

Т.В. Денискина

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И УГЛА НАКЛОНА ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕГО ОРГАНА ВИБРОМЕЛЬНИЦЫ НА КАЧЕСТВО ГОТОВОГО ПРОДУКТА

Представлены теоретические исследования измельчения горного сырья на криволинейной поверхности вибрационной мельницы. Установлена зависимость угла наклона вибродеки от параметров режима колебаний (частоты, амплитуды, угла вибрации) и крупности измельчаемого материала.

Ключевые слова: вибрационное измельчение, криволинейная вибродека, колебания, уравнение движения материальной частицы.

На современном этапе развития горной промышленности одной из важных задач является совершенствование традиционных методов измельчения материалов. Наиболее перспективным методом помола является вибрационный метод измельчения. Процесс измельчения в вибрационных мельницах осуществляется за счет хаотичного неуправляемого соударения мелющих шаров между собой и кусками измельчаемого материала, что значительно повышает энергоемкость вибромашины.

Для снижения энергоемкости работы вибрационных мельниц необходимо исключить из процесса измельчения холостые (т.е. без материала) соударения мелющих тел, а также организовать упорядоченное воздействие шаров на измельчаемый материал, т.е. крупные шары должны измельчать крупные куски материала, а шары меньшего размера – мелкие куски материала. Таким образом, при измельчении материала традиционным способом необходимо создать такие условия работы в камере измельчения, при которых сводились бы к минимуму холостые удары шаров между собой, а затраты энергии приходились бы на взаимодействие шаров с кусками породы.

Таких условий можно достичь, используя в качестве мелющей загрузки шары различного диаметра, расположив их в рабочей камере вибромашины, работающей по принципу вибрационного сепаратора с вогнутой цилиндрической поверхностью деки. Такой конструкцией может являться вибрационная мельница [2], представленная на рис. 1.

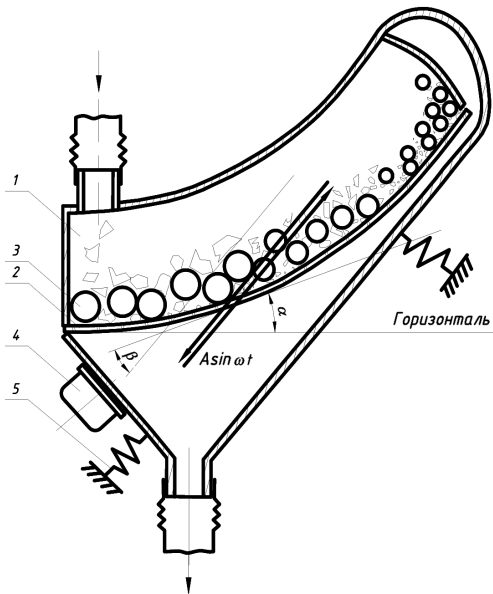


Рис. 1. Вибрационная мельница: 1 – помольная камера; 2 – криволинейная вибродека; 3 – мелющие тела разного диаметра; 4 – вибровозбудитель направленных колебаний; 5 – пружинные опоры

При движении по вогнутой поверхности вибромашины скорость мелюшей загрузки $\dot{x}$, в зависимости от крупности (массы), оказывается различной. Более мелкие частицы транспортируются вверх по наклонной поверхности со значительной скоростью, в то время как скорость более крупных частиц близка к нулю.

Для упрощения расчета, непрерывную криволинейную поверхность разбиваем на ряд последовательно соединенных отдельных плоскостей.

Дифференциальные уравнения относительного движения мелюшей загрузки вдоль вибродеки имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} m(\ddot{x} + \ddot{\xi}) &= -k(\dot{x} + \dot{\xi}) - mg\delta \sin \alpha + F(t), \\ m\ddot{\eta} &= -mg\delta \cos \alpha + N(t), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где m – масса мелюшей загрузки (шары + измельчаемый материал); $\xi(t)$ – перемещение вибродеки вдоль своей поверхности; $\eta(t)$ – перемещение вибродеки в перпендикулярном поверхности направлении; k – коэффициент вязкого сопротивления на этапе прямого скольжения; g – ускорение свободного падения; $x(t)$ – координата шара в системе осей xOy , связанной с вибродекой; δ – коэффициент, учитывающий Архимедову силу; α – угол наклона вибродеки к горизонту; $y(t)$ – координата шара в системе осей xOy и перпендикулярном поверхности вибродеки направлении; $N(t)$ – нормальная реакция вибродеки.

Под $F(t)$ подразумевается сила сухого трения, связанная при движении мелющих тел по вибродеке $y = 0$ с нормальной реакцией $N(t)$ соотношением:

$$F(t) = -fN(t) \text{ при } \dot{x} > 0. \quad (2)$$

где f – коэффициент сухого трения скольжения.

