

УДК 622.23.02:548.5

РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ВЗРЫВЕ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДА

В.И. Нифадьев, Ш.В. Ниязова, К.А. Утеулина, Л.С. Цой, С.В. Турсбеков

Изложено теоретическое обоснование энергетического действия взрыва кумулятивных зарядов в скважинах на горные породы. Рассмотрены основные положения взрывного разрушения горных пород.

Ключевые слова: разрушение; горная порода; теория взрыва; кумулятивный заряд; зона дробления.

THE DESTRUCTION OF MOUNTAIN ORE BY A CUMULATIVE BLAST

V.I. Nifadyev, Sh. W. Niyazova, K.A. Uteulina, L.S. Tsoi, S.V. Tursbekov

The work describes the theoretical foundation energetic action of the cumulative charges explosion in wells on the rocks. The fundamentals of explosive destruction of rocks are considered.

Keywords: destruction; rock; explosion; charge; cumulative.

Современные теории разрушения горных пород построены на основных факторах, определяющих воздействие взрывных нагрузок на горную породу. При этом учитываются: параметры и характеристики взрывных веществ, к которым принято относить теплоту взрыва (энергетический параметр), давление продуктов детонации во взрывной камере; их удельный расход; факторы, связанные только с породой. М.А. Кук [1] выделяет три основных положения взрывного разрушения горных пород: *ударно-волновая теория; теория радиального трещинообразования; энергетическая теория*. В данной статье исследуется ударно-волновая теория разрушения. С макроскопической точки зрения ударная волна представляет собой воображаемую поверхность, на которой термодинамические величины среды испытывают устранимые особенности – конечные скачки [2].

При переходе через фронт ударной волны меняются давление, температура, плотность вещества среды, а также скорость её движения относительно фронта ударной волны. Все эти величины изменяются не независимо, и связаны с одной-единственной характеристикой ударной волны – числом Маха. Математическое уравнение, связывающее термодинамические величины до и после прохождения ударной волны, называется ударной адиабатой или *адиабатой Гюгонио*.

Ударные волны не обладают свойством аддитивности в том смысле, что термодинамическое состояние среды, возникающее после прохождения одной ударной волны, нельзя получить по-

следовательным пропусканием двух ударных волн меньшей интенсивности.

Скорость распространения ударной волны в среде превышает скорость звука в данной среде. Превышение тем больше, чем выше интенсивность ударной волны [3] (отношение давлений впереди и за фронтом волны).

Одним из аспектов действия ударной волны является возможное воздействие воздушного взрыва на подземные сооружения в результате преломления ударной волны в грунте. При этом наблюдается небольшое колебание поверхности и происходит сотрясение грунта под действием волны сжатия. Параметры волны сжатия в любой точке определяются величиной избыточного давления воздушной ударной волны непосредственно над данной точкой и её удалением от поверхности земли.

Ударная волна с большим избыточным давлением и длительной фазой сжатия проникает на значительную глубину в грунт, но более слабые ударные волны с более короткой фазой сжатия затухают быстрее. При этом основная составляющая усилия, передаваемого в грунт, будет направлена почти вертикально и приблизительно равна величине избыточного давления ударной волны, обеспечивающей максимальный переход потенциальной энергии взрывчатых веществ в энергию ударной волны в породе. Детонационная волна не взаимодействует с боковой поверхностью скважины, так как её фронт движется вдоль заряда, следовательно, ударная волна может возникнуть только в торце кумулятивного заряда при его тесном контакте с породой.

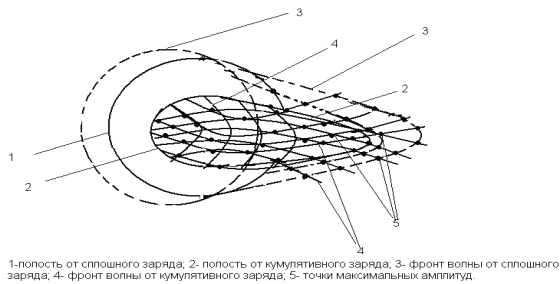


Рисунок 1 – Распространение фронта волны от кумулятивного заряда

Детонационная волна, образованная взрывом кумулятивного заряда, дойдя до границы заряда с массивом, вызывает в нем мощную ударную волну. Так как давление сжатия на фронте ударной волны намного выше предела прочности горной породы, то это вызывает интенсивное разрушение последней и возникновение зоны дробления. На породу действует высокое давление взрывных газов, преимущественно направленное в сторону кумулятивной выемки [4, 5]. За счет такого расширения взрывная полость увеличивается в сторону кумулятива намного больше, чем в другие стороны.

