

ность породы в несколько раз, что способствует их выемки применяемыми типами выемочно-погрузочного оборудования.

Опережающая выемка угольных пластов слоями с принудительным обрушением пород ви-сячего бока пласта (рис. 2.в) обосновывается возможностью создания предельно устойчивого вертикального откоса.

При отработке верхних горизонтов на большие глубины предлагается технология с поперечным подвиганием фронта работ с отработкой нижних горизонтов по бестранспортной технологии с опережающей выемкой угольных пластов (рис.4).

Технология ведения горных работ осуществляется по четырем этапам. На первом этапе драглайн устанавливается на верхней площадке нижнего отвального яруса и в режиме скрепирования убирает остатки породных междупластий частично заполняя отвальный ярус 1. Вторым этапом производится разработка подступа 2. Часть по-

роды с подступов 1 и 2 (в результате взрывного смещения) ссыпается вниз к первому отвальному ярусу. Заходка подступа 1 и заходка подступа 2 образуют временный навал, из которого драглайн формирует первый отвальный ярус. На третьем этапе разрабатывается подступ 3. Часть развала остается в самой заходке, а остаток смещается взрывом и располагается между заполненной емкостью первого отвального яруса и откосом невзорванной заходки подступа 4. Драглайн размещает вскрышу с заходки подступа 3 в нижнюю часть отвального яруса 2. Особенностью разработки придонной породоугольной заходки подступа 4 является ее расположение в зажатой среде. Последним ходом драглайн разрабатывает заходку и заполняет остаток второго отвального яруса. Следует отметить, что для отработки последующей заходки драглайну необходимо отсыпать трассу, при этом шаг передвижки поперек фронта работ примерно соответствует горизонтальной ширине отвального яруса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галустьян, Э. Л. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Недра, 1992. -428с.
2. Филимонов, Н. А. Горные машины для открытых работ. – М.: Недра, 1967. - 304с.

□Авторы статьи:

Селюков
Алексей Владимирович
- канд.техн.наук., ст.преп. каф.
открытых горных работ КузГТУ
Email: alex-sav@rambler.ru

Макаров
Владимир Николаевич
-технический директор ЗАО
“Стройсервис”.
Тел. 8 (3842) 37-7-865

УДК 622.235.

И.Б. Катанов

ФУГАСНОЕ ДЕЙСТВИЕ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПЕНОГЕЛЯ В КОНСТРУКЦИИ СКАВАЖИННОГО ЗАРЯДА

Для определения начального напряжения на границе «ВВ-среда» используют уравнения состояния ВВ, среды, законы сохранения массы, импульса и энергии. Действие волн напряжений рассматривают в акустическом приближении. В этом контексте фугасное действие взрыва пропорционально полному импульсу. Управление составляющими импульса (напряжением σ и временем t_2) позволяет изменять результат разрушения среды.

Действие взрыва заряда ВВ в горной среде характеризуется импульсом давления в зарядной камере, которое возбуждает в среде импульс напряжений. Импульсы давления и напряжения определяются изменением величины давления или напряжения во времени и интервалом времени приложения нагрузки. Параметры импульса на-

пряженя в среде определяются параметрами импульса давления в зарядной камере [1]

$$I = \int_0^t P(t) dt,$$

где P – максимальное давление на стенки зарядной камеры, Па; t – время, с.

Теоретическая зависимость $P=f(t)$, выведенная Г.И. Покровским, отражает взрывной импульс, характеризующий действие взрыва заряда в среде. Взрывной импульс в сплошной среде имеет положительную и отрицательную фазы. При наличии двух свободных поверхностей (уступа) движения массива в их сторону начинается только после действия положительной фазы, характеризуемой временем детонации заряда и нарастанием давления до максимума (t_1), временем, в течение

которого давление в скважине остается практически неизменным (t_2) и временем вспучивания призмы выброса под действием остаточного давления продуктов взрыва (t_3) (рис. 1).

Расширяющиеся газы начнут проникать в трещины, образованные тангенциальной составляющей прямой волны сжатия и истекать из скважины. После вылета забойки начинается также процесс истечения газов из скважины. Скорость утечки газов будет тем больше, чем сильнее давление в скважине. Процесс трещинообразования и дробления массива происходит в основном в течение времени t_3 , после чего трещины раскрываются, и происходит процесс выброса разрушенного массива.

Поскольку разрушение горного массива взрывом характеризуется бризантным и фугасным действием ВВ, то управление импульсом является важным элементом повышения эффективности подготовки горной массы взрывным способом.