Из второго уравнения (1) найдем нормальную реакцию $N(t)$:

$$N(t) = m[g\delta \cos \alpha + \ddot{\eta}(t)]. \quad (3)$$

Мелюшая загрузка действительно остается на вибродеке лишь при условии, что нормальная реакция $N(t) > 0$, т.е. положительность нормальной реакции является условием существования безотрывного движения

$$\ddot{\eta}(t) \geq -g\delta \cos \alpha. \quad (4)$$

Подставляя (3) в (2), получим

$$F(t) = -fN = mf[g\delta \cos \alpha + \ddot{\eta}(t)]. \quad (5)$$

Подставляя выражение для силы трения (5) в первое уравнение (1), получим уравнение движения мелющих тел по вибродеке:

$$\ddot{x} + n\dot{x} = -(\ddot{\xi} + f\ddot{\eta} + n\dot{\xi} + D), \quad (6)$$

где

$$n = \frac{k}{m}; D = \delta g(f \cos \alpha + \sin \alpha). \quad (7)$$

Интегрируя дифференциальное уравнение (6) при следующих начальных условиях

$$\left. \begin{aligned} t &= t_0; x(t_0); \dot{x}(t_0); \\ \xi(t_0) &= \xi(t_0); \dot{\xi}(t_0) = \dot{\xi}(t_0); \\ \eta(t_0) &= \eta(t_0); \dot{\eta}(t_0) = \dot{\eta}(t_0); \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

получим

$$\dot{x}(t) = \left[\dot{\xi}(t_0) e^{nt_0} + f \int_{t_0}^t \ddot{\eta} e^{nt} dt \right] e^{-nt} - \frac{1}{n} D \left[1 - e^{-n(t-t_0)} \right] - \dot{\xi}(t) \quad (9)$$

$$x(t) = \frac{1}{n} \left\{ \left[\dot{\xi}(t_0) + \frac{1}{n} D \right] \left[1 - e^{-n(t-t_0)} \right] + f \left[\dot{\eta}(t_0) - \dot{\eta}(t) \right] - D(t-t_0) + e^{-nt} f \int_{t_0}^t \ddot{\eta} e^{nt} dt \right\} + \xi(t_0) - \xi(t) \quad (10)$$

где t_0 – момент времени начала движения вперед; t – время; $x(t_0)$ – относительная координата в начале этапа прямого скольжения, которую всегда при соответствующем выборе начала координат, можно предполагать равной нулю; $\dot{\xi}(t_0)$; $\dot{\eta}(t_0)$ – соответствующие начальные скорости колебаний вибродеки в начале этапа прямого скольжения; $\xi(t_0)$ – перемещение вибродеки вдоль своей поверхности в начале этапа прямого скольжения.

При движении шаров и измельчаемого материала по криволинейному рабочему органу вибромашины существенное влияние на вибрационный процесс распределения оказывают такие параметры как амплитуда колебаний A и угол вибрации β .

Для определения оптимального сочетания этих параметров вибромашины получим зависимости изменения скорости движения мелющей загрузки от амплитуды колебаний A и угла вибрации β в условиях, когда колебания вибродеки описываются гармоническим законом и направление колебаний образует с поверхностью деки некоторый угол.

Тогда проекция $\xi(t)$ и $\eta(t)$ перемещения вибродеки на оси неподвижной системы координат будут

$$\left. \begin{aligned} \xi(t) &= A \cos \beta \sin \omega t, \\ \eta(t) &= A \sin \beta \sin \omega t, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где A – амплитуда гармонических колебаний; β – угол между направлением вибраций и вибродекой.

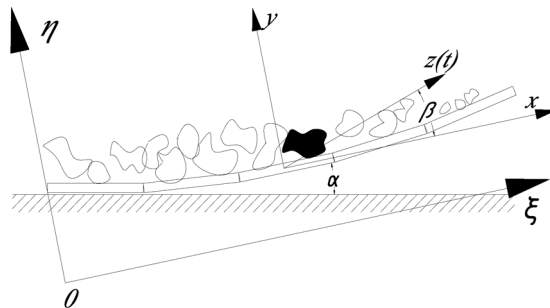


Рис. 2. Материальная частица в слое материала на криволинейной поверхности, совершающей гармонические колебания под углом β к плоскости вибродеки

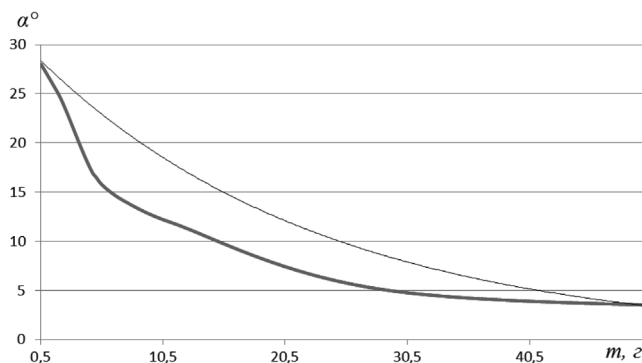


Рис. 3. Зависимость угла подъема мелющего тела от его массы при угле вибрации $\beta = 37,5^\circ$, частоте $\omega = 8$ Гц и амплитуде колебаний $A = 7$ мм

