

МОДЕЛИ РАЗВАЛА ПОРОД НА УСТУПАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

На основе анализа развала горной массы при производстве взрывных работ и их теоретического описания предложены расчетные схемы для определения геометрических параметров в зависимости от условий взрывания. Получены соотношения, связывающие параметры буровзрывных работ с геометрическими размерами развала горной массы, что позволяет прогнозировать этот развал для различных технологий производства взрывных работ.

On the basis of the analysis of disorder of mountain weight by manufacture of explosive works and their theoretical description settlement circuits for definition of geometrical parameters are offered depending on conditions of detonation. Parities connecting parameters of chisel and explosive works with the geometrical sizes of disorder of mountain weight that allows to predict this disorder for various «know-how» of explosive works are received.

На основе анализа формы и геометрических размеров развала пород на карьерах черной и цветной металлургии Казахстана и их теоретического обобщения предложены модели развала при различных технологиях взрывных работ. Первая модель отражает технологические параметры развала при однорядном взрывании уступов, вторая модель – при многорядном короткозамедленном взрывании (КЗВ) на свободную поверхность, а третья модель – при многорядном КЗВ на подпорную стенку.

Конфигурация и геометрические размеры развала являются одними из важнейших результатов взорванных горных пород на карьерах. Они значительно влияют на производительность выемочно-погрузочного оборудования, экономичность и безопасность горных работ. Поэтому прогнозирование формы и характерных параметров развала имеет большую теоретическую и практическую ценность. Ниже рассмотрено несколько моделей и соответствующие им размеры развала пород при типовых параметрах расположения зарядов в уступе, которые будут способствовать решению большинства затронутых проблем.

Анализ многочисленных промышленных и экспериментальных взрывов показывает,

что при взрывании уступов однорядными вертикальными скважинными зарядами развал в поперечном сечении имеет форму, близкую к трапециевидной (первая модель развала). Площадь трапеции S_p состоит из площади большого треугольника S_1 , площади параллелограмма S_2 и площади малого треугольника S_3 (рис. 1). Развал такой конфигурации в полной мере отвечает требованиям техники безопасности, условиям размещения оборудования на рабочей площадке и обеспечивает высокую эксплуатационную производительность выемочно-погрузочного оборудования.

Основные геометрические размеры развала пород: высота развала у линии отрыва пород от массива H_1 , высота развала в месте пересечения его контура с линией откоса уступа H_0 при известной ширине отброшенной части развала B_0 , полной ширине развала пород B_p могут быть установлены из условия равенства площади поперечного сечения отбиваемого слоя массива S_m с учетом коэффициента разрыхления k_p площади поперечного сечения развала S_p^* .

В приведенной модели высота большого треугольника равна высоте развала в месте

* Ржевский В.В. Открытые горные работы. М.: Недра, 1985. Ч.2. 550 с.

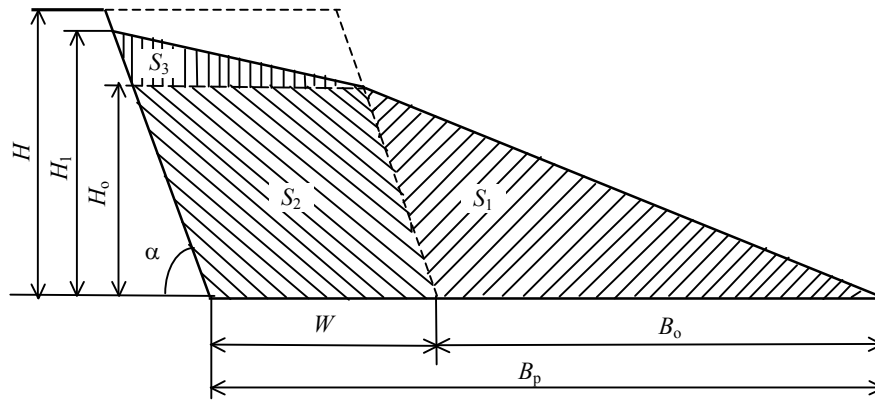


Рис.1. Схема к определению геометрических размеров развала при однорядном взрывании

пересечения его контура с линией откоса H_0 , высота параллелограмма равна также H_0 , а высота малого треугольника равна разности $H_1 - H_0$. Основание большого треугольника равно B_0 , основание малого треугольника и параллелограмма равно линии сопротивления по подошве уступа W . При типовых параметрах расположения зарядов в уступе ширина отброшенной части развала обычно не превышает 1,7 высоты уступа.

