

УДК 621.926

Боровский Д. Н.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЗАГРУЗКИ ВНУТРИ
ЦЕНТРОБЕЖНО-ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

Белорусский государственный технологический университет, Минск

Шаровое измельчение – один из наиболее распространенных способов разрушения материалов, позволяющий получить тонкодисперсный продукт [1]. Это достигается благодаря комбинированному воздействию на материал, включающему раздавливание, истирание и удар. Однако измельчение, реализуемое в традиционных тихоходных барабанных мельницах, сопровождается большими энергозатратами. Снизить затратную часть процесса и интенсифицировать его можно путем изменения механизма движения измельчающих тел (шаров). Это достигается в высокоскоростных шаровых мельницах, к которым относятся центробежно-шаровые [1, 2].

На уровне изобретений предложено значительное количество таких агрегатов [2], однако в теоретическом отношении они мало изучены [3] вследствие их большого конструктивного разнообразия и трудностей учета всех действующих факторов внутри мельниц данного типа, что в свою очередь негативно сказывается на разработке промышленных образцов этих измельчителей.

Для изучения центробежно-шаровых мельниц необходимо иметь цельную математическую модель движения как материала, так и мелющих тел внутри мельницы. Она позволит спрогнозировать характер движения загрузки, который в свою очередь даст возможность определить геометрические размеры и технологические параметры мельницы.

На рис. 1 представлен один из вариантов центробежно-шаровой мельницы. В такой конструкции движение мелющих тел можно разделить на несколько стадий: относительное движение во вращающемся роторе, движение по статическому кольцу, соударение тел и их свободный полет с возвращением на плоское днище ротора.

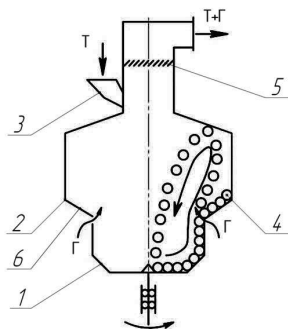


Рис. 1. Схема вертикальной центробежно-шаровой мельницы:
1 – ротор; 2 – корпус; 3 – загрузочная воронка; 4 – мелющее тело;
5 – классификатор; 6 – статическое кольцо

Для получения уравнений, описывающих движение на одной из вышеперечисленных стадий, составлялась система уравнений действующих сил в проекциях на соответствующие оси координат, после чего проводились преобразования для получения уравнений с одной неизвестной. При этом использовалась цилиндрическая система координат, так как она позволяет сразу определить координаты тела r и φ . Тогда для первой стадии – движение по ротору – она принята подвижной и вращающейся с угловой скоростью, равной угловой скорости конуса, а движение мелющего тела рассматривалось относительно вращающейся конической поверхности, а на последующих стадиях – движение рассматривается в неподвижной системе.

Первый этап – движение во вращающемся роторе – описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} r\ddot{\varphi} + 2\dot{r}\dot{\varphi} = 2\omega^2 r - f(\omega^2 r - 2\omega r\dot{\varphi})\sin\alpha + g\cos\alpha \cdot \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2 + \dot{z}^2}} - \\ - f_1 \left(2\omega \sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2} - \omega^2 r \cos\varphi \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2}} \right); \\ \ddot{r} - r\dot{\varphi}^2 = \omega^2 r - 2\omega r\dot{\varphi} - f(\omega^2 r - 2\omega r\dot{\varphi})\sin\alpha + g\cos\alpha \cdot \frac{\sqrt{\dot{r}^2 + \dot{z}^2}}{\sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2 + \dot{z}^2}} \cos\alpha - \\ - f_1 \left(2\omega \sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2} - \omega^2 r \cos\varphi \frac{r\dot{\varphi}}{\sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2}} \right) + \\ + \left(\frac{j \cdot \omega^2 (r^3 - r_{ш}^3)}{\pi \cdot r \cdot r_{ш}} \cos\alpha - \frac{g(H - z)}{2r_{ш}} \sin\alpha \right) \cos\alpha; \\ \ddot{z} = -g - f(\omega^2 r - 2\omega r\dot{\varphi})\sin\alpha + g\cos\alpha \cdot \frac{\sqrt{\dot{r}^2 + \dot{z}^2}}{\sqrt{(r\dot{\varphi})^2 + \dot{r}^2 + \dot{z}^2}} \sin\alpha + \\ + \left(\frac{j \cdot \omega^2 (r^3 - r_{ш}^3)}{\pi \cdot r \cdot r_{ш}} \cos\alpha - \frac{g(H - z)}{2r_{ш}} \sin\alpha \right) \sin\alpha. \end{cases}$$

