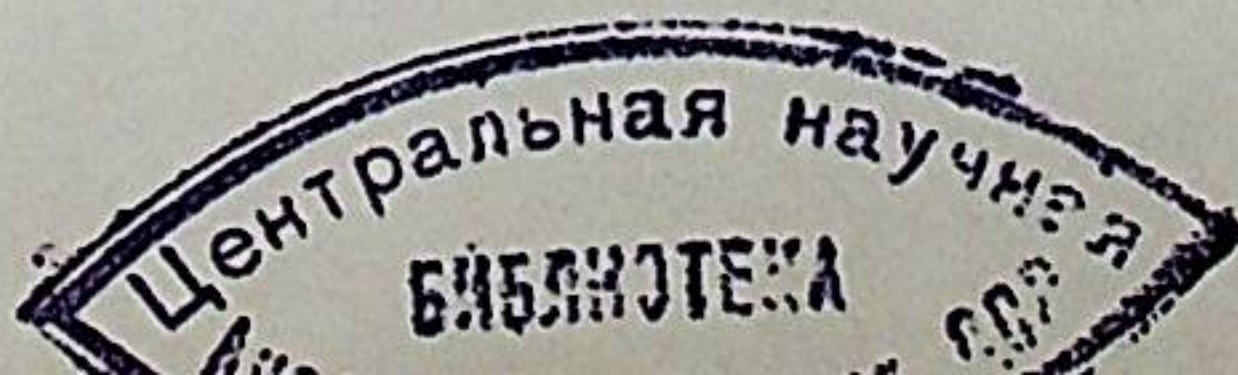
Специальность 05.311 Подземная разработка и эксплуатация  
угольных, рудных и нерудных месторождений

( на русском языке )

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
технических наук

Кривой Рог  
1971



55  
Диссертационная работа выполнена в Криворожском горно-рудном институте.

Промышленные эксперименты проведены на железорудных шахтах Кривбасса.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

канд. техн. наук, доцент ТКАЧУК К.Н.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

доктор технических наук, профессор КУЧЕРЯВЫЙ Ф.И.

кандидат технических наук, доцент ДЯДЕЧКИН Н.И.

Ведущее предприятие - рудник Коминтерн треста "Ленинруда".

Автореферат разослан "25" сентября 1971 г.

Защита диссертации состоится "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1971 г.  
на заседании совета Криворожского горнорудного института  
г.Кривой Рог, 33, ул.Пушкина, 33, аудитория 300.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

(БАЗАЛИЙ Э.С.)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Девятым пятилетним планом развития народного хозяйства предусмотрены высокие темпы роста черной металлургии - одной из важнейших отраслей тяжелой индустрии нашей страны. В связи с этим, к концу 1980 г. планируется добыть 500 млн. тонн железной руды, из которых около 25% будет добыто подземным способом.

При подземной добыче полезных ископаемых наиболее трудоемким процессом является проведение горных выработок. В крепких скальных породах проходка выработок осуществляется как правило буровзрывным способом. В настоящее время при проходке горных выработок достигнут значительный прогресс взрывных работ, способствующих увеличению скорости проходки горных выработок и снижению трудоемкости отбойки горной массы в очистных и подготовительных забоях. Несмотря на увеличение скорости проходки горных выработок в забоях сечением больше II м<sup>2</sup>, величина КИШ и скорость проходки в забоях сечением меньше II м<sup>2</sup> - остаются попрежнему очень низкими.

Столь малая величина КИШ связана прежде всего с неэффективностью существующих врубов в забоях малого сечения. Поэтому решение задачи повышения эффективности взрывных работ в проходческих забоях, а следовательно, и производительности труда проходчиков требует дальнейшего совершенствования техники и технологии проходки горных выработок буровзрывным способом.

Значительный вклад в повышении эффективности взрывных работ внесли советские ученые: академики Н.В.Мельников, М.А.Лаврентьев, академик АН УССР Малахов Г.М., профессора Барон Л.И., Белаенко Ф.А., Власов О.Е., Демидюк Г.П., Докучаев М.Ф., Друкованый М.Ф., Кучерявый Ф.И., Кутузов Б.И., Миндели Э.О., Мосинец В.Н., Покровский Г.И., Петров Н.Г., Суханов А.Ф., Ханукаев А.И., канд. техн. наук Ткачук К.Н. Благодаря работам ученых и производственников достигнуты значительные успехи в повышении качества подготовки горной массы взрывом.

Однако несмотря на значительные успехи, эффективность БВР в проходческих забоях все еще остается низкой, особенно в выработках малого сечения. В связи с этим возникла необходимость в теоретических и экспериментальных исследованиях по разработке рациональных параметров БВР при проходке горных выработок. Этому должно предшествовать исследование физической сущности механизма разрушения горных пород взрывом, а также влияния параметров зарядов и их расположение на конечные результаты взрыва.

Цель работы. Целью настоящей диссертационной работы является совершенствование существующих и разработка новых более эффективных способов проходки горных выработок взрывным способом в крепких горных породах, позволяющих получать высокие значения КИШ (0,8-0,9) в выработках малого сечения.

Методика выполнения исследований. При выполнении работы были использованы:

- методы научного анализа и обобщения результатов наблюдений и экспериментов;
- метод моделирования действия взрыва оптически активными материалами с привлечением современных средств регистрации быстротекающих процессов;
- экспериментальный метод исследования распределения плотности потока энергии волны и величины КИШ при образовании врубовых полостей, в различном по структурному строению массиве, разными типами ВВ;
- методы промышленной проверки разработанных паспортов БВР;
- методы математической статистики.

Научная новизна. Впервые исследован механизм образования и разрушения врубовых полостей различного поперечного сечения. Доказана необходимость применения целевой формы вруба для устойчивой величины КИШ забоев.

Исследовано распределение плотности потока энергии волны при взрывании различных типов ВВ в слоистом, неоднород-

ном массиве.

Практическая ценность. Результаты исследований и рекомендации, приведенные в данной работе, могут служить практическим руководством для проектировщиков и производственников при составлении паспортов БВР для проходки горных выработок.

Предложен унифицированный паспорт БВР, позволяющий облегчить обучение наиболее квалифицированной части рабочих забойной группы - бурильщиков и проходчиков.