Бризантное разрушение массива является результатом воздействия ударной волны в весьма ограниченном объеме (не более 1%) от объема дробления, определяется характером головной части импульса с давлением P_{max} и выражается в интенсивном переизмельчении и переуплотнении породы. С позиций горной практики этот процесс отрицателен, т.к. приводит, во-первых, к увеличению потерь полезного ископаемого вследствие его переизмельчения, а во-вторых, как следствие, к повышению начальной концентрации пыли в пылегазовом облаке. Для большинства промышленных ВВ основная доля из общей энергии взрыва приходится на фугасное действие. Это обстоятельство объясняется тем, что к моменту полного расширения ПД содержащего более 50 % от общей энергии взрыва, тогда как в зону напряжений переходит не более 15 %. Разрушение горных пород энергией взрыва зависит не только от их физико-механических свойств, которое происходит при снижении давления до P_1 , но и от величины взрывного импульса. При этом в скальных породах, характеризующихся высокими значениями упругих постоянных, разрушение происходит в основном за счет хрупких деформаций, которые достигаются в результате максимального пикового напряжения во фронте волны, а по мере уменьшения упругих свойств среды определяющую роль начинает играть импульс волн напряжений. Более длительный импульс обладает повышенной спектральной плотностью энергии в области низких частот, что уменьшает поглощение энергии импульса в ближней зоне и способствует повышению качества дробления.

Общепризнано, что импульс давления, возбуждаемый в горной среде цилиндрическим зарядом, при первом отражении от боковой и горизонтальной открытой поверхности уступа формирует поверхность поля напряжений, которую в первом приближении принято представлять поверхно-

стью S_δ некоторого тела вращения, состоящего из двух полушарий и цилиндра с высотой, равной длине заряда.

Площадь участка, ограниченного кривой $P=f(t)$ за время $t = t_1 + t_2 + t_3$ представляет собой удельный импульс на поверхность S_δ . Увеличение удельного импульса за счет времени Δt_4 способствует усилению степени дробления горного массива взрывом.

Одним из практических подтверждений этой информации являются результаты исследований [2], в которых установлены зависимости изменения зоны ослабления горных пород взрывным способом при использовании скважинных зарядов различной конструкцией и материала забойки. Так сравнение величин импульсов, передаваемых горный массив, показывает, что при конструкции скважинных зарядов с компенсационной и пеногелевой забойкой, величина импульса на порядок больше, чем при использовании инертной забойки. При этом размер радиуса зоны ослабления массива горных пород вокруг скважинного заряда в сравнении с инертной забойкой увеличивается 1,14-1,6 раза соответственно.

Таким образом, импульс взрыва является важным управляемым фактором, влияющим на качество дробления горного массива. Изменение параметров импульса возможно за счет начального давления продуктов детонации и времени их воздействия на горный массив.

Изменение конструкции скважинного заряда путем использования воздушных промежутков или кольцевых зазоров в общем случае также приводит к увеличению времени нарастания давления в зарядной камере. Поэтому одним возможных решений задачи повышения качества подготовки горной массы к экскавации является приме-

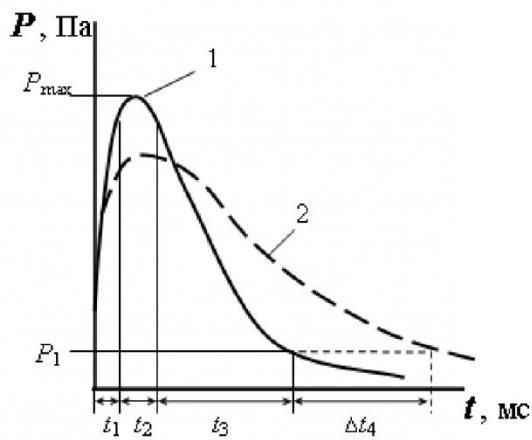


Рис. 1. Изменение давления продуктов взрыва на стенки скважины:

1 – при сплошной конструкции заряда; 2 – при конструкции заряда, увеличивающей длительность положительной фазы импульса взрыва

нение пеногеля в качестве наполнителя кольцевого зазора между стенкой скважины и зарядом, формируемом в рукаве.

Тогда время нарастания давления в скважине определяется:

$$t_n = t_d + t_s,$$

где t_s – время, в течение которого происходит сжатие пеногеля в кольцевом зазоре, с; t_d – время детонации заряда, с.

$$t_d = L/D,$$

где L – длина заряда, м; D – скорость детонации ВВ, м/с.

