

Все слагаемые в полученной модели являются значимыми и существенно влияют на производительность классификатора. Коэффициент детерминации  $R^2 = 0,92$ , статистика Фишера  $F = 27,66$  при критическом значении  $F_{кр} = 4,8$  указывает на высокий уровень адекватности полученной модели.

Таким образом, аппроксимация зависимости показала, что производительность классификатора зависит от плотности материала параболически, при этом плотность взаимодействует с углом наклона и влажностью материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Определение влияния конструктивных параметров вибрационного классификатора на технологические показатели / Матер. Междун. XI науч. –техн. конф. Теория и практика процессов дробления, разделения, смещения и уплотнения материалов. – Одесса – Харьков. – 2003.
2. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Зависимость производительности валкового классификатора от динамических параметров и свойств горной массы / Всеукр. Науч. – техн. журнал Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця. – Вип. 1(33).- 2004 – с.10-14.
3. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф. Моделирование влияния параметров валкового вибрационного классификатора на производительность / Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов, 2001. - № 30. – С. 165-171.
4. Кухарев В.Н., Салли В.И., Эрперт А.М. Экономико-математические методы и модели в планировании и управлении / К.: Вища школа.- 1997,-240 с.

УДК 622.235.5

В.Д. Петренко, Л.А. Логвина

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАЗРУШЕНИЯ И ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВЕ

Розглянуто процеси руйнування і переміщення гірських порід при вибуху зарядів ВР. Проаналізовано їхній фазовий характер і встановлені області і межі зон вибухового руйнування в залежності від тривалості імпульсу нагрівання. Показано зв'язок основних параметрів переміщення, розльоту шматків і швидкості вильоту газів, отриманих при модельних і натурних експериментах.

#### SOME PROBLEMS OF DESTRUCTION AND ROCKS MOVEMENT AT BLASTING

The processes of destruction and rocks movement are considered at explosive charges blasting. Are parsed their phase character and the areas and borders of explosive zones destruction are established depending on a pulse on time of loading. The connection of main movement specifications, piece retraction and speed of gas embarkation obtained at model and natural experiments is exhibited.

Процессы взрывного разрушения и перемещения пород после окончания детонации взрывчатого вещества (ВВ) в поперечном сечении удлиненного заряда, имеющего преимущественно цилиндрическую форму, можно разделить на несколько фаз. В первой фазе происходит движение со сверхзвуковой скоростью в радиальном направлении ударной волны (УВ) и всестороннее сжатие объема породы вокруг заряда. При этом за счет большого давления горная порода сильно измельчается. Как установлено экспериментальными исследова-

ниями, выполненными в ИГТМ НАН Украины [1,2], зона измельчения (смятия) в породах различного минералогического состава представлена тонким слоем, равны 1,0-2,5 радиуса заряда. В этом слое все основные минералы независимо от их физико-механических характеристик полностью разрушаются до порошкообразного состояния. Все частицы порошка имеют размеры порядка от нескольких микрон до десятков и представляют мельчайшие осколки кристаллов. Различие в крупности частиц в большей степени зависит от хрупкости и дефектности минералов.

Как установлено при взрыве шпуровых зарядов в гранитах, мельчайшие частицы в зоне измельчения представлены практически исключительно кварцем, имеющим большую хрупкость и количество дефектов по сравнению с входящим в состав гранита полевым шпатом, ортоклазом, плагиоклазом и др. минералами.

Зона смятия в известняках представлена мельчайшими частицами кальцита, образовавшимися при ударном нагружении путем развития густой сетки микротрещин в отдельных кристаллах и на контактах между ними. По этим трещинам, а также по образующимся вблизи заряда поверхностям скольжения происходят сдвиги, за счет которых полученный материал уплотняется. Это приводит к тому, что зона смятия при взрыве заряда ВВ в известняках, и особенно доломитах, при прочих равных условиях меньше, чем в гранитах.

Радиус зоны измельчения зависит также от продолжительности, взрывного нагружения. В меньшей степени на его величину оказывают влияние геометрические параметры зарядов, направление их инициирования, величина и материал забойки и др. факторы. Вместе с тем следует отметить, что при переходе от удлиненных зарядов с соотношением геометрических параметров  $h/d > 5$  ( $h$  – высота заряда,  $d$  – его диаметр) к плоским круглым дискам  $h/d < 1$  (эксперименты на дисках из железистых кварцитов) отмечено также уменьшение зоны смятия в однотипных породах и при одинаковом диаметре заряда. Это вызвано тем, что при приходе УВ к параллельным поверхностям диска происходит мгновенное изменение энергетических излучений в радиальном направлении. Следовательно, подтверждается положение о влиянии продолжительности взрывного импульса на величину радиуса зоны смятия. В дисках она меньше чем в цилиндрах, в которых высота заряда больше, чем диаметр в 5 и более раз.