Реализация работы в промышленности. По данным в работе рекомендациям осуществлено проведение горизонтальных и вертикальных выработок на шахте "Октябрьская" и "Большевик" р-к им. Коминтерна. В результате внедрения предложенных рекомендаций получен экономический эффект в 25 тыс.руб. Рекомендации признаны эффективными.

Апробация работы. Работа доложена и обсуждена на двух научно-технических конференциях КГРИ и НИГРИ, на двух научных межкафедральных семинарах горного факультета Криворожского горнорудного института.

Публикация. По результатам выполненных исследований опубликовано 4 статьи и 4 находятся в печати.

Объем работы. Реферлируемая работа состоит из 5 глав и содержит 110 стр. машинописного текста, 28 табл., 40 рисунков, 10 стр. перечня использованной литературы и 5 стр. приложений.

Работа выполнялась на протяжении ряда лет в Криворожском горнорудном институте в лаборатории управления действием взрыва и в производственных условиях шахт треста "Ленинруда".

Большая помощь при проведении исследований была оказана автору коллективом отраслевой лаборатории МЧМ УССР управлением действия взрыва, а также инженерно-техническими работниками рудника Коминтерна треста "Ленинруда".

Глубокую благодарность автор выражает научному руководителю лаборатории академику АН УССР Г.М.Малахову, заведующему лабораторией, научному руководителю диссертационной работы канд. техн. наук, доценту Ткачуку К.Н. за ряд ценных советов и указаний.

## ГЛАВА I. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенного анализа существующего положения БВР в проходческих забоях установлено, что величина КИШ забоев определяется эффективностью действия врубовых зарядов. В настоящее время в проходческих забоях шахт Кривбасса применяют врубы с прямыми и наклонными шпурами. Из наклонных врубов наибольшее распространение получили клиновье и пирамидальные, которые, из-за зависимости угла наклона шпуров от сечения выработки, малоэффективны в выработках сечением до II м<sup>2</sup>. Прямые врубы более широко применяются при проходке выработок малого сечения. К основным типам прямых врубов можно отнести цилиндрические, воронкообразующие и щелевые.

Цилиндрические врубы требуют применения большого числа шпуров для разрушения выбуренной цилиндрической полости. Характерной особенностью забоев с цилиндрическими врубами является подбор или прострелы их, из-за кученности устьев шпуров.

Щелевые врубы из-за плохого выброса разрушенной части межшпурового пространства тоже не дают устойчивой величины КИШ забоев.

Основываясь на новейших достижениях физики взрыва и современных методах экспериментальных исследований, значительный вклад в развитие методов повышения эффективности взрывных работ в проходческих забоях внесли доктора техн. наук Барон Л.И., Э.О. Миндели, И.М. Протодьяконов, Н.М. Покровский, Н.Г. Петров, А.Ф. Суханов и др. Разработанные ими способы повышения эффективности взрывных работ в проходческих забоях позволили создать инженерные способы расчета рациональных параметров БВР для проходки горных выработок.

Создание новых способов повышения эффективности взрывных работ в проходческих забоях невозможно без всестороннего и четкого представления о процессе разрушения горных пород при взрывании одиночного заряда. Поэтому в диссертационной работе критически рассмотрены проведенные ранее исследования по вопросу действия взрыва в среде. В результате анализа технической литературы по вопросу действия взрыва в среде, установлено, что создание эффективных параметров БВР при проходке горных выработок

можно за счет всестороннего и глубокого изучения ряда физико-технических вопросов, которые еще недостаточно освещены в технической литературе и зачастую не имеют научной увязки с физическими процессами разрушения.

В частности недостаточно полно изучен процесс формирования поля напряжений с учетом структурных особенностей горных пород и параметров начального импульса. Изучение этого вопроса необходимо для дальнейшего совершенствования на научной основе существующих и разработке новых более эффективных способов образования врубовых полостей при проходке горных выработок.

Анализ новейших результатов исследований в области разрушения горных пород взрывом и многолетний опыт ведения проходческих работ буровзрывным способом на передовых горнодобывающих предприятиях Кривбасса показали, что для достижения указанной выше цели необходимо решить следующий комплекс основных физико-технических вопросов:

1. Исследовать основные закономерности процесса разрушения твердых сред взрывом и дать физическое обоснование влиянию структурных особенностей среды, параметров заряда и его расположения относительно слоистости на конечные результаты взрыва.

2. На основе физических представлений о действии взрыва на среду разработать эффективные способы образования врубовых полостей при проходке горных выработок с целью получения более высоких значений КИШ.

3. Разработать инженерные методы расчета основных параметров БВР при проходке горных выработок взрывным способом, обеспечивающих высокие значения КИШ.

4. Установить область эффективного применения разработанных паспортов буровзрывных работ при проходке горных выработок.

## ГЛАВА II. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении диссертационной работы использован комплексный метод исследований, включающий обобщение практики ведения взрывных работ при проходке горных выработок, экспери-

ментальные исследования по замеру параметров волн напряжений в лабораторных и промышленных условиях с применением методов динамической фотоупругости в сочетании с высокоскоростной киносъемкой в неполяризованном свете. Установка для исследования процесса разрушения создана на базе сверхскоростной фоторегистрирующей камеры типа СФР-Л. В качестве моделей использовали пластины плексигласа и стекла. Размеры модели выбирались такими, чтобы время прохождения прямой и отраженной волной расстояния от граней модели до границы съемки не превышало времени съемки, т.е.

$$A = 2 \left( z_c + \frac{n \cdot C_p}{V_{съем.}} \right);$$

$$B = z_c + \frac{n \cdot C_p}{V_{съем.}} + w,$$

где  $A$  — длина модели;  
 $B$  — ширина модели;  
 $w$  — Л.Н.С.;  
 $z_c$  — радиус съемки;  
 $n$  — количество кадров;  
 $C_p$  — скорость продольной волны напряжений;  
 $V_{съем.}$  — скорость съемки.