Чем больше расширяется взрывная полость, тем сильнее растяжение породы на ее границе. Так как горные породы обладают прочностью на растяжение в 10 и более раз меньшей, чем на сжатие, в них появляются и растут радиальные трещины. Возникает зона раздавливания кумулятивным зарядом, а также зоны образования и распространения трещин за счет растягивающих напряжений. От формы полости зависит степень дробления и направление разрушающей энергии. Объяснение такого изменения энергетического действия взрыва обосновывается волновой теорией взрыва. Согласно классической теории взрыва [6] при взрыве в крепких горных породах на них действуют взрывные газы весьма высокого давления и в контакте “заряд – порода” образуется полость.

В идеале полость в сечении от обычного цилиндрического заряда представляет собой окружность. Примем упрощенную схему распространения волн в среде. В зависимости от этого фронт волны (окружности) лежит в пределах распространения, достаточной для разрушения (мелкое дробление) энергии. Расширение полости приводит к увеличению зоны мелкого дробления на контакте взрывчатого “вещество – руда”. На рисунке 1 схематически показаны условия распространения и наложения волн от взрыва.

Сплошная часть заряда создает полость, показанную сплошной линией 1, фронт волны от этой полости обозначен штриховыми линиями 3.

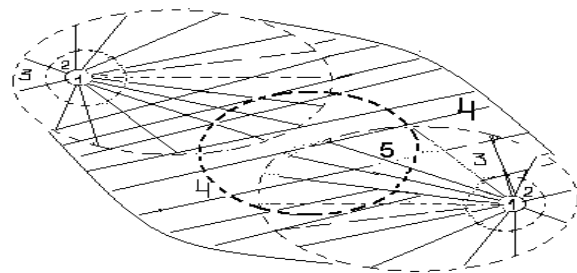


Рисунок 2 – Разрушение массива при взрыве сближенных кумулятивных зарядов: 1 – взрывная полость; 2 – зона скопления взрывных газов; 3 – зона раздавливания кумулятивным зарядом; 4 – перекрытие зон раздавливания сближенных зарядов; 5 – зона мелкого дробления

Удлиненная линия 3 означает образование фронта волны от сплошной части заряда и кумулятивной полости. Сплошными линиями 4 обозначен фронт волны внутри кумулятивной полости. Он образовался от взрыва заряда в кумулятивной полости. За выходом из полости фронт волны удлиняется в сторону от нее. Эти линии обозначены штриховой линией 3.

На рисунке 2 показаны точки 5 наложения фронтов волны от внутренней поверхности зарядной полости. Их густота показывает сосредоточения максимальных колебаний энергии волн, которые свидетельствуют об их концентрации и выходе за пределы полости. Расчеты показали, что усиление энергии в сторону кумулятивной полости достигают 2,5 раза [7]. Благодаря такому распределению энергии происходит дополнительное мелкое дробление руды в местах, лежащих около зоны образования взрывных полостей. При взрыве сближенных кумулятивных зарядов, расположенных в скважине, перекрытие зон раздавливания ведет к значительному измельчению взорванной породы.

По сравнению со сближенными цилиндрическими зарядами при взрыве кумулятивных зарядов зона раздавливания перекрывается значительно больше. При этом энергия от взрыва в этих зонах во втором случае выше.

Величина интервала между кумулятивами находится в пределах диаметра двух радиусов зон раздавливания от центров кумулятивного заряда навстречу друг другу. Рассмотрена упрощенная схема использования взрыва кумулятивного заряда в однородном монолитном массиве. Управление энергией взрыва в нем достигается параметрами кумулятивной выемки (геометрическими размерами кумулятива) и расположением кумулятивного заряда во взрываемых скважинах. Параметры взрывного импульса (максимальное давление на фронте волны

и время приложения взрывной нагрузки), действующего на взрываемую среду, изменяются не только выбором типа ВВ, но и взрыванием нескольких взаимодействующих кумулятивных зарядов. Взрыв сближенных скважин с кумулятивными зарядами позволяет сосредоточить наибольшую энергию взрыва между такими скважинами. На этом участке после взрыва наблюдается наибольшее измельчение горной породы. Взрыв заряда в однородной среде условно разделили на взрывную полость, зону скопления взрывных газов, зону раздавливания материала. Если заряд имеет полость незначительных размеров по сравнению с другим зарядом, выходящим к стенке скважины, то взрывные газы будут частично направлены в сторону полости. В момент взрыва взрывные газы срабатывают как ударные волны в среде, и большая часть энергии расходуется на разрушение.