где r, φ, z – текущие координаты тела, м; $\dot{r}, \dot{\varphi}, \dot{z}, \ddot{r}, \ddot{\varphi}, \ddot{z}$ – скорости (м/с) и ускорения (м/с²) тела соответственно по осям r, φ, z ; f – коэффициент трения мелющего тела (частицы материала); ω – угловая скорость ротора, рад/с; α – угол наклона образующей плоскости к горизонтали, град; g – ускорение свободного падения, м/с²; f_1 – коэффициент трения между соприкасающимися шарами (частицами материала); j – коэффициент заполнения цепочки (столбика) шарами; $r_{ш}$ – радиус шара, м; H – высота ротора, м.

Аналогичные системы уравнений были получены и для последующих стадий: движения по кольцу, подъема за счет соударения тел и падения на ротор.

В результате решения математической модели на ЭВМ с применением математического пакета Mathcad были получены графики, характеризующие различные этапы движения мелющих тел и материала внутри мельницы в зависимости от ее геометрических параметров, размеров тел загрузки и частоты вращения ротора.

Максимальная высота подъема материала по стенкам ротора для первой стадии в зависимости от его диаметра представлена на рис. 2.

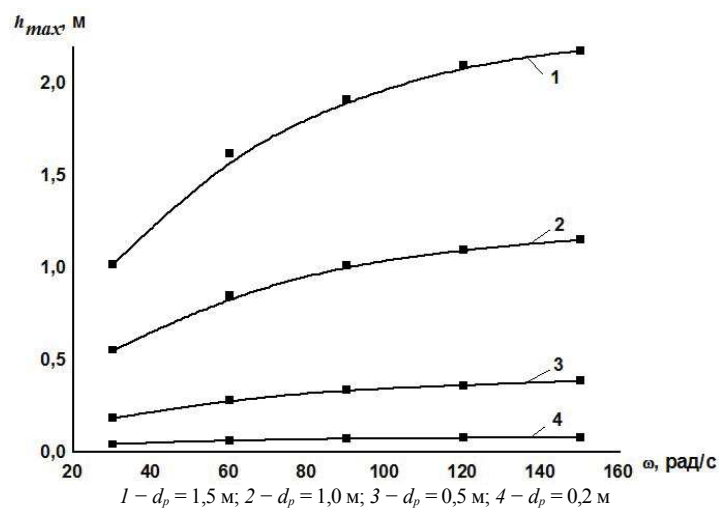


Рис. 2. Максимальная высота подъема материала $d_u = 3$ мм в роторе при различных его диаметрах

В заключение можно сделать вывод, что предложенная методика расчета, базирующаяся на комплексном анализе движения частиц материала и мелющих тел в различных зонах мельницы, позволяет определить ее геометрические параметры, необходимую угловую скорость ротора, а также высоту подъема загрузки, которая в дальнейшем будет влиять на эффективность измельчения материала.

Литература

1. Сиденко, П. М. Измельчение в химической промышленности / П. М. Сиденко. – 2-е изд. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
2. Zentrifugalnassmahltechnik bis in den Nanobereich mit Pestle-Mill // Keram. Z. – 2004. – Jhrg. 56, № 5. – S. 320.
3. Наниева, Б. М. Кинематические и динамические характеристики движения измельчаемого материала в корпусе центробежной мельницы вертикального типа: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Б. М. Наниева; Северо-Кавказ. гос. технологич. ун-т. – Владикавказ, 2005. – 21 с.

Barouski D. N.

MATHEMATICAL MODEL MOVEMENT OF LOADING IN THE CENTRIFUGAL-SPHERICAL MILL

The Belarus state technological university, Minsk

Summary

In article problems of reception of fine disperse powders are considered. The most perspective ways of decrease in power inputs and an intensification of process of crushing are revealed. The design procedure of movement of loading in a centrifugal-spherical mill is presented. Being based on the received results of mathematical model, some following laws of movement are revealed.