Время сжатия пеногеля, представляющего многокомпонентную смесь, можно определить исходя из условия ее сжимаемости. Поскольку поведение многокомпонентной среды определяется одним уравнением, которое на учитывает не только давление и объем, но и их производные по времени, что связано с учетом влияния скорости деформирования на уравнение сжимаемости среды. Работа ударной волны, совершаемая над областью среды, содержащей воздух в виде пузырьков, состоит в перенесении значительной части энергии волны в энергию пузырькового слоя. В результате воздействия давления P_n на пузырьковый слой, последний за время t_s сжимается. При этом начальный объем пузырькового слоя в пространстве, ограниченном стенками скважины, уменьшается до некоторой величины в зависимости от сжимаемости каждого компонента пузырьковой смеси [3]:

$$\xi = \left[\alpha_1 \left(\gamma_1 \frac{(P_n - P_1)}{\rho_1 C_1^2} + 1 \right)^{\frac{1}{\gamma_1}} + \alpha_2 \left(\gamma_2 \frac{(P_n - P_1)}{\rho_2 C_2^2} + 1 \right)^{\frac{1}{\gamma_2}} \right]^{-1},$$

где ξ – показатель сжимаемости пузырьковой среды; α_1 , α_2 – содержание по объему соответственно газообразного и жидкого компонентов; ρ_1 , ρ_2 – плотность газообразного и жидкого; C_1 , C_2 – скорость звука в газообразном и жидкокомпоненте.

Толщина сжатого слоя определяется:

$$l_s = l_z - \frac{l_z}{\xi},$$

где $l_z = R - r$ – толщина кольцевого зазора, м;

R – радиус скважины, м; r – радиус заряда, м.

Таким образом, давление газообразных продуктов взрыва, заторможенное на некоторый промежуток времени противодавлением схлопнувшегося пузырькового слоя, увеличивает время воздействия начального давления ПД на стенки

скважины. Исходя из вышеизложенного, за слоем будет формироваться волна с пологим фронтом, время нарастания t_n которого близко к времени схлопывания t_s сжатой полости пузырькового слоя [3]:

$$t_s = \frac{l_s}{2P_n} \left[\frac{\alpha_2 \rho_2}{1 - \alpha_1} \left(\frac{\alpha_2}{\rho_2 C_2^2} \right)^{-1} \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где P_n – начальное давление ПД.

С учетом преобразований временных параметров импульс взрыва скважинного заряда, в зависимости от изменения начального давления ПД (по экспоненциальному закону), принимает вид:

$$I = \int_0^{t_v} P_n \left[\left(\frac{t}{t_n} \right)^{\frac{2}{3}} e^{1 - \left(\frac{t}{t_n} \right)^{\frac{2}{3}}} \right] dt, \quad (2)$$

где t_n – время нарастания давления ПД; t_v – время воздействия ПД.

Время воздействия ПД на массив определяется суммарным временем запирания ПД в скважине материалом забойки и временем нарастания давления сжатием слоя пеногеля в кольцевом зазоре.

Для наглядности теоретических рассуждений приведем пример расчета изменений пространственно-временных параметров разрушения породного массива средней крепости и блочности, представляющих более 40 % от общего объема вскрыши на разрезах Кузбасса, скважинными зарядами с высотой колонки заряда ВВ 9,6 м, при глубине скважин 16 м, их диаметре 0,214 м, линии наименьшего сопротивления 5,6 м эталонным ВВ (типа граммонит 79/21) с различным материалом забойки.

Расчеты показывают, что начальное давление продуктов детонации в скважине равно $1,52 \cdot 10^9$ Па. Время детонации заряда составляет 2,7 мс. Выравнивание амплитуды скорости смещения частиц в материале забойки и горном массиве наступает на расстоянии 2-3 радиусов от границы раздела «ВВ-забойка» (рис. 2). Взаимодействие частиц в массиве и пеногелевой забойке, смещающихся со скоростью, которая изменяется в массиве от максимальной до критической величины (2-5 м/с), предопределяет пережатие скважины продуктами разрушения породы на величину, равную 20-30 радиусов заряда. Скорость развития зоны пережатия скважины составляет примерно 300 м/с. Время выброса твердой забойки со средней скоростью около 800-900 м/с составляет 6 мс, что почти в 2-3 раза быстрее, чем низкоплотной пористой (пеногелевой) забойки.

