

УДК 622.23.05

СВЯЗЬ ВЕРОЯТНОСТИ ПРОХОЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ ГОРНЫХ ПОРОД СКВОЗЬ РЕШЕТКУ ГРОХОТА С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ГРОХОЧЕНИЯ

Волков Е.Б., Ляпцев С.А.

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
Екатеринбург, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru*

В статье рассматривается теоретическое определение эффективности работы вибрационных грохотов. Показано, что теоретическая эффективность грохочения зависит от количества ударов частиц горных пород о прутья решетки грохота и может определяться как вероятность прохождения частиц сквозь эту решетку. Предлагаемая зависимость адекватно отражает технологический процесс обогащения полезных ископаемых. Установлена взаимосвязь конструктивных и режимных параметров грохота с количеством возможных ударов о решетку грохота. Для исследования влияния входных параметров установки с учетом упругих и фрикционных характеристик горных пород составлена математическая модель, включающая уравнения свободного полета частиц и их удара о наклонную плоскость. Доказано, что определение необходимой величины количества ударов частиц сводится к определению кинематических параметров движения частиц на поверхности грохота и ограничена длиной рабочей поверхности.

Ключевые слова: *вибрационные грохоты, математическая модель, уравнения движения, эффективность грохочения, фрикционные характеристики горных пород, траектория движения, коэффициент живого сечения, теоретическая эффективность грохочения, вероятность просеивания*

COMMUNICATION PROBABILITY OF PASSING ROCK PARTICLES THROUGH THE GRATING ROAR WITH SCREENING EFFICIENCY

Volkov E.B., Lyaptsev S.A.

Ural state mining University, Yekaterinburg, e-mail: gmf.tm@m.ursmu.ru

The article examines the effectiveness of the theoretical definition of vibrating screens. It is shown that the theoretical efficiency of screening depends on the number of particles of rock beats the bars on screen and can be defined as the probability of the passage of particles through this grid. Proposed dependence adequately reflects the technological process of mineral processing. The interrelation between constructive and regime parameters screen with the number of possible attacks against the bars screen. To study the effect of input parameters while observing the elastic and frictional characteristics of rocks composed mathematical model incorporating the equation of the free flight of the particles and their impact on an inclined plane. It is proved that the definition of the required value number of beats particles is reduced to the determination of kinematic parameters of motion of the particles on the surface of screen and limited by the length of the working surface.

Keywords: *vibrating screens, mathematical model, the equations of motion, the effectiveness of screening, friction characteristics of rocks, the trajectory, the coefficient of living section, the theoretical effectiveness of screening, the probability of sifting*

В практике обогащения твердых сыпучих полезных ископаемых наиболее частое применение находят наклонные вибрационные грохоты. Одним из наиболее важных показателей работы грохота является его эффективность, которая при правильно подобранных параметрах может достигать 97% [4]. Для достижения таких результатов необходимы серьезные затраты, так как эффективность грохочения в большинстве случаев определяется опытным путем, а теоретические методики ее определения являются приближенными.

На эффективность работы грохота влияет множество различных факторов, таких как угол наклона рабочего органа, форма отверстий сита, высота подачи материала и др. Этими факторами определяется вероятность прохождения частиц сквозь решетку грохота. Очевидным является тот факт, что процесс классификации горных пород по крупности носит вероятностный характер.

Большинство работ по определению вероятности просеивания было проведено с идеализированной частицей, имеющей сферическую форму, которая просеивалась через сита с квадратными отверстиями [6].

Как отмечалось ранее, конструктивное исполнение просеивающей поверхности грохота влияет на вероятность прохождения частиц сквозь нее.

В свою очередь, просеивающие поверхности характеризуются таким параметром, как коэффициент живого сечения L , равный отношению площади отверстий сетки в свету к ее общей площади, выраженное в процентах или в долях единицы [5].

Если бы рудные частицы бросали на решетку грохота по одной, то наилучшим расположением плоскости решетки для мелких частиц было бы горизонтальное, так как площадь «живого сечения» ячейки в данном случае максимальная, а потому вероятность прохождения мелкой частицы через ячейку наибольшая.

При увеличении угла наклона сита уменьшается кажущаяся величина отверстий сита, равная величине проекции действительного отверстия на горизонтальную плоскость

$$d_k = d \cos \alpha, \quad (1)$$

где d_k – кажущаяся величина отверстий сита; d – действительная величина отверстий сита, мм%; α – угол наклона сита к горизонту.

Теоретически эффективность грохочения можно определить как вероятность прохождения частиц сквозь решетку грохота. Эта величина зависит от количества ударов частиц об решетку грохота перед их просеиванием. Так, при однократном прохождении матери-

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_{n-1} = (L + (1-L)L + (1-L)^2L + \dots + (1-L)^{n-1}L) \cos \phi. \quad (4)$$

Выражение (4) может быть преобразовано по формуле суммы геометрической прогрессии к следующему виду

$$\varepsilon = (1 - (1-L)^n) \cos \phi. \quad (5)$$

В зависимости от количества ударов о сетку теоретическая эффективность грохочения увеличивается и в пределе стремится к 100%.