Регистрация параметров волн напряжений осуществляется при помощи пьезоэлектрических датчиков типа ИС-3И2, ИС-3И3 и электронных осциллографов типа СИ-19, СИ-29, которые вполне отвечают требованиям, предъявляемым к аппаратуре для регистрации взрывных импульсов.

Кроме пьезоэлектрических акселерометров для измерения импульсных давлений применялись емкостные сегнетоэлектрические датчики на основе титаната бария.

Перед производством замеров датчики тарировались на специальном тарировочном стенде. Обработка и анализ полученных результатов экспериментальных исследований производилась методами математической статистики.

### ГЛАВА III. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ ТВЕРДЫХ СРЕД ВЗРЫВОМ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ВРУБОВЫХ ПОЛОСТЕЙ

Воздействие взрыва на среду представляет собой весьма сложный процесс, зависящий от большого числа факторов, находящихся между собой в очень тесной связи. Среди них можно выделить главные, оказывающие существенное влияние на результаты взрыва и, второстепенные, степень, влияние которых зависит от конкретных условий.

Сложность изучения действия взрыва непосредственно в промышленных условиях заключается в том, что влияние второстепенных факторов столь сложно, а число их так велико, что сделанные на основе полученных данных выводы и рекомендации носят, как правило, частный характер. Поэтому одним из наиболее эффективных методов изучения явлений происходящих при взрыве, является моделирование процесса. Моделирование позволяет сократить количество дорогостоящих промышленных экспериментов, и, на основе полученных общих закономерностей установить качественную картину исследуемого процесса.

Для исследования процесса образования врубовых полостей, в диссертационной работе проведены эксперименты на моделях с применением сверхскоростной фоторегистрирующей установки.

Анализ полученных кинограмм процесса образования полостей напряжений и разрушений от взрыва заряда в безграничной среде и со свободной поверхностью показывает, что воронка разрушения образуется в результате действия сколовых напряжений. Сколовые напряжения, как показали результаты анализа кинограмм, полученных в поляризованном свете, появляются как результат отражения поперечной волны от свободной поверхности, образуя сколовые трещины, которые появляются в результате сдвига части взрывающей среды в сторону свободной поверхности.

После образования врубовой полости процесс дальнейшего разрушения среды определяется формой поперечного сечения полученной полости. Для установления влияния формы врубовой

полости на распределение полей напряжений и разрушения были проведены опытные взрывы в моделях с различной формой отверстия. Оценка влияния формы врубовой полости на устойчивость разрушения модели определялась по коэффициенту концентрации напряжений, который представляет собой отношение порядков полосы в моделях с отверстием и без него в тех же точках.

В результате аналитических и экспериментальных исследований установлено, что на контуре круглого отверстия коэффициенты концентрации напряжений имеют несколько чередующихся по знаку зон. Для отверстий, отличающихся по форме от кругового величина и знак коэффициентов концентрации напряжений зависят не только от длины и формы импульса давлений, но и от особенностей дифракций волн, связанных с заданной формой и расположением отверстия относительно фронта падающей волны. Анализируя проведенные экспериментальные исследования установлено, что максимальные коэффициенты концентрации напряжений сходятся на контуре квадратного отверстия возникают в случае воздействия волны сжатия по нормали к диагонали квадрата. При динамическом воздействии волны напряжений по нормали к стороне врубовой полости с поперечным сечением в виде прямоугольника или квадрата возникают напряжения сдвига, которые способствуют сколу модели. Площади воронок разрушения квадратного отверстия при воздействии сколовых напряжений в два раза большей, чем при взрывании на круглое отверстие. Следовательно, следует стремиться к образованию врубовой полости с поперечным сечением в виде щели с соотношением осей полости 1:4.

Большинство пород Кривбасса трещиноваты и неоднородны по своему составу. Поэтому при образовании врубовой полости щелевой формы на качество образования ее оказывают влияние структурные особенности взрываемого массива. В результате проведенных лабораторных исследований влияния структурных особенностей массива на распределение полей напряжений и разрушений установлено, что характер разрушения слоистых сред определяется ориентацией заряда относительно направления напластований, при этом зона разрушений от взрыва одиночного заряда эллипсообразная и вытянута вдоль слоев. Использование концентрации напряжений вдоль слоев позволяет усилить действие врубовых зарядов.

Помимо всех перечисленных факторов на процесс образования врубовой полости существенное влияние оказывает характер взаимодействия зарядов. Для этого в лабораторных условиях на моделях исследовались поля напряжений и разрушений при взрывании двух и трех удлиненных зарядов. В результате анализа кинограмм, установлено, что для эффективного прорыва межшпурового пространства необходимо использовать эффект встречи волн напряжений, который можно создать равносторонним инцидированием.

Из изложенного следует, что при современных методах ведения взрывных работ в проходческих забоях не реализованы все возможности для наиболее эффективного использования таких важнейших факторов, как форма врубовой полости, взаимодействие зарядов и структурные особенности взрываемого массива.

Для обеспечения возможности инженерного расчета оптимальных параметров БВР с учетом структурных особенностей взрываемого массива и взаимодействия зарядов нами были произведены экспериментальные исследования по определению параметров волн напряжений и величины коэффициента использования шпуров при взрыве зарядов.

#### ГЛАВА IV. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШПУРОВ ПРОХОДЧЕСКИХ ЗАБОЕВ ШАХТ КРИВБАССА

Экспериментальные исследования по определению величины КИШ, параметров волн напряжений, и характера распределения их энергии в разрушаемом массиве проводили в промышленных условиях шахт Кривбасса. Заряды размещались в шпурах диаметром 40 мм и длиной 1,5-1,8 м. Для регистрации параметров волн напряжений использовали сегнетоэлектрические емкостные датчики и пьезоэлектрические акселерометры типа ИС-313 и электронные осциллографы.

Регистрацию параметров волн напряжений производили при одновременном взрывании группы зарядов в слоистом массиве, различных типов БВ.

