

УДАРНО-ФРИКЦИОННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА РАЗДЕЛИТЕЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Ляпцев С. А., Потапов В. Я., Потапов В. В., Семериков Л. А., Васильев Е. А.

В статье приведено основное уравнение динамики, характеризующее поведение частиц при ударе о разделительную поверхность. Представлены результаты расчета угла и скорости отражения, времени и абсциссы падения после удара частиц некоторых материалов.

Ключевые слова: методика; фрикционные характеристики; дифференциальные уравнения; графические зависимости.

Наиболее часто в практике разработки конструкций горных машин для разделения и классификации руд используют различие в трении и упругости минералов. Машины этого принципа действия применяют в основном для разделения неметаллических полезных ископаемых, таких как асбест, уголь, слюда и др.

Основным недостатком существующих машин, основанных на эффектах взаимодействия горной массы с рабочей поверхностью аппаратов, является то, что разделение горных пород осуществляется не по комплексу физико-механических свойств, а по одному наиболее контрастному признаку: трению, упругости, форме или твердости. Внедрение новых аппаратов по одному признаку разделения лишь частично обеспечивает возможность качественного разделения горных пород.

Наиболее перспективным направлением в совершенствовании и проектировании разделительных аппаратов является создание аппаратов, использующих комплекс физико-механических свойств горных пород, что обеспечивает более полное разделение полезных ископаемых в одном аппарате.

Физико-механические характеристики пород в литературе представлены в основном одним статическим коэффициентом трения, а упругие свойства минералов практически отсутствуют. В разных источниках одни те же минералы имеют разные значения этих признаков. В предложенной статье рассмотрено поведение частиц при ударе о

наклонную поверхность.

При ударе частицы об упругую шероховатую плоскость происходит изменение величины и направления скорости частицы из-за ударного и фрикционного воздействия. Частицы с разными коэффициентами трения и восстановления при ударе имеют различные величины и направления скорости после удара, поэтому коэффициенты восстановления при ударе и трение могут служить разделительными признаками [1].

Нарис. 1 изображена схема взаимодействия частицы с наклонной плоскостью при ударе. Здесь V и U – скорости частицы перед ударом и после удара, S_N и S_{TP} – импульсы нормальной реакции и трения. Если частицы падают на наклонную плоскость вертикально, то угол падения частицы α (с нормалью к плоскости) равен углу наклона плоскости β (рис. 1). Основное уравнение динамики при ударе [2] записываем в проекциях на касательную (τ) и нормаль (n):

$$\begin{cases} mU \sin \beta - mV \sin \alpha = -S_{TP}, \\ mU \cos \beta + mV \cos \alpha = S_N. \end{cases} \quad (1)$$

При этом, согласно гипотезе Рауса,

$$S_{TP} = fS_N, \quad (2)$$

где f – коэффициент трения при ударе.

Кроме того, из определения коэффициента восстановления [2] следует, что

$$U \cos \beta = kV \cos \alpha. \quad (3)$$

Решая систему уравнений (1)–(3), откуда получим

$$\beta = \arctg \left[\frac{1}{k} (\operatorname{tg} \alpha - f) - f \right];$$

$$U = \frac{kV \cos \alpha}{\cos \beta}. \quad (4)$$

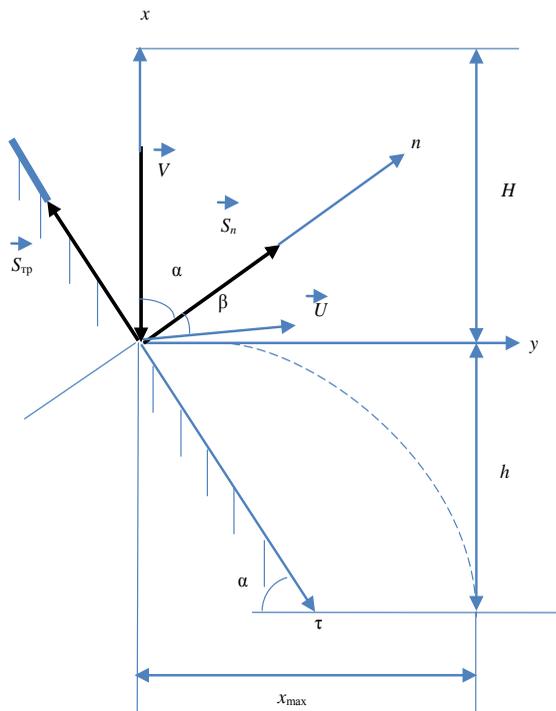


Рис. 1. Схема удара частицы о наклонную плоскость

Дальнейшее движение частицы после отражения, пренебрегая сопротивлением воздуха, полагаем свободным падением. В системе координат xy (см. рис. 1) уравнения свободного падения имеют вид:

$$\begin{cases} x = Ut \sin(\alpha + \beta), \\ y = \frac{1}{2} gt^2 - Ut \cos(\alpha + \beta). \end{cases} \quad (5)$$

Частица упадет на горизонтальную плоскость при $y = h$, поэтому для определения времени падения имеем квадратное уравнение

$$t_{\Pi} = \frac{U \cos(\alpha + \beta) + \sqrt{U^2 \cos^2(\alpha + \beta) + 2gh}}{g}, \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} gt^2 - Ut \cos(\alpha + \beta) - h = 0. \quad (7)$$