ала сквозь решетку грохота вероятность прохождения сквозь решетку грохота ε_1 равна

$$\varepsilon_1 = L \cos \phi, \quad (2)$$

где L – коэффициент живого сечения просеивающей поверхности, равный отношению площади отверстий к общей площади сетки; ϕ – угол наклона рабочей поверхности грохота.

Часть материала, количественно равная $(1-L)$, отразится от прутков решетки и вновь упадет на сетку. Из этой части пройдет сквозь сетку следующая величина, равная

$$\varepsilon_2 = ((1-L)L) \cos \phi, \quad (3)$$

а часть $(1-L)^2$ отразится.

В результате суммарная вероятность прохождения частиц сквозь решетку грохота определится как

Рассмотрим пример по определению теоретической эффективности с ситом, коэффициент живого сечения которого равен 66%. Эта эффективность для данного сита при угле его наклона в 20 градусов была рассчитана по формуле (5) и на основе полученных результатов построен график зависимости теоретической эффективности от количества ударов (рис. 1).

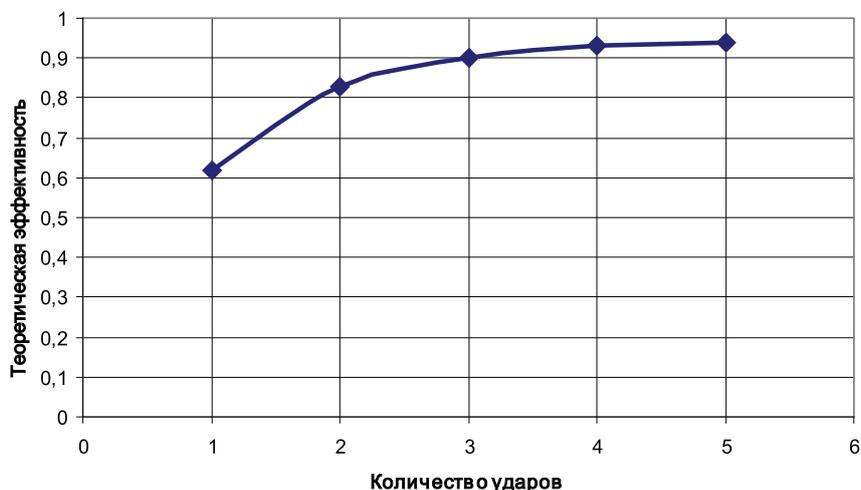


Рис. 1. Зависимость теоретической эффективности от количества ударов

Анализируя зависимость, представленную на рис. 1, заметим, что теоретическая эффективность растет от удара к удару и стремится к 100%. Очевидно, что чем больше ударов совершит частица, тем выше будет вероятность ее просеивания.

Таким образом, необходимо так подобрать конструктивные и режимные параметры грохота с учетом упругих и фрикционных характеристик горных пород [3], чтобы

количество возможных ударов о плоскость сетки было как можно больше.

Для определения необходимой величины количества ударов частиц необходимо установить кинематические параметры движения частиц на поверхности грохота, ограниченной длиной рабочей поверхности.

При попадании рудных частиц в рабочее пространство грохота возможно два варианта развития событий:

1 вариант. Удар частицы о прутки сетки.
2 вариант. Просеивание сквозь ячейки сетки.

Для исследования влияния входных параметров установки (угла наклона рабочей поверхности φ и высоты подачи материала h) составлена математическая модель, включающая уравнения свободного полета частиц и их удара о наклонную плоскость [2].

Частицы падают на поверхность грохота вертикально, поэтому в момент соприкосновения с наклонной плоскостью вектор скорости падения V_0 составляет угол φ с нормалью к этой плоскости.

Величину скорости после удара U_i и угол отражения β_i при произвольном ударе « i » находим из системы уравнений, определяющих коэффициент восстановления и коэффициент трения при ударе [1], а также из уравнений теоремы об изменении количества движения

$$\begin{cases} mU_i \cos \beta_i + mV_i \cos \alpha_i = S_N, \\ mU_i \sin \beta_i - mV_i \sin \alpha_i = -S_{TP}, \end{cases} \quad (6)$$

где m – масса частицы; U_i – скорость после удара, м/с; β_i – угол отражения при произвольном ударе, град.; V_i – скорость перед ударом, м/с; α_i – угол падения при произвольном ударе, град.; S_N – импульс нормальной реакции при ударе; S_{TP} – импульс силы трения.

Угол отражения

$$\beta_i = \arctg \left[\frac{1}{k} (\tg \alpha - f) - f \right], \quad (7)$$

где f – коэффициент трения при ударе; k – коэффициент восстановления.

Величина скорости после удара может быть определена по формуле:

$$U_i = \frac{V_i}{\sin \beta_i} [\sin \alpha_i - f(1+k) \cdot \cos \alpha_i]. \quad (8)$$

После отражения частицы от поверхности грохота происходит ее свободный полет, схема которого показана на рис. 2.