Поскольку $S_1 = 1/2 \hat{A}_1 \hat{I}_1$, $S_2 = W \hat{I}_1$, $S_3 = 1/2 W (\hat{I}_1 - H_0)$, $S_1 = \hat{I} W$ (H – высота уступа), то при заданной (известной) H_1 высота развала в месте пересечения с линией откоса определяется из соотношения

$$H_0 = \frac{2WHk_p - WH_1}{W + B_0}. \quad (1)$$

При несколько увеличенных зарядах трапеция вырождается в треугольник. В этом случае $B_0 > 1,7H$ и высота развала у линии отрыва от массива вычисляется по формуле

$$H_1 = \frac{2k_p HW}{W + B_0}. \quad (2)$$

Ширина отброшенной части развала B_0 – расстояние от нижней бровки взрывающего уступа до нижней кромки развала – определяется по зависимости*

* Ракишев Б.Р. Прогнозирование технологических параметров взорванных пород на карьерах. Алматы: Наука, 1983. 240 с.

$$\hat{A}_1 = \frac{v_{2m} \sin \alpha}{g} \left(v_{2m} \cos \alpha + \sqrt{v_{2m}^2 \cos^2 \alpha + 2gy_0 + \sqrt{3gy_{c2}}} \right) - x_0, \quad (3)$$

где v_{2m} – максимальная скорость центра основного участка взрывающего слоя,

$$v_{2m} = \mu_1 \frac{D}{2r_{i0}^{-2}} \sqrt{\frac{2q}{\rho_0(2\gamma - 1)}}, \quad (4)$$

μ_1 – поправка, учитывающая неравномерность распределения энергии ВВ по высоте уступа, $\mu_1 = \sqrt{h_3/\hat{I}}$; h_3 – высота колонки заряда над подошвой уступа; q – удельный расход ВВ, кг/м³; ρ_0 – плотность породы, кг/м³; γ – показатель изэнтропы, $\gamma = 1,2-1,4$; D – скорость детонации ВВ, м/с; α – угол откоса уступа, град.; g – ускорение свободного падения, м/с²; \hat{o}_{n2} – ордината центра эпицентральной части уступа; x_0, y_0 – координаты основного элемента взрывающего уступа M относительно нижней бровки уступа (рис.2),

$$\hat{o}_0 = W_1 \cos \alpha + (l_1/2) - l_i;$$

$$x_0 = -y_0 \operatorname{ctg} \alpha.$$

В свою очередь

$$W_1 = (H + l_i - l_1/2) \cos \alpha + b \sin \alpha,$$

где W_1 – ЛНС; l_n – длина перебура; l_1 – длина заряда; α – угол откоса уступа; b – расстояние от оси скважины первого ряда до верхней бровки уступа.