Из результатов исследований следует, что сложность связанного наиболее существенное влияние на характер распределения энергии взрыва, а следовательно, и развитие процесса разрушения. Так, для врубовых шпуров использование концентрации напряжений по плоскости позволяет значительно повысить эффективность образования врубового компенсационного пространства. Это происходит в результате того, что значительная часть энергии волны напряжений расходуется на сдвигание пласта по плоскости ослабления. Зависимость величины напряжения ( $\sigma$ ) и энергии волны ( $E$ ) от расстояния аппроксимирована выражениями:

$$E = a_0 + a_1 \cdot \frac{1}{r}; \quad \sigma = a_2 + a_3 \cdot \frac{1}{r}; \quad \left( \begin{array}{l} r = 0,6805 \\ \theta = 7,81 \end{array} \right)$$

при этом коэффициенты уравнения имеют следующие значения по слоям:

$$a_0 = -199,0; \quad a_1 = 7674;$$

$$a_2 = -27,3; \quad a_3 = 2 \cdot 10^4;$$

вкрест слоев

$$a_0 = -19,7; \quad a_1 = 6000;$$

$$a_2 = -27; \quad a_3 = 1,5 \cdot 10^4.$$

Проведенные экспериментальные исследования по определению параметров волн напряжения хорошо согласуются с промышленными исследованиями по замеру воронок разрушения вдоль и вкрест пласта. Промышленные исследования показывают, что концентрация напряжения вдоль пласта значительно увеличивает зону разрушения по пласту. Однако из-за скольжения пластов относительно друг друга, объем воронок разрушения при расположении зарядов по пласту, меньше объема воронок разрушения при расположении зарядов вкрест пласта.

Как показали исследования, полезная часть энергии волны по простиранию в 1,5-2 раза больше энергии волны напряжения вкрест простирания. Это вызвано значительными потерями энергии волны напряжений на контакте слоев.

Для более полного использования энергии волны напряжения врубовые заряды необходимо располагать по плоскости ослабления. В этом случае глубина и объем воронок разрушения максимальны. Как показала опыт ведения проходческих работ на величину КИШ врубовых и отбойных шпуров так же оказывает влияние и крепость

горных пород. Проведенные исследования по определению влияния крепости пород на величину КИШ показывают, что с увеличением коэффициента крепости пород объем и глубина воронки разрушения уменьшается. Зависимость КИШ от крепости пород аппроксимирована выражением

$$\eta = K_0 \cdot f + A = 101,2 - 3,2 f \quad \left( \begin{array}{l} z = 0,69; \\ \mu = 6,1; \end{array} \right)$$

где  $\eta$  - коэффициент использования шпуров;  
 $A, K_0$  - постоянные коэффициенты и зависят от типа ВВ и условий взрывания.

Для улучшения качества взрыва врубовых и отбойных шпуров с увеличением крепости пород необходимо увеличивать плотность энергии взрыва, за счет увеличения диаметра заряда или применения мощных ВВ. Следовательно, одним из методов повышения эффективности врубовых зарядов при проходке горных выработок в породах с различным коэффициентом крепости является выбор соответствующего типа ВВ или диаметра заряда.

В качестве заряда при проведении исследований использовали следующие промышленные ВВ, применяемые на шахтах Кривбасса: детонит, аммонит, динафталит, зерногранулит, игданит. По полученным осциллограммам произведены расчеты максимальных напряжений на фронте волны, удельного импульса и плотности потока энергии волны.

На основании полученных зависимостей установлено, что в одних и тех же породах при одних и тех же условиях взрывания форма импульса волны напряжений существенно зависит от взрываемого типа ВВ. В импульсе волны напряжений низкобрызвантных ВВ преобладают низкочастотные составляющие спектра, которые поглощаются менее интенсивно по мере распространения импульса. В связи с тем, что величина диссипативных потерь энергии волны зависит от формы начального импульса и поглощающих свойств среды, то подбирая соответствующий тип ВВ в данной породе, можно получить на заданном расстоянии требуемую плотность потока энергии, необходимую для разрушения породы в этой точке. Как



правило, с увеличением крепости пород коэффициент поглощения уменьшается, а скорость распространения упругих волн увеличивается. В этом случае, несмотря на меньшие диссипативные потери энергии волны от взрыва низкобризантных ВВ, плотность потока энергии в заданной точке может быть недостаточной из-за меньшей величины начального импульса. Поэтому для получения требуемой плотности потока энергии, необходимой для разрушения породы в данной точке необходимо применять высокобризантные ВВ. В этом случае, несмотря на более высокие диссипативные потери энергии волны за счет преобладания высокочастотных составляющих спектра, плотность потока энергии волны будет достаточной для разрушения породы. Это вызвано более высокой начальной плотностью потока энергии волны на контакте заряд-порода. Однако величина КИШ при этом увеличивается незначительно. Зависимость КИШ врубовых шпуров от величины полной энергии взрыва может быть аппроксимирована выражением

$$\eta = 0,82(1 - e^{-0,0035 E_{взр}})$$

Согласно экспериментальным исследованиям, проведенным Кудлей и др., время и скорость приложения нагрузки определяют образование трещин скола. Однако, повышение скорости приложения нагрузки приводит к возрастанию сопротивления растяжению. Сопротивление сдвигу в этом случае увеличивается несколько меньше, чем сопротивление растяжению. Этот фактор необходимо использовать, создавая условия для образования трещин скола. Для этого необходимо уменьшать скорость приложения нагрузки, т.е. увеличить время нарастания напряжения до максимального значения. Однако, для маломощных ВВ с большим временем нарастания напряжения до максимального значения, разрушить массив в данной точке возможно только лишь при увеличении начальной плотности потока энергии. Увеличение начальной плотности потока энергии взрыва маломощных ВВ представляется возможным путем увеличения количества взрывчатого вещества в шпуре. При этом можно достичь требуемой плотности потока энергии волны напряжения в заданной точке разрушаемого массива и лучшего выброса разрушенного межшпурового пространства. Увеличение количества ВВ достигается путем увеличения диаметра и длины заряда. Проведенные исследования по

замеру воронок разрушения при изменении длины и диаметра зарядов показывают, что с увеличением диаметра шпура, величина КИШ увеличивается. Это объясняется увеличением плотности потока энергии волны в массиве и лучшим выбросом межшпурового пространства. По полученным данным построены зависимости величины КИШ от длины и диаметра заряда, которые аппроксимированы выражениями:

$$\eta = K \cdot l_{шп} + B; \quad \eta = K_2 \cdot d_{шп} + C$$

где  $\eta$  - КИШ;

$K, B, C, K_2$  - постоянные уравнения;

$l_{шп}$  - длина шпура;

$d_{шп}$  - диаметр шпура.