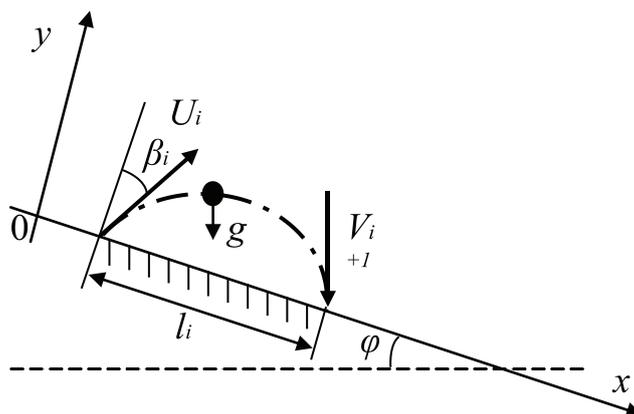


Рис. 2. Расчетная схема движения частиц на наклонной плоскости

Если пренебречь силами сопротивления движению частицы, то уравнения ее движения в свободном полете можно получить из соотношений кинематики равнопеременного движения. Так как $a_x = g \sin \varphi$, $a_y = -g \cos \varphi$, то в системе координат, связанной с поверхностью грохота, эти уравнения имеют вид

$$\begin{cases} x = x_i + U_i \sin \beta_i t + \frac{1}{2} g \sin \varphi t^2, \\ y = U_i \cos \beta_i t - \frac{1}{2} g \cos \varphi t^2, \end{cases} \quad (9)$$

где x_i – координата положения частицы на наклонной плоскости, м; t – текущее время.

Из второго уравнения системы (9) при условии, что $y = 0$, выразим текущее время

$$t = \frac{2U_i \cos \beta_i}{g \cos \varphi}. \quad (10)$$

Дальность полета l_i вдоль поверхности грохота до следующего удара находим, исключив из системы уравнений (9) параметр текущего времени

$$l_i = \frac{2U_i^2 \cos \beta_i}{g \cos \alpha} (\sin \beta_i + \tg \varphi \cos \beta_i). \quad (11)$$

По данным кинематическим параметрам, учитывающим не только входные

и режимные параметры, но и фрикционные и упругие характеристики горных пород, довольно точно можно спрогнозировать количество их отражений.

Список литературы

1. Вебер Г.Э. Дополнительные главы механики для горных инженеров / Г.Э. Вебер, С.А. Ляпцев. – Свердловск: УрГУ, 1989. – 292 с.
2. Ляпцев С.А. Анализ эффективности процесса разделения горных пород на пассивном грохоте / С.А. Ляпцев, Е.Б. Волков // Математическое моделирование механических явлений: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – С. 22–25.
3. Потапов В.Я. Методика определения упругих и фрикционных характеристик сыпучих материалов / В.Я. Потапов, Е.Ф. Цыпин, С.А. Ляпцев, А.И. Афанасьев // Известия вузов. Горный журнал. – 1998. – № 5–6. – С. 103.
4. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1982. – 365 с.
5. Харламов В. С. Обогащение руд черных металлов / В.С. Харламов, В.П. Николаенко. – М.: Недра, 1965. – 239 с.
6. Юдин А.В. Тяжелые вибрационные питатели и питатели-грохоты для горных перегрузочных систем / А.В. Юдин, В.А. Мальцев, А.Н. Косолапов. – Екатеринбург: УГГТА, 2009. – 402 с.

References

1. Weber G.E. Additional chapters mechanics for mining engineers / G.E. Weber, S.A. Lyaptsev. Sverdlovsk: USU, 1989. 292 p.

2. Lyaptsev S.A. Analysis of the effectiveness of the separation process of rocks on the passive din / S.A. Lyaptsev, E.B. Volkov // Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference «Mathematical modeling of mechanical phenomena». Ekaterinburg: URSMU, 2013. pp. 22–25.

3. Potapov V.Ya. Methods of determining the elastic and frictional characteristics of bulk materials / V.Ya. Potapov, E.F. Tsipin, S.A. Lyaptsev, A.I. Afanasiev // Proceedings of the universities. Mining Journal. 1998. no. 5–6. pp. 103.

4. Handbook of ore dressing. Preparatory processes / Ed. OS Bogdanov [et al.]. Moscow: Nedra, 1982. 365 p.

5. Kharlamov V.S. Dressing of ferrous / V.S. Kharlamov, V.P. Nikolaenko. Moscow: Nedra, 1965. 239 p.

6. Yudin A.V. Heavy feeders and vibrating feeders, screens for mountain reloading systems / A.V. Yudin, V.A. Maltsev, A.N. Kosolapov. Ekaterinburg: USMGA, 2009. 402 p.

Рецензенты:

Герц Э.Ф., д.т.н., профессор, декан лесотехнического факультета, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург;

Готлиб Б.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Мехатроника», ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 11.04.2014.