Схематически зона разрушения идеального цилиндрического заряда в однородной среде в сечении представляет собой окружность. В заряде, имеющем кумулятивную полость – эллипс. Кстати, в одном из фокусов находится зарядная полость. В начальный момент взрыва взрывчатое вещество “не замечает” полость. Появление взрывных газов, уплотнённых в сторону полости, приводит к увеличению зоны скопления газов в сторону выемки. Таким образом, зона раздавливания удлиняется в сторону кумулятивной полости. Перекрывание зон раздавливания ведет к значительному измельчению взорванной породы (зона 4). По сравнению со сближенными цилиндрическими зарядами зона перекрывания кумулятивных зарядов намного больше, поэтому энергия от взрыва в этих зонах во втором случае выше, чем в первом. В начале детонации заряда число радиальных трещин очень велико, и представляется в виде сплошной сетки мельчайших трещин, что создает впечатление пластичности породы. И только некоторые из них начинают расти как явно радиальные. Роль остаточного давления продуктов детонации, проникающих в трещины аналогично клину, способствуют возникновению растягивающих материал напряжений у конца трещин.

Длинные трещины имеют больший коэффициент напряжения, чем короткие. Здесь уместно заметить, что от свободной поверхности движется волна разгрузки, и она также взаимодействует с напряжениями сжатия. До момента достижения трещин свободной поверхности, скорость смещения невысока, а после ее достижения – скорость сдвижения резко возрастает.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

Применение кумулятивного заряда приводит к удлинению полости в сторону кумулятивной выемки и, следовательно, область мелкого дробления возрастает.

Образование радиальных трещин и откольные разрушения: это первые две стадии процесса разрушения, поскольку известно, что в ударную волну переходит до 15 % общей энергии взрывного вещества.

Распространение ударной волны во все стороны от скважины приводит к тому, что 60 % ее энергии рассеивается, и только 1/3 ее может быть использовано на разрушение, или только 4 % от общей энергии взрывной волны. Это означает, что ударная волна не может выполнить полное разрушение, а лишь подготавливает условия для этого. Порода хуже сопротивляется растяжению, что приводит к образованию радиальных трещин. Наличие свободной поверхности обеспечивает отражение ударной волны с образованием откола. Откол может происходить на плоскостях встречающихся трещин. Откольные явления происходят в период первых миллисекунд до массового разрушения массива и его сдвижения.

Литература

1. Ударно-волновая теория разрушения. Теория изложена в интерпретации М.А. Кука и <http://industry-portal24.ru/razrushenie/2738-udarno-volnovaya-teoriya-vzryvnogo-razrusheniya.html>
2. Булат П.В. Научно-технический вестник ИТМО / П.В. Булат и др. М., 2015.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. М.: ГИ ТТЛ, 1950. 165 с.
4. Патент 21032. Республика Казахстан. МПК F42D 3/04, (2006/01). Способ формирования кумулятивного заряда / С. Цой, Ш.Б. Байысбеков, Ш.В. Ниязова, Л.С. Цой; № 2007/1365.1; заявл.12.11.07; опубл.16.03.09; Бюл. № 3.
5. А.с. № 1037731. Цилиндрический заряд направленного действия / И.А. Тангаев, В.И. Нифадьев, В.Д. Савинков; заяв. ФПИ № 3390711; зарег. 22.04.1983.
6. Покровский Г.И. Действие удара и взрыва в деформируемых средах / Г.И. Покровский, И.С. Федоров. М., 1957. 276 с.
7. Цой С. Инновационная технология добычи и переработки руд / С. Цой, А. Курманкожаев, А.Г. Казанский, Ш.В. Ниязова, Л.С. Цой. Алматы: КазНТУ, 2010. 160 с.