Значения постоянных для различных значений диаметра и длины зарядов приведены в таблице:

$d_{шп}$ 40	55	85
$K$ - 0,29	- 0,20	-0,19
$B$ - 0,95	0,55	0,54
$l_{шп}$ 1	1,5	2,0
$K_2$ - 0,016	0,09	0,092
$C$ - 0,08	0,19	0,2.

Повышать плотность потока энергии волн, как показали исследования, представляется возможным также за счет равносоставного инициирования одновременно взрывающейся группы зарядов. Запись параметров волн напряжений проводили при прямом, обратном и равносоставном инициировании двух зарядов. Эффективность взрыва оценивали по величине разрушенного межшпурового пространства и величины напряжения.

Как следует из данных исследований, качество проработки межшпурового пространства существенно зависит от способа инициирования зарядов. При прямом способе инициирования зарядов наблюдается максимальное завывшение межшпурового пространства. Это вызвано тем, что большая часть энергии ВВ передается вглубь взрывающегося массива, не вызывая существенных разрушений.

При обратном инициировании двух зарядов завывшение межшпурового пространства уменьшается. Однако и в этом случае происходит его переуплотнение в нижней части заряда. Улучшение выброса разрушаемого межшпурового пространства объясняется некоторым увеличением результирующих напряжений и более длительным временем действия остаточных продуктов детонации.

Наименьшая величина завывшения межшпурового пространства наблюдается при разностороннем инициировании зарядов. В этом случае величина завывшения составляет 0,6 м, а величина КИШ 0,72. Это объясняется тем, что встречное инициирование зарядов способствует более полному использованию эффекта взаимодействия волн напряжений за счет повышения амплитуды результирующей волны напряжения и увеличения величины скальвающих напряжений.

Таким образом, как следует из данных эксперимента, одним из эффективных способов повышения энергии взрыва является взаимодействие волн напряжений при встречном инициировании зарядов.

Дальнейшее повышение КИШ представляется возможным за счет увеличения диаметра заряда некоторых врубовых шпуров в сочетании с разносторонним инициированием, это создает возможность лучшего разрушения и выброса межшпурового пространства. При этом необходимо правильно выбрать расстояние между шпурами.

По данным исследования построены графические зависимости влияния расстояния между шпурами на величину КИШ при разных коэффициентах крепости пород. Эта зависимость в выбранном интервале изменений расстояний между врубовыми шпурами аппроксимировалась выражением:

$$\eta = b_0 + b_1 \cdot a + b_2 \cdot a^2;$$

$$\left( \begin{array}{l} z = 0,76 \\ r = 6,68 \end{array} \right)$$

Значения коэффициентов для различных значений  $f$  приведены ниже:

$f = 8$	$b_0 = 0,08$	$b_1 = 0,026$	$b_2 = 0,0003$
$f = 10$	$b_0 = 0,072$	$b_1 = 0,016$	$b_2 = 0,0002$
$f = 12$	$b_0 = 0,06$	$b_1 = 0,01$	$b_2 = 0,0001$

*исследований*

В результате проведенных исследований установлено, что для зарядов врубовых шпуров различного диаметра наиболее эффективным является расстояние между зарядами 200-250 мм.

Для наименьшего сопротивления для отбойных шпуров выбирались из условия, чтобы радиус образуемой воронки после взрыва зарядов был равен глубине заложения заряда, т.е. должна образоваться воронка нормального выброса. Для зарядов диаметром 40 мм л.н.с. составит 0,5-0,6 м, для зарядов диаметром 55 мм - 1,0-1,1 м.

Полученные результаты экспериментальных исследований способов повышения КИШ в проходческих забоях положены в основу выбора рациональных параметров врубовых шпуров, способствующего повышению КИШ при проходке выработок.

#### ГЛАВА V. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТРАБОТКА ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРИВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЫРАБОТОК С ВЫСОКИМ КИШ

Опыты по определению эффективности разработанных способов образования врубовых полостей проводились на протяжении 1969-71 гг. в условиях шахт Кривбасса. Оценка взрывов производилась по величине коэффициента использования врубовых шпуров и по количеству шпуров на площадь забоя. Во всех случаях место положения опытного и контрольного участков выбирались в выработках, сечение которых и крепость пород соответствовали области установленных ограничений. В результате проведенных исследований установлено, что эффективность взрыва усиленного целевого вруба достигается увеличением диаметра зарядов некоторой части шпуров. Применение шпуров увеличенного диаметра в комплекте вруса

практически исключило возможность прострела их. Расстояние между врубовыми шпурами выбиралось после практической их отработки и составляло 200-250 мм. Всего по разработанным вариантам паспортов произведено двести взрывов, в опытных забоях которых достигнуты высокие значения КИШ (0,9-0,95). Проведенные исследования показали, что снижение влияния крепости пород на величину КИШ возможно путем увеличения удельного расхода врубовых шпуров. Длительные промышленные испытания усиленного целевого вруба, а затем и всего комплекта шпуров, позволили установить ряд его преимуществ перед остальными врубами: высокую устойчивость КИШ забоев в породах, средней и выше средней крепости различной структуры, относительное постоянство расположения шпуров в комплекте при пересечении выработкой напластования под любым углом.

Согласно схемам (рис.1) разработанных паспортов буровзрывных работ концентрация энергии заряда должна осуществляться не только за счет увеличения диаметра заряда части шпуров, но и за счет более полного использования энергии одновременно взрываемых шпуров, путем разностороннего их инициирования.