Подставляя время падения в первое уравнение системы (5), получим дальность полета частицы в виде:

$$x_{\max} = Ut_{\Pi} \sin(\alpha + \beta). \quad (8)$$

В работе [3] приведены некоторые значения коэффициентов восстановления и трения, полученные экспериментально. В частности, для изверженных пород $k_{\text{и}} = 0,52$, $f_{\text{и}} = 0,16$, а для сланцев $k_{\text{с}} = 0,32$, $f_{\text{с}} = 0,27$. Произведем вычисления по формулам (4), (5), (7), (8) для данных значений коэффициентов. Для сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными используем представленные в выборке [3] значения: высота, с которой бросают частицы $H = 0,5$ м, угол наклона разделительной плоскости $\alpha = 35^\circ$. Получим в обоих случаях $V = \sqrt{2gH} = 3,13$ м/с. Далее проводим расчеты для каждого материала в отдельности. Для изверженных пород по первой формуле (4) угол отражения $\beta = 41,3^\circ$, а по второй – скорость отражения $U = 1,77$ м/с. Время падения после удара находим по формуле (7): $t_{\Pi} = 0,29$ с. Следовательно, из соотношения (8) получаем $x_{\max} = 0,50$ м. Аналогично проводим расчеты для сланцев: $\beta = 47,1^\circ$; $U = 1,20$ м/с; $t_{\Pi} = 0,26$ с; $x_{\max} = 0,31$ м. Следовательно, разница между абсциссами точек падения изверженных пород и сланцев составит 0,19 м.

Как показывают экспериментальные исследования [4], фактический разброс агрегатов асбестовых горных пород на плоскости падения значительно больше. Основной причиной значительного рассеяния дальности отскока агрегатов волокон является их вытянутая форма, приводящая к косому удару. В этом случае центр тяжести частицы значительно смещен от линии удара. У породных частиц, имеющих округлую форму, относительное среднее квадратическое отклонение дальности их отражения при

углах наклона плоскости 20–30°, как правило, составляет 30–40 %.

Упругие свойства вмещающей породы, которые можно оценивать величиной

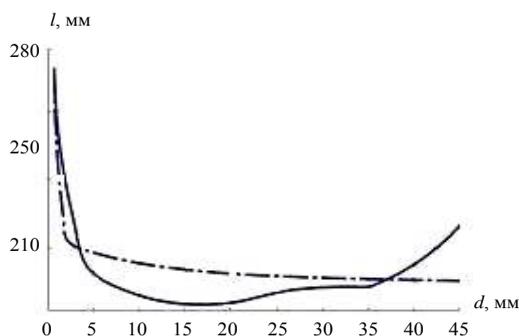


Рис. 2. Зависимость расстояния отражения породных частиц l от крупности после взаимодействия с наклонной плоскостью d :

$$l = 144,1 + 83,2/d$$

— экспериментальная кривая;
 - - - - - расчетная кривая

отскока частицы от плиты x_{\max} , в незначительной степени зависят от крупности частиц. Для интервала крупности $d = 35–63$ мм зависимость между ними аппроксимируется уравнением $x_{\max} = 44 + 83,2/d$ с корреляционным отношением 0,864 (рис. 2).

Как для породных частиц, так и для нераспушенного асбестового волокна эффект взаимодействия с поверхностью разделения зависит от высоты подачи продукта и угла

наклона поверхности к горизонту (рис. 3).

В ходе экспериментов уточнены физические характеристики частиц асбестовых и углесодержащих формаций, в частности, значения коэффициентов трения при ударе, ха-

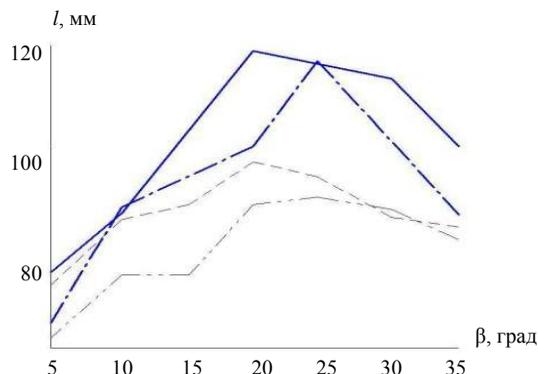


Рис. 3. Зависимость расстояния отражения породных частиц крупностью $-35+20$ мм (l) от угла наклона плоскости β и высоты подачи, мм:

— 500 мм; — — — — — 450 мм
 - - - - - 400 мм; - · - · - · - 350 мм

рактеризующих относительное снижение проекции скорости частиц на плоскость удара.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили теоретические закономерности, описанные выше, что позволяет при известном минералогическом составе руды проводить оптимизацию процесса разделения на разделительной плоскости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В. Я. Потапов [и др.] // Изв. вузов. Горный журнал. 1998. № 5–6. С. 103–108.
2. Вебер Г. Э., Ляпцев С. А. Дополнительные главы механики для горных инженеров. Свердловск: УрГУ, 1989. 199 с.
3. Ляпцев С. А., Потапов В. Я., Афанасьев А. И. Аппараты для разделения горных пород по упруго-фрикционным свойствам. LAP LAMBERT Academic Publishing, Deutschland, Saarbrucken 2014. 90 с.
4. Потапов В. Я., Радаев П. И. Совершенствование конструкции сепаратора с неподвижной разделительной поверхностью: матер. Урал. горнопром. декады. Екатеринбург: УГТУ, 2011. С. 365–366.

Поступила в редакцию 3 июля 2014 г.

Ляпцев Сергей Андреевич – доктор технических наук, заведующий кафедрой технической механики, профессор. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: gmf.tm@ursmu.ru

Потапов Валентин Яковлевич – доктор технических наук, профессор кафедры горной механики, доцент. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: 2c1@inbox.ru

Семериков Леонтий Андреевич – аспирант кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.

Васильев Евгений Александрович – аспирант кафедры горной механики. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.