С учетом (11) уравнение для определения скорости движения мелющей загрузки (шаров) вперед (9) будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) = v = & Ae^{nt_0}(\cos \beta \cos \omega t_0 - \sin \beta \sin \omega t_0) + f \cdot A(\cos \beta \sin \omega t + \\ & + \sin \beta \cos \omega t - \cos \beta \sin \omega t_0 - \sin \beta \cos \omega t_0) - \frac{1}{n}D(1 - e^{-n(t-t_0)}) - \\ & - A(\cos \beta \cos \omega t - \sin \beta \sin \omega t) \end{aligned} \quad (12)$$

Решение дифференциального уравнения (12) при различных начальных условиях дает возможность оценить влияние режимных и конструктивных параметров вибромашины на характер движения исследуемого материала.

При исследовании режимов движения мелющей загрузки в вибрационных машинах, работающих по принципу вибрационного сепаратора с вогнутой поверхностью деки, особое внимание следует уделить определению углов наклона вибрирующей поверхности к горизонту, при которых движение мелющих тел различных размеров вверх по наклонной поверхности прекращается.

В установившемся режиме предельно возможный угол подъема мелющей загрузки α_* , то есть угол, при котором $\dot{x} = 0$, определяется из уравнения [1], т.е., $mg \sin \alpha_* = v(0)$.

$$(13)$$

С учетом (7), принимая $\alpha = \alpha_*$, уравнение для определения предельно возможного угла подъема мелющей загрузки вверх по наклонной вибрирующей поверхности запишется в виде:

$$\sin \alpha_* = -\frac{\delta}{k}(f \cos \alpha_* + \sin \alpha_*). \quad (14)$$

Очевидно, что для шаров различной крупности эти углы будут различными. Под действием вибрации измельчаемый материал может переходить в состояние близкое к «псевдооживлению», динамика которого во многом зависит от физико-механических свойств измельчаемого материала и мелющих тел.

Для определения предельных углов подъема мелющих шаров по наклонной вибрирующей поверхности исследуем полученную зависимость для заданных параметров колебаний вибромашины. Результаты исследований представлены на рис. 3.

Полученную зависимость можно аппроксимировать экспоненциальной кривой, описываемой следующим уравнением

$$y = b \cdot e^{-0,05x} \quad (15)$$

где b – величина, равная $\alpha_{\max}$.

Решение полученного уравнения позволяет спроектировать рабочую поверхность заданной кривизны, на которой под воздействием направленных колебаний шары будут размещаться не в навал, а по размерам, соответствующим размеру кусков измельчаемого материала, т.е. в нижней части будут находиться крупные шары, измельчающие крупные куски материала, а в верхней – более мелкие шары, измельчающие соответственно мелкие куски.

Представленные выше теоретические исследования движения частиц горной массы вверх по криволинейной вибрирующей поверхности могут использоваться при проектных расчетах и выборе параметров вибромашин с криволинейной ситовой поверхностью, необходимость разработки которых представляется актуальной. В таких конструкциях криволинейность поверхности способствует повышению эффективности измельчения горной массы, за счет послойной сегрегации материала, но и снижению энергоемкости процесса измельчения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вибрации в технике: Справочник*, в 6-ти т. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э. Лавендела. – М.: Машиностроение, 1981. – 509 с., ил.
2. Бардовский А.Д., Бибииков П.Я., Денискина Т.В., Митусов П.Е. Патент РФ № 98340 Вибрационная мельница. Опублик. 20.10.10. **РИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Денискина Татьяна Владимировна – аспирант, e-mail: tofych@rambler.ru, МГИ НИТУ «МИСиС».

UDC 621.867.522.2

INFLUENCE OF THE SHAPE AND ANGLE OF THE VIBRATING SURFACE OF THE WORKING BODY VIBRATION MILL ON THE QUALITY OF THE FINISHED PRODUCT

Deniskina T.V., Graduate Student, e-mail: tofych@rambler.ru, Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The article gives a brief analysis of the means of destruction rock mass with the help of the most common mechanical equipment. Describes the process of destruction of rock mass and the influence of the means of destruction on the energy efficiency of the process. The conclusion is made about the necessity to develop the new type grinding equipment used for the destruction of weak mining rocks with simultaneous classification. Given the constructive scheme of a chopper-classifier, given a description of the principles of its work.

Key words: shredder-classifier, shear stresses, the shaft-shredder, perforated drum, different circumferential speeds.

REFERENCES

1. *Vibracii v tehnike: Spravochnik*, v 6-ti t. T. 4. Vibracionnye processy i mashiny. Pod red. Je.Je. Laven-dela (Vibration in engineering: Handbook, in 6 vol., vol. 4. Vibration processes and machines. Lavendel E.E. (Ed.)), Moscow, Mashinostroenie, 1981, 509 p.
2. Bardovskij A.D., Bibikov P.Ja., Deniskina T.V., Mitusov P.E. Patent RU 8340, 20.10.10.