Опыты, проведенные путем взрывания шпуровых зарядов в гранитах, показали, что величина радиуса зоны смятия хорошо согласуется с расчетными величинами, полученными на основе анализа жесткопластической модели среды с учетом действия сил трения и всестороннего сжатия.

При изучении продуктов измельчения в ближней зоне, полученных при опытных взрывах скважинных зарядов диаметром 150 мм длиной 1 м и массой 10 кг в гранитах [2,3] установлено, что распределение мельчайших продуктов разрушения (0-2 мм) имеет бимодальный характер. При этом первая мода характеризует увеличенный выход мельчайших фракций кварца (0-100 мкм), а вторая – зерен других минералов (1-2 мм), входящих в состав гранита.

Указанные разрушения происходят в первой фазе взрыва – фазе распростра-

нения УВ в ближней зоне. Избыточная энергия волны, движущейся в радиальном направлении от оси заряда со скоростью большей, чем скорость роста трещин, вызывает образование определенного количества радиальных трещин, зависящих от остаточной энергии и параметров УВ, переходящей в волну напряжений.

Особый интерес представляет своеобразное разрушение пород на границе зоны смятия и трещинообразования, поскольку в пределах относительно небольшого слоя материала наблюдается качественный скачок в изменении характера разрушения. Если в зоне смятия происходит интенсивное объемное разрушение до размеров отдельных кристаллов и зерен с образованием сложной системы поверхностей раздела, то в зоне трещинообразования строгая направленность радиальных трещин говорит о разрушении и нарушении сплошности в условиях одноосного сжатия. Суммарные поверхности трещин в эквивалентных объемах обеих зон, а, следовательно, и энергоемкости отличаются по величине на несколько порядков. Очевидно, что на границе зон происходит скачкообразное перераспределение энергии взрыва. При этом в зоне смятия поглощается энергия пикового давления УВ и в дальнейшем расходуется оставшая часть волновой энергии взрыва. На границе зоны возникают радиальные трещины, дальнейшее развитие которых поддерживается остаточной энергией УВ и расклинивающим действием газов, проникающих в трещины. По времени этот процесс является второй фазой, в течение которой образуется вторая зона – зона радиальных трещин. Причем радиус этой зоны в несколько раз превышает радиус зоны мелкого дробления. Следует отметить, что, если в зоне мелкого дробления – ближней зоне – разрушения обусловлены тем, что взрывная нагрузка превышает предел прочности породы при всестороннем сжатии, то во второй зоне образуются радиальные трещины при напряжениях, находящихся в интервале между пределом упругости и пределом прочности при растяжении. Это связано с эффектом возникновения трещин, параллельных сжимающей нагрузке (эффект раскалывания).

Теоретические и экспериментальные исследования позволили уточнить механизм разрушения в двух рассмотренных зонах, а также за их пределами [2,3]. Разрушение прочных горных пород имеет хрупкий характер. Причем, в основу общего механизма разрушения составляют запредельные деформации сжатия, сдвига и растяжения, возникающие в результате совокупного действия волны сжатия и деформирования породы в сторону свободных поверхностей. При любых видах нагружения разрушения инициируется в «слабом звене» – там, где в породе имеются дефекты структуры, межзерновые границы, микротрещины, спайность и прослойки с высокой дефектностью, а также там, где возникают градиенты напряжений. Следовательно, разрушение наиболее вероятно в окрестности либо концентраторов напряжений, либо в местах, где нагрузка резко изменяется по величине в определенном направлении.

Проникновение газов в трещины играет двоякую роль: с одной стороны, это приводит к уменьшению давления в очаге взрыва, с другой – к уменьшению прочности породы вследствие адсорбционного захвата. Необходимо также учи-

тывать и расклинивающее действие газов.

Известно, что волновые процессы в горных породах при реальных взрывах скважинных зарядов длятся несколько миллисекунд. Ударное сжатие забоечного материала, фильтрация газов через него и прорыв газов происходит за время большее примерно на порядок, т.е. в течение 8-20 мс и соизмеримы со временем появления газов в трещинах на откосе уступа. Этот период (фаза квазистатического действия) связан с проникновением газов в радиальные трещины, фильтрацией через забойку и созданием поршневого эффекта. В этот момент, когда радиальные трещины достигают своей предельной длины, происходит как бы толкание части породы и ее выпирание (вспучивание) в сторону свободных поверхностей. По времени этот период совпадает со временем вылета забойки [4,5]. Однако, как установлено кинометрическими измерениями [6], скорости перемещения породного массива в единицы и десятки раз меньше скорости вылета забойки. Например, экспериментально установленные скорости перемещения пород на границе свободной поверхности (верхняя площадка и откос уступа) составляют 6-15 м/с. Определено также, что скорость вылета забойки при взрывании зарядов диаметром 105-320 мм находится в пределах 50-250 м/с в зависимости от типа породы, диаметра и конструкции заряда, а также схемы его инициирования. Промежуточное положение между этими величинами занимают скорости разлета кусков и составляют примерно 25-75 м/с. Следует отметить, что опасный разлет кусков породы происходит из зоны, находящейся вблизи устья скважины и связан также с запирающими характеристиками забойки.