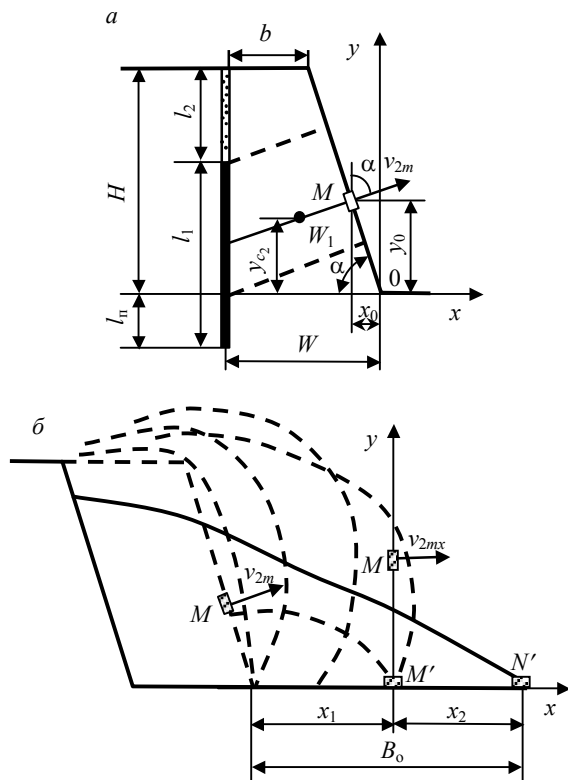


Рис.2. Схема к определению ширины отброшенной части развала пород

В выражении (3) учтено комплексное влияние всех основных параметров расположения заряда в массиве, свойств среды, применяемого ВВ и т.д. Например, сгущение сетки скважин обычно приводит к увеличению удельного расхода ВВ. В связи с этим увеличивается скорость второго участка, следовательно, и ширина развала пород. Поднятие колонки заряда в скважине также способствует достижению большей ширины развала. При прочих равных условиях плот-

ные породы энергией взрыва отбрасываются на меньшее расстояние, чем менее плотные и т.д.

Относительный предельный радиус взрывной полости $\bar{r}_{i0} = r_{i0} / r_0$ (где $r_{пр}$ – предельный радиус полости, r_0 – радиус заряда) выражений (4) и прочностная характеристика среды в условиях взрывного нагружения P_c вычисляются по зависимостям

$$\bar{r}_{i0} = \left(\frac{P_i}{P_n} \right)^{\frac{1}{4}}; E_n = \sigma_{\text{нае}} \left(\frac{\rho_0 \dot{n}^2}{\sigma_{\text{нае}}} \right)^{\frac{1}{4}}; E_1 = \frac{1}{8} \rho_{\text{вв}} D^2,$$

где c – скорость звука в породе; $\sigma_{сж}$ – предел прочности породы на сжатие; $\rho_{вв}$ – плотность ВВ; P_n – начальное давление продуктов детонации.

Полная ширина развала взорванной породы в общем случае

$$B_p = B_a + B_o = W + (n-1)a_p + B_o,$$

где n – число рядов скважин; a_p – расстояние между рядами скважин.

При многорядном взрывании на свободную поверхность максимальная высота развала H_p обычно больше, чем при однорядном расположении скважин и достигает максимального значения при четырехрядном взрывании. Обобщение большого количества массовых взрывов на карьерах черной и цветной металлургии показывает, что в общем случае поперечное сечение развала S_p можно принять состоящим из площадей трех простых фигур (вторая модель развала): правого треугольника S_1 , прямоугольника S_2 и левого треугольника S_3 (рис.3).

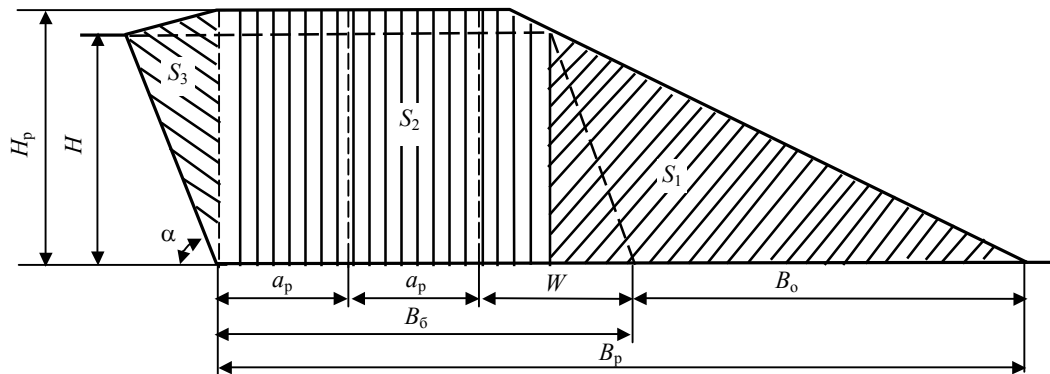


Рис.3. Схема к определению геометрических размеров развала при многорядном взрывании на свободную поверхность

Высота правого треугольника равна высоте уступа H , высота прямоугольника равна высоте развала H_p , основание левого треугольника равно высоте развала H_p .

