Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XX, вып. 2, 1976 г.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТВАЛОВ ИЗ ГРУБООБЛОМОЧНЫХ ПОРОД

В.П.Новиков, О.Б.Медовщиков.

Рост добычи полезных ископаемых открытым способом повлечет за собой увеличение объемов пустых пород, складируемых в отвалы. Наибольший удельный вес по объему добычи будут иметь крупные карьеры, разрабатывающие глубинные части месторождений. Годовой объем пустых пород на отдельных предприятиях достигнет к 2000 г. в рыхлом состоянии 20-100 млн.м^3, что потребует дополнительных площадей под отвалы от 2 до 9 тыс.га в год [4]. Отвальная масса на рудных карьерах будет представлена преимущественно дробленными скальными породами.

По инженерно-геологической классификации отвалы относятся к антропогеновым отложениям, состоящим из пород особого состава, состояния и свойств [2]. Своеобразие формирования тела отвала заключается в значительных скоростях накопления отвальных пород в геологическом масштабе и в возможности управления процессами отсыпки отвалов. В то же время отвалообразование является важным звеном в общей технологической цепи добычи полезных ископаемых открытым способом. Физико-механические свойства отвальных пород существенно влияют на технологию отсыпки отвалов и безопасность ведения горных работ. Поэтому установленная закономерность формирования тела отвала из грубообломочных пород представляет большой практический интерес как с технологической, так и с инженерно-геологической точек зрения.

В результате наблюдений установлено, что при отсыпке в отвалы грубообломочных пород происходит их естественная сортировка по крупности и неоднородности обломков вдоль склона яруса отвала. Основным фактором, определяющим возникновение этого процесса, является способ движения обломков по склону [1]. После того, как толщина движущегося слоя уменьшится до критического значения, наиболее крупные обломки выделяются из скользящей массы и начинают передвигаться в основном за счет качения.

Вследствие этого толщина движущегося слоя резко уменьшается и более мелкие обломки также получают возможность изменить тип движения (начинают двигаться за счет качения). Скорость движения изометричных обломков в конце участка разгона

$$V = A\sqrt{2gh(1 - k''ctg\alpha)},$$

где A – коэффициент, зависящий от формы обломка, для кубической формы $A = 0{,}82$; h – высота скатывания; α – угол наклона склона; k'' – приведенный коэффициент трения при качении обломков.

Приведенный коэффициент трения качения

$$k'' = \frac{k'}{R},$$

где R – радиус катящегося обломка; k' – линейный коэффициент трения при качении; при коэффициенте неоднородности обломков на склоне менее 5 линейный коэффициент трения при качении может быть принят равным среднему диаметру обломков, слагающих склон.

Так как приведенный коэффициент трения качения обломков обратно пропорционален их радиусу, то крупные камни набирают наибольшую скорость. В результате сортировки вдоль склона яруса отвала закономерно уменьшается коэффициент неоднородности, а в его нижней части скапливаются наиболее крупные и изометричные глыбы.

Гранулометрический состав на любой глубине тела яруса отвала может быть определен по нижеописанной методике.

До глубины, равной высоте начала сегрегации от верхней площадки яруса отвала, гранулометрический состав пород, слагающих тело отвала, соответствует гранулометрическому составу исходной отвальной массы. Высота начала сегрегации

$$h_0 = \frac{\eta C}{d_{90}},$$

где h_0 – высота начала сегрегации, м; η – коэффициент неоднородности исходной отвальной массы; $\eta = d_{60}/d_{10}$; d_{90}, d_{60}, d_{10} – диаметры на кумулятивной кривой исходной отвальной массы, меньше которых содержится соответственно 90, 60 и 10% обломков, м; C – коэффициент, зависящий от окатанности и формы обломков, $C = 1$ для неокатанных скальных обломков с отношением большей стороны к меньшей менее 2; $C = 0{,}25$ для окатанных изометричных обломков.

Ниже глубины начала сегрегации средний диаметр обломков и их неоднородность соответственно равны

$$d_{50i} = \frac{d_{50}}{a(b - h') + d_{50}/d_{90}},$$

$$\eta_i = \frac{\eta}{(1 + abh')^2},$$

где d_{50i}, d_{50} – средний диаметр обломков соответственно на искомой глубине h_i и в исходной отвальной массе; η_i, η – коэффициент неоднородности соответственно на исходной глубине и исходной отвальной массы; a – безразмерный коэффициент, зависящий от способа отвалообразования; $a = 2,2$ при разгрузке автосамосвала непосредственно под откос, $a = 2,0$ при сталкивании отвальной массы бульдозером или экскаватором; b – безразмерный коэффициент, зависящий от неоднородности исходной отвальной массы, $b = 0,82 \lg\eta$; h' – условная глубина, $h' = (h_i - h_0)/H$, м; H – высота яруса отвала, м.

Коэффициенты корреляции уравнений для определения диаметра и неоднородности соответственно $0,91 \pm 0,40$ и $0,84 \pm 0,06$.

По многочисленным испытаниям дробленых скальных пород различного гранулометрического и петрографического состава установлено, что их прочностные свойства при нормальных давлениях, возникающих в пределах призмы возможного обрушения, характеризуются углом внутреннего трения, равным $43^0 \pm 2^0$. Угол наклона откоса яруса отвала равен углу внутреннего трения складируемой породы только на участке начала сегрегации при сталкивании отвальной массы под откос бульдозером. При разгрузке автосамосвалов непосредственно под откос угол наклона в верхней части яруса до высоты начала сегрегации на 2^0 меньше угла внутреннего трения породы. Выполаживание угла наклона этого участка яруса происходит вследствие того, что трение при движении отвальной массы ниже ее трения покоя.

Ниже участка начала сегрегации откос яруса выполаживается, а его результирующий угол может быть найден по формуле

$$\operatorname{ctg}\alpha = \operatorname{ctg}\alpha_0 + \left(\frac{h - h_0}{2H}\right)^2 + \lg\beta ,$$

где α – результирующий угол наклона яруса; α_0 – угол наклона яруса до высоты начала сегрегации; h – высота от верхней бровки яруса; β – угол наклона основания.

Относительная ошибка при определении результирующего угла по приведенной формуле на отвалах Ковдорского ГОК не превышала 4%. Естественное уплотнение отвальной массы вызывает выполаживание откоса яруса на $2–3^0$ за 2–3 года.

Уменьшение угла естественного откоса яруса приводит к тому, что при его высотах более 40 м коэффициент запаса устойчивости самого тела отдельного яруса становится выше нормативного, обычно равного 1,2. Поэтому высота отдельных ярусов и результирующий угол отвалов определяются физико-механическими свойствами пород основания [3] или возможностью сдвига отвала по основанию по крупным глыбам, скапливающимся в нижней части яруса отвала [1].

Литература

1. Зотеев В.Г., Новиков В.П. Выбор рациональных параметров и режимов отсыпки высоких бульдозерных отвалов. Тр. ИГД МЧМ СССР, вып. 44. Свердловск, 1974.

2. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология. Л., „Недра", 1970.

3. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М., „Недра", 1965.

4. Элькин А.Я., Жериосенко К.К., Дороненко Е.П. Определение рационального вида восстановления земель. Тр. ИГД МЧМ СССР, вып. 44. Свердловск, 1974.