Экспериментально установлено, что большое влияние на скорость вылета продуктов взрыва и забойки оказывает схема инициирования зарядов [6]. Наименьшие величины их скорости вылета зарегистрированы при верхнем инициировании как шпуровых, так и скважинных зарядов ВВ. Средние значения дает встречное инициирование, а максимальные – нижнее.

Следует отметить важные результаты, полученные при экспериментальном изучении параметров вылета и перемещения продуктов взрыва и твердой разрушаемой среды при взрывах различного масштаба (от модельных взрывов до массовых) и в различных материалах (от оргстекла до пород). Как установлено, скорости перемещения разрушаемых сред, вылета отдельных кусков, продуктов взрыва и забойки, как на моделях, так и в натуральных условиях примерно равны и характеризуются следующими показателями:

- 1) скорости перемещения – в основном единицы м/с;
- 2) скорости разлета кусков – десятки м/с;
- 3) скорости вылета газов – сотни м/с.

Такие закономерности позволяют по-новому оценивать и прогнозировать хотя бы на качественном уровне натурные результаты по указанным процессам на основе модельных экспериментов.

Анализ экспериментальных данных, полученных при моделировании взрывов уступов различной высоты и в натуральных условиях [6] показал, что максимальная дальность перемещения твердых сред и породных масс зависит от па-

раметров расположения зарядов первого ряда, условий и схем их взрывания, а также высоты уступа и диаметра заряда. Количество рядов скважин на величину приращения развала пород влияет в основном только в местах расположения группы врубовых скважинных зарядов. Причем условием исключения обратного выброса породы в тыл верхней площадки уступа является обязательное создание возможности перемещения пород от взрыва скважинных зарядов первого ряда. В этой связи для обеспечения управляемого перемещения пород, особенно при применении конвейерного транспорта при ЦПТ и ПТ, в сторону откоса уступа необходимо строго обеспечивать равную ширину подпорной стенки вдоль всего фронта уступа пород, отбиваемых взрывом. Таким образом, выполненные аналитические и экспериментальные исследования позволяют более глубоко раскрыть механизм разрушения и перемещения пород с позиции взаимосвязи указанных процессов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Кратковский И.Л. Проблема разрушения и дезинтеграции полиминеральных горных пород при различных видах нагружения. // Сб. докл. X Междунар. конф. по механике горных пород. – М.: РАН, 1994. – С.62-70.
2. Yang R, Denden W.F., Katsabanis P.D. A new constitutive model for blast damage// Int. J. Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abstr. – 1996. – 33. – № 3.– P.245-254.
3. Родионов В.Н., Сизов И.А. О неупругих напряжениях в твердом теле с неоднородностями // Действие взрыва в неоднородной среде. Взрывное дело, № 90/47. – М.: Недра, 1990. – С.5-17.
4. Rolev K.L., Petrov P.Y. Processes of disintegration in rocks and minerals when blasting// Int. J. Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abstr. – 1995.– 32. – № 2.– P.83.
5. Похил П.Ф., Садовский М.А. Импульс взрыва и его зависимость от формулы и размеров заряда и свойств взрывчатого вещества// Механическое действие взрыва. Сб. Тр. Ин-та динам, геосфер РАН. – М. 1994. – С.194-202.
6. Проблемы экологии массовых взрывов в карьерах // Э.И.Ефремов, П.В.Бересневич, В.Д.Петренко и др. – Днепропетровск: Січ, 1996. – 179 с.

УДК 622. 016. 347

Л.В. Байсаров

### **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КРЕПЛЕНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ ЖЕСТКИХ ЛИТЫХ ПОЛОС ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ КОНВЕЙЕРНЫХ ШТРЕКОВ**

Обґрунтована і реалізована технологія підтримання виїмкових штреків із застосуванням жорстких литих смуг.

### **THE ALTERNATIVE TECHNOLOGY OF SHORING AND PRODUCTION WORKS ON RIGID STRIPS CONSTRUCTION FOR CONVEYER HEADINGS MAINTENANCE**

The excavation headings maintenance technology with using rigid strips is proved and realized.

Решение проблемы и поддержания горных выработок – основная предпосылка своевременного воспроизводства фронта очистных работ, нормального функционирования очистных забоев, транспортных и вентиляционных систем.