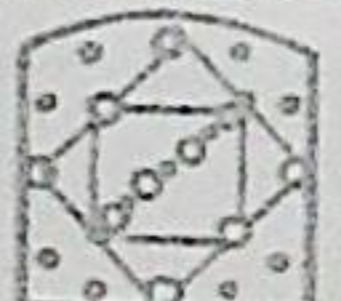
Коеф-т крепости	Сечение выработки	Число шпуров		Напр. наплас. относит. верт. оси выроб.	Схемы расп. шпуров
		малого диаметра	большого диаметра		
8-10	2,25	4	3	Параллельно штрек	
	4	7	4		
	7	11	4		
	11,20	17	8		
10-12	2,25	2	5	Под углами штрек	
	4	6	5		
	7	10	5		
	11,20	17	9		
12-14	2,25	1	6	Перпендикулярно штрек	
	4	5	6		
	7	9	6		
	11,20	14	11		
8-10	2,25	4	3	Квершлаг	
	4	7	4		
	7	11	4		
	11,20	17	8		

Рис.1 К методике расчета паспортов БВР для проходки горных выработок

При этом заряды большого диаметра инициируются снизу с таким расчетом, чтобы при встрече с волной напряжений от заряда малого диаметра, инициируемого с устья, амплитуды этих волн напряжений складывались. В этом случае эффективность разрушения межшпурового пространства достигается за счет взаимодействия волн напряжений, а выброс продуктов разрушения за счет чередования врубовых зарядов и обратного инициирования зарядов большого диаметра. Как следует из проведенных экспериментальных исследований повышение коэффициента использования шпуров возможно за счет использования структурных особенностей массива - напластований, при этом врубовую щель необходимо располагать по напластованию. Однако в забоях малого сечения (дучки, гезенки  $1,5 \times 1,5 \text{ м}^2$ ), несмотря на характер напластования, врубовую щель следует располагать по диагонали забоя. Это позволит получать врубовую полость требуемых параметров в виде вытянутой щели. При этом сокращается объем буровых работ до 3-4 шп.м<sup>3</sup> (рис.2) или почти в 2 раза по сравнению с обычным способом проходки, при этом количество шпуров в контуре выработки значительно уменьшится. При уменьшении контурных шпуров повышается качество оконтуривания восстающих из-за меньшего воздействия взрывной нагрузки на стенки выработки. Это очень важно при применении проходческих ползов, где приходится закреплять монорельс в стенки выработки. Как показала практика промышленных экспериментов высокая эффективность диагонального расположения вруба в забоях малого сечения является надежной гарантией преодоления "зажима" в условиях проходческих забоев.

Для установления рациональных параметров буровзрывных работ при проходке подэтажных горизонтальных горных выработок было произведено более 60 опытных промышленных взрывов. Каждый из них имел свои характерные особенности, как по схемам расположения шпуров, так и по горногеологическим условиям, в которых проходились эти выработки. Анализ результатов взрывов показал, что использование эффекта ослабления по пласту значительно облегчает образование врубовой щели и за счет этого повышается значение КИШ. Кроме того, образование в контуре выработки компенсационного пространства (вруба) больших размеров предпосылка к сокращению числа шпуров в комплекте и повышению производительности труда проходчиков.

В настоящее время при достижении многими шахтами больших глубин, устойчивость горных пород в стенках выработки приобретает первостепенное значение. Поэтому большое распространение, в настоящее время, получает контурное взрывание, которое достигается увеличением количества шпура по контуру выработки с одновременным сочетанием разнообразных способов уменьшения скорости приложения взрывной нагрузки. Кроме того, им преодолено применение относительно параллельных стенкам выработки оконтуривающих шпуров.

Угол наклона этих шпуров принимается в пределах, обеспечивающих техническую возможность бурения такого шпура и забуривания нового шпура из той же точки по эскизу расположения шпуров в забое. Следовательно, угол наклона такого шпура определяется его длиной и необходимой степенью точности оконтуривания выработки. Для достижения требуемого контура горизонтальных подэтажных выработок предлагаемый паспорт предусматривает образование стенок выработки трещинами скола. Образующая при этом нарушенность законтурного массива минимальна.

Дальнейшую отработку паспортов БВР для проходки горизонтальных выработок осуществляли в откаточных штреках и ортах. Анализируя опытные взрывы необходимо отметить, что в схеме расположения шпуров по площади забоя можно отметить некоторую относительную унификацию взаимного расположения их, выражающуюся в размещении дополнительного числа вспомогательных и оконтуривающих шпуров на каждый метр увеличения ширины и высоты проходимой выработки. Предлагаемый паспорт значительно упрощает разметку забоя, сводя ее к отысканию геометрической оси выработки (месту расположения вруба) и к нанесению контуров основной (врубной) и вспомогательных компенсационных щелей. При такой разметке забоя упрощается ориентирование каждого вспомогательного и оконтуривающего шпура, так как выбор места забуривания и направления шпура не согласуются с расположением остальных шпуров комплекта, а лишь привязывается к ожидаемой плоскости обнажения. Последним облегчается возможность применения метода многомолоточного обурирования забоя с использованием кареток с программным управлением. Главную цель, которую преследует унификация паспортов буровзрывных работ -

упрощение технологии буровзрывного комплекса при проходке выработок и за счет этого упрощение подготовки наиболее квалифицированных рабочих забойной группы. Унификация паспорта буровзрывных работ влечет за собой относительное постоянство очередности паления шпуров в забоях и сокращает число очередей.

В процессе внедрения унифицированного паспорта буровзрывных работ на шахтах рудника им. Коминтерна уже достигнуто значительное сокращение удельного расхода шпурометров (рис.2).