Для определения средней высоты развала взорванной породы при многорядном взрывании на свободную поверхность важно соответствие ее с размерами поперечного сечения развала. Площади указанных фигур определяются по формулам (рис.3):

- правого треугольника

$$S_1 = \frac{1}{2} H (B_o + H \operatorname{ctg} \alpha),$$

- прямоугольника

$$S_2 = H_p [(n-1)a_p + W - H \operatorname{ctg} \alpha],$$

- левого треугольника

$$S_3 = \frac{1}{2} H_p H \operatorname{ctg} \alpha.$$

Приравняв площадь поперечного сечения развала при многорядном взрывании S_p площади поперечного сечения отбиваемого слоя массива S_m с учетом коэффициента разрыхления k_p , для средней высоты развала пород при многорядном взрывании на свободную поверхность получим следующее выражение:

$$H_p = \frac{2k_p [(n-1)a_p + W] - (B_o + H \operatorname{ctg} \alpha)}{2[(n-1)a_p + W] - H \operatorname{ctg} \alpha} H.$$

Решение этого уравнения относительно H_p в зависимости от параметров расположения скважинных зарядов и ширины отброшенной части развала показывает, что полученные результаты хорошо согласуются с данными большого количества массовых взрывов на карьерах.

В целях предотвращения значительного перемешивания разнородных пород в развале взрывание массива производят с оставлением неубранной части от предыдущего взрыва, т.е. на так называемую подпорную стенку. Размеры подпорной стенки из взорванной горной массы предопределяют геометрические параметры развала и качество дробления горных пород.

Подпорная стенка, ограничивая перемещение пород в горизонтальном направлении, создает условия для перемещения их в вертикальном направлении, что ведет к увеличению высоты развала.

При взрывании на неубранную горную массу суммарная ширина подпорной стенки $B_{п.с}$ и отброшенной части развала B_o примерно равна ширине стенки при взрывании на подобранный забой. Поэтому ширина отброшенной части развала \hat{A}'_1 при взрывании на подпорную стенку устанавливается из зависимости

$$\hat{A}'_1 = \hat{A}_1 - \hat{A}_{1.п}.$$

На основании анализа многочисленных промышленных взрывов при взрывании уступов на неубранную горную массу поперечное сечение развала пород можно принять состоящим из площадей трех простых геометрических фигур (третья модель развала): многоугольника S_1 , параллелограмма S_2 и трапеции S_3 (рис.4). Многоугольник ограничен наклонной линией поверхности отброшенной части развала, контурной линией подпорной стенки после ее перемещения, наклонной линией поверхности массива горных пород до производства взрывных работ и верхним основанием подпорной стенки. Параллелограмм представляет собой взрываемый блок массива. Трапеция ограничена линией верхней поверхности уступа, линией поверхности развала, наклонными отрезками поверхности развала. Нижнее основание трапеции равно сумме ширины взрываемого блока и ширины подпорной стенки сверху, а ее верхнее основание $B_c = a_p(n-1) + b + b_{п.с}/2$ (где b – расстояние от оси скважин первого ряда до верхней бровки уступа). Подпорная стенка после перемещения действием взрыва в разрезе представляет собой трапецию (рис.4), нижнее основание которой равно сумме ширины подпорной стенки понизу $B_{п.с}$ и ширины отброшенной части развала B'_o . На основании данных практики верхнее основание трапеции можно принять равной ширине подпорной стенки сверху, т.е. $b_{п.с}$. Высота указан-

3. При тех же условиях модель развала пород при многорядном КЗВ на свободную поверхность является совокупностью двух треугольников и прямоугольника (вторая модель развала).

4. При тех же условиях модель развала пород при многорядном КЗВ с подпорной стенкой представляются совокупностью мно-

гоугольника, параллелограмма и трапеции (третья модель развала).

5. Предложенные модели развала пород позволяют достаточно точно предрасчитать характерные параметры развала и отстроить его контур при различных технологиях взрывных работ, что весьма важно для управления процессами горных работ.