За время детонации заряда ВВ и время сжатия материала твердой забойки, $t_{s,t} = 0,02$ мс, общее время воздействия давление ПД на массив составляет около 10 мс. При низкоплотной пористой (пеногелевой) забойке общее время воздействия ПД на массив будет изменяться с учетом ее сжатия в зависимости от объемного содержания воздуха ($t_{s,p} = 0,025\text{--}0,008$ мс), определяя величину импульса.

Импульс волны сжатия формирует поверхность S поля напряжений. Удельный импульс в любой точке разрушающего массива на этой поверхности выражается отношением величины полного импульса I к площади S поля напряжений. С увеличением величины удельного импульса взрыва следует повышение качества дробления породного массива в пределах объема, ограниченного поверхностью S поля напряжений. Очевидно, что равное качество дробления следует ожидать при одинаковом удельном импульсе. В этом случае можно записать выражение, отражающее данное утверждение:

$$\frac{I_1}{S_1} = \frac{I_2}{S_2}, \quad (3)$$

где I_1, I_2 – импульсы взрывов скважинных зарядов различной конструкции; S_1, S_2 – соответственно площади поверхностей поля напряжения от тех же зарядов.

Для цилиндрического скважинного заряда, в общем случае (для простоты рассуждений), расстояние от его продольной оси до поверхности, ограничивающей зону разрушения, будет равно радиусу вращения вокруг продольной оси некоторой образующей. Тогда, по известному радиусу R_{p1} зоны разрушения, образующейся при импульсе I_1 вокруг скважинного заряда с конструкцией, принятой для заданных условий взрыва, можно оценить величину радиуса R_{p2} зоны разрушения при другой конструкции скважинного заряда, взрыв которого формирует импульс I_2

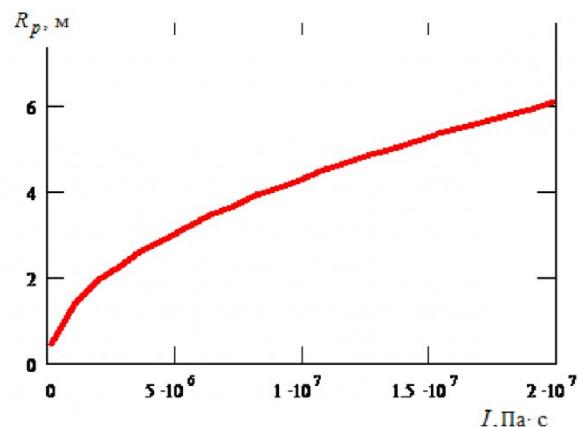


Рис. 2. Расчетное изменение радиуса зоны разрушения массива в зависимости от величины импульса ПД скважинного заряда

$$R_{p2} = (I_2 \frac{R_{p1}}{I_1})^{0,5} \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что если импульс взрыва имеет некоторое значение, при котором радиус зоны разрушения породы известен, то при увеличении импульса относительно этой величины, радиус зоны разрушения должен увеличиваться по степенной зависимости, асимптотически приближаясь к некоторой критической величине. Радиус зоны разрушения массива зарядом ВВ, рассчитанный по формуле (4) в зависимости от импульса взрыва этого заряда с одинаковым качеством дробления, можно представить (рис. 2).

При импульсе, равном $2,05 \cdot 10^7$ Па·с, от взрыва заряда ВВ с низкоплотной пористой (пеногелевой) забойкой и кольцевым зазором, заполненным пеногелем, содержащей 0,9 дол. ед. воздуха, радиус зоны дробления по сравнению с взрывом аналогичного заряда с твердой или гидрозабойкой, с заполнением кольцевого зазора аналогичным материалом, имеющего импульс $7,5 \cdot 10^6$ Па·с увеличивается в 1,6–1,8 раза.

Таким образом, совместное использование пеногелевой забойки и заполнение кольцевого зазора пеногелем будет способствовать повышению качества дробления массива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баум, Ф.А. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине/ Ф.А. Баум, Н.С. Санасарян // Сб.: Взрывное дело № 59/16. – М. : Госгортехиздат, 1966. С. 28–32.
2. Катанов, И.Б. Полигонные исследования эффективности скважинных зарядов с пеногелевой забойкой// Вестн. Кузбасс. гос. техн. унив. – 2006. – № 3. – С. 26–27.
3. Ляхов, Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах. – М.: Недра, 1974. – 192 с.

□Автор статьи

Катанов

Игорь Борисович

- докт. техн. наук, проф. каф.
открытых горных работ КузГТУ.
E-mail: kib.rmpio@kuzstu.ru