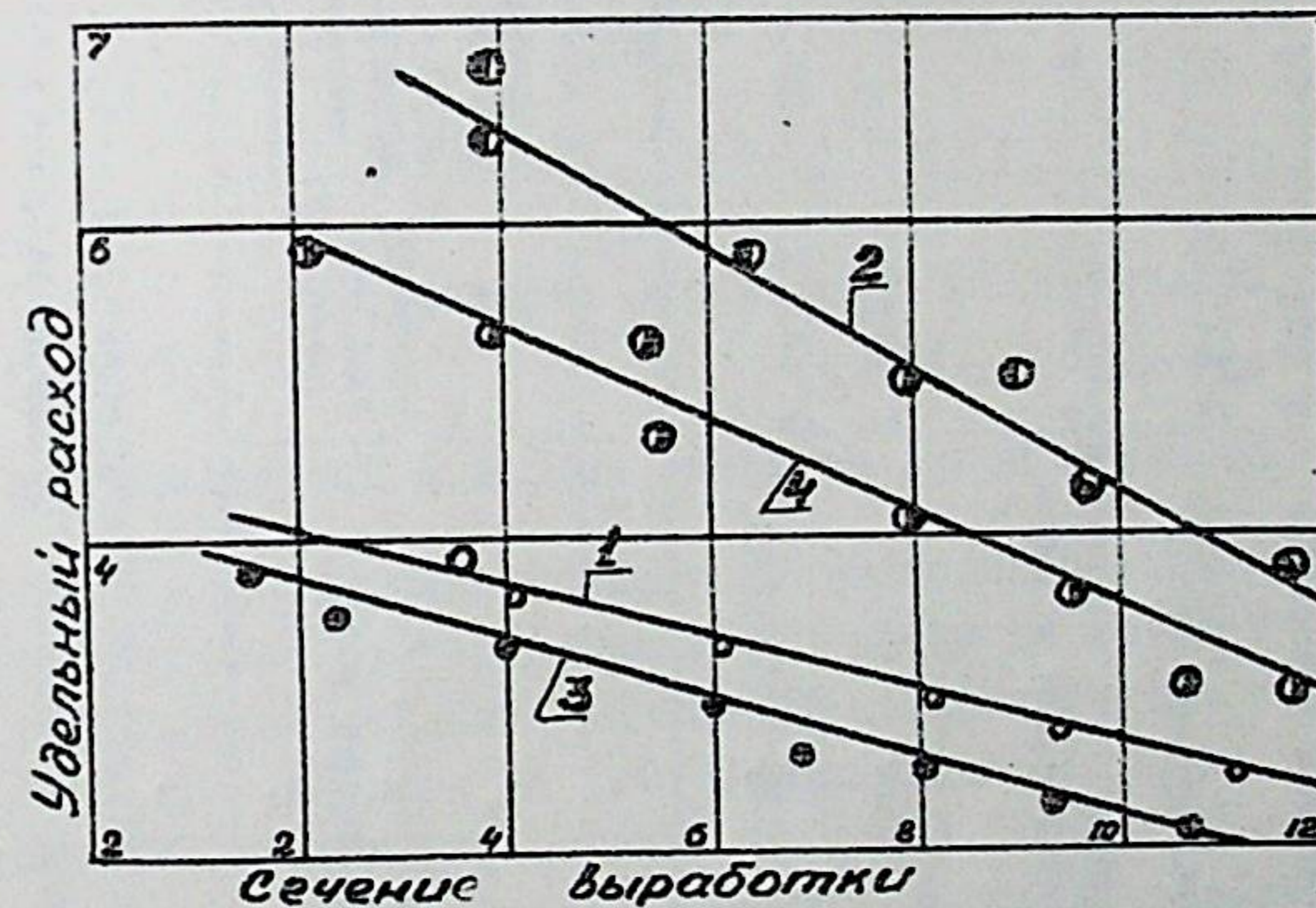


Рис.2 Зависимость удельного расхода шп.м/м<sup>3</sup> от сечения выработки.

расчетные:

- 1 - по разработанным паспортам
- 2 - по существующим паспортам

фактические:

- 3 - по разработанным паспортам
- 4 - по существующим паспортам.

Общее количество шпуров иницированного паспорта БВР зависит только от площади поперечного сечения выработки. Путем математической обработки результатов исследований эта зависимость в выбранном интервале изменений может быть аппроксимирована выражением

$$N = 5,6 + 1,5 \cdot S,$$

где  $N$  - общее количество шпуров;  
 $S$  - сечение выработки.

Однако, эта зависимость не характеризует соотношение между количеством шпуров большого и малого диаметра, поэтому для установления этой зависимости было проведено около 40 дополнительных опытных взрывов в забоях разного сечения и разной крепости. Анализируя результаты опытных взрывов было получено выражение, определяющее зависимость числа шпуров малого диаметра от сечения выработки и крепости пород, т.е.

$$n_{\text{мд}} = 1,5 S - 0,6 \cdot f + 5,85,$$

где  $n_{\text{мд}}$  - количество шпуров малого диаметра;  
 $S$  - сечение выработки;  
 $f$  - крепость пород по шкале проф. М.М. Протоdjяконова.

Проведенными исследованиями установлено, что при применении усилённого целевого вруса и унифицированного паспорта буровзрывных работ представляется возможным повысить коэффициент использования шпуров с величины 0,7-0,8 до величины 0,9-0,95, т.е. более чем на 15-20% (табл. I). Такому увеличению КИШ соответствует снижение удельных затрат БВР на 15-20%.

Применение в 1970 году рекомендуемых параметров буровзрывных работ позволило только на шахтах рудника им. Коминтерна получить экономический эффект в объеме 25 тыс. рублей.

В настоящее время в результате применения унифицированного паспорта создалась возможность для разработки автоматизированных буровых агрегатов с программным управлением, которые значительно повысят производительность труда проходчиков в проходческих забоях.

Таблица I

Результаты промышленных испытаний унифицированного паспорта буровзрывных работ проходческих забоев на шахтах рудоуправления им. Коминтерна треста "Ленинруда"

№ пп	Наименование выработки	Тип пород и их крепость	Сечение выработки	Параметры буровзрывных работ					
				количество шпуров в забое	глубина шпуров, м	КИШ	количество шпуров в забое	глубина шпуров, м	КИШ
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Штрек 80-92, гор. 815 м	Красковые роговики $f = 10-12$	3,2x3,1	34	1,35	78,0	25	1,8	97,2
2.	Нша х/б на штреке 80-92 гор. 815 м	" "	1,2x1,0	-	-	-	7	1,35	100,0
3.	Штрек 147-151, гор. 720 м	Плотные руды и др. опилиты $f = 8-10$	2,0x2,0	24	1,2	66,0	15	1,6	96,8
4.	Орт 125 осн гор. 815 м	Магнетитовые роговики $f = 11-13$	3,2x2,0	32	1,35	82,0	25	1,8	97,0
5.	Восстающая 83 осн МКЦ, гор. 735 м	Красковые роговики $f = 6-8$	1,5x1,5	14	1,2	96,0	7	1,6	100,0
6.	Штрек 72-80, гор. 810 м	Аспидн. оланец	3,2x3,5	34	1,6	82,0	25	2,0	97,0
7.	Орт-эвед 72 осн, гор. 890 м	Безрудные роговики $f = 10-12$	3,5x3,2	32	1,6	84,0	25	2,0	95,0

Продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.	Штрек 72-70, гор. 735 м	Плотные гематитовые руды $\gamma = 6-8$	2,3x2,3	23	1,4	82,3	15	1,8	95,3
9.	Рудоспуск штрека в/б блока 72-70, гор. 735 м	"	1,5x1,5	13	1,6	100,0	7	1,6	100,0
10.	Восстающий л/б блока 7270 гор. 735 м	Красковые роговики $\gamma = 9-11$	1,5x1,5	15	1,2	72,0	9	1,6	100,0
11.	Штрек 42-46, гор. 770 м	Красковые роговики $\gamma = 10-12$	2,3x2,3	20	1,2	83,0	15	1,7	96,5
12.	Восстающий л/б 76 оок гор. 815 м	Красковые роговики $\gamma = 12-14$	1,5x1,5	15	1,2	72,0	9	1,6	98,2
13.	Орт-заезд I18 оок гор. 815 м	Магнетитовые роговики $\gamma = 11-13$	2,6x3,1	30	1,6	81,2	25	1,8	93,7
14.	Орт-разведочный I49 оок, гор. 815 м	Мартитовые роговики $\gamma = 12-14$	2,0x2,1	25	1,2	74,6	15	1,6	91,2
15.	Орт-вентиляционный I18 оок, гор. 735 м	Красковые роговики $\gamma = 8-10$	2,0x2,0	21	1,35	82,1	15	1,8	96,7
16.	Восстающий л/б блока 73-75, гор. 815 м	Красковые роговики $\gamma = 10-12$	1,5x1,5	16	1,1	78,0	9	1,5	97,0
17.	Восстающий л/б 92 оок гор. 815 м	Тонкопородчатые роговики $\gamma = 8-10$	2,0x2,0	22	1,1	82,0	11	1,5	100,0

Основные выводы по работе можно сформулировать следующим образом:

1. Малая скорость проходки и относительно небольшой коэффициент использования шпура вызваны неэффективностью действия врубовых зарядов в проходческих забоях шахт Кривбасса.

2. Применяя метод динамической фотоупругости в сочетании со съемкой процесса разрушения моделей в неполяризованном свете установлено, что наиболее существенное влияние на процесс образования врубовых полостей оказывают напряжения сдвига, которые в результате отражения от свободной поверхности образуют трещины скола. Наибольшая концентрация растягивающих напряжений наблюдается у прямоугольного и квадратного отверстия модели. Максимальные зоны разрушения моделей наблюдаются параллельно слоистости при встречном способе инициирования зарядов.

3. Применяя современные методы осциллографирования волн напряжений от взрыва шпуровых зарядов в породах с различными физико-механическими свойствами установлено, что для эффективного образования врубовой полости с повышением коэффициента крепости пород, необходимо увеличивать энергию врубовых зарядов. Это возможно путем увеличения диаметра заряда ВВ; в сочетании с встречным инициированием их. Увеличение диаметра и разностороннее инициирование зарядов приводит к повышению плотности потока энергии волны и к улучшению разрушения и выброса межшпурового пространства, т.е. возрастанию КИШ. При образовании врубовых полостей в слоистых массивах врубовые шпуры следует располагать вдоль слоя.

4. Исходя из физических представлений о процессе образования врубовой полости проведены промышленные исследования параметров БВР в результате которых установлено:

а) вследствие большой величины "зажима" в забоях малого сечения (дучки, восстающие) независимо от направления напластования, врубовую щель следует располагать по диагонали забоя; такое расположение вруба позволяет достичь врубовой полости требуемых параметров;

б) получение достаточно большого врубового компенсационного пространства позволяет сократить число вспомогательных

шпуров и создает предпосылки к унификации паспортов буровзрывных работ;

в) унификация паспорта буровзрывных работ упрощает подготовку наиболее квалифицированных рабочих забойной группы (проходчиков и бурильщиков), создает предпосылки к разработке буровых агрегатов с программным управлением.

5. Экономический эффект от повышения производительности проходчиков за счет увеличения КИШ на руднике им.Коминтерна треста "Ленинруда" составляет 25 тыс.рублей.

6. Изложенные результаты исследований можно широко использовать при проектировании паспортов буровзрывных работ выработок малого сечения (до II м<sup>2</sup>), которыми и ограничивалась область исследований настоящей работы.

Основные разделы диссертационной работы были доложены:

1) на научно-технической конференции, посвященной 50-летию Советской власти, КГРИ, май 1967 г.

2) на отраслевой научно-технической конференции молодых ученых по вопросам совершенствования технологии подземных и открытых горных работ, Кривой Рог, ИГРИ, май, 1968 г.;

3) на межквотральном семинаре горного факультета КГРИ в апреле 1971 г.;

4) на техническом совете рудника им.Коминтерна в мае 1971 г.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Исследование процесса разрушения сред взрывом с использованием сверхскоростной фоторегистрирующей установки. Тезисы докладов научно-технической конференции КГРИ, 1967 (соавторы Ткачук К.Н., Ильин П.П.).

2. Влияние способа инициирования колонкового заряда на качество дробления отбитой руды. Тезисы докладов отраслевой

научно-технической конференции молодых ученых по вопросам совершенствования технологии подземных и открытых горных работ, Кривой Рог, 1968, (соавторы Капленко Ю.П., Алебастров В.П., Гудзь В.И., Пилипенко А.А., Груенко В.И.).

3. Влияние интенсивности и ориентирование трещин на характер разрушения моделей взрывом удлиненных зарядов. Междо-ведомственный республиканский сборник "Разработке рудных месторождений". Киев, "Техника", 1969, (соавторы Ткачук К.Н., Ильин П.П.).

4. Усиленный щелевой вруб, при проходке горизонтальных горных выработок на шахте Октябрьской. Горный журнал, № 4, 1971 г., (соавторы Черненко А.Р., Симфоров Г.Е.).