

УДК 621.926

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

А. Д. МИХАЛЬКОВ, В. С. МИХАЛЬКОВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В различных технологических процессах важное значение имеет активность вяжущего, т. е. тонкость и качество измельчения, что позволяет существенно повысить его марочную прочность и сократить время твердения.

В классических шаровых мельницах доизмельчение материала происходит при вращении помольной камеры стальными шарами. В вертикальной вибрационной шаровой мельнице колебания помольной камеры происходят в одной плоскости, для чего используется тяговый электромагнит переменного тока, который позволяет регулировать режимы работы шаровой мельницы и обеспечивать работу в квазирезонансных режимах [1].

Под руководством проф. Л. А. Сиваченко авторами разработана схема конструкции вертикальной мельницы (рис. 1), в которой колебание двух помольных камер, расположенных в противофазе, осуществляется при вращении приводного эксцентрикового вала, спроектирована и изготовлена масштабная модель лабораторной установки (см. рис. 1).

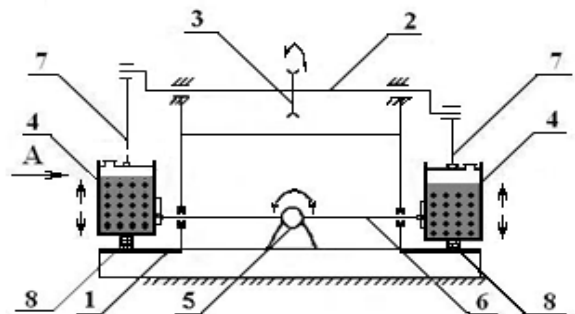


Рис. 1. Лабораторная установка и принципиальная схема мельницы

Принципиальная схема мельницы, состоит из рамы 1 с установленным электродвигателем; на концах приводного эксцентрикового вала посредством тяг 7 подвешены помольные камеры 4 (по одной с каждой стороны). Помольные камеры 4 связаны с плитой рамы 1 пружинами 8. Привод 3 эксцентрикового вала осуществляется от электродвигателя через клиноременную передачу. Помольные камеры соединены между собой гибким коромыслом 6 с шарниром 5 в центре.

Построена математическая модель работы мельницы. Вертикальная скорость движения и ускорения каждой из камер в любой момент времени описываются соответствующими уравнениями

$$V_{\kappa} = -r \cdot \omega \cdot \left(\sin \omega \cdot t + \frac{r}{\ell} \sin 2 \cdot \omega \cdot t \right); \quad a_4 = -r \cdot \omega^2 \cdot \left(\cos \omega \cdot t + \frac{r}{\ell} \cdot \cos 2 \cdot \omega \cdot t \right). \quad (1)$$

Все металлические шары и измельчаемый материал в выделенном цилиндрическом столбе будем рассматривать как суммарную массу шаров $m_{ш}$ и массу измельчаемого материала $m_{изм}$, элементы этого цилиндрического столба можно представить в виде расчетной модели (рис. 2, а); конструктивная схема помольной камеры с материалом для измельчения и мелющими шарами приведена на рис. 2, б.

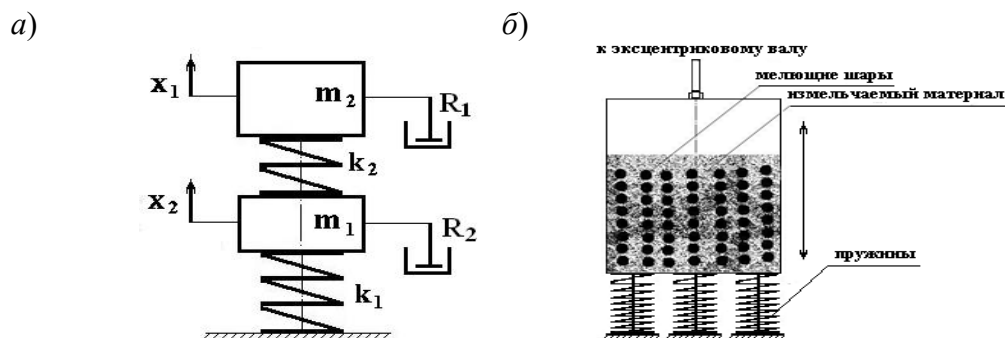


Рис. 2. Расчетная схема двухмассовой колебательной системы одной из камер (а) и схема устройства помольной камеры вертикальной вибрационной мельницы (б)

Математическая модель работы вертикальной вибрационной балансирной мельницы в конечном виде представляет собой следующее:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= \frac{[F(t) - P_1 - P_{21} + F_{21}(t) - R_1 \cdot y_1 - C_1 \cdot x_1 + R_2 \cdot (y_2 - y_1) + C_2 \cdot (x_2 - x_1)]}{m_{12}(t)}, \\ \frac{dy_2}{dt} &= \frac{[F_2(t) + F_{12}(t) - P_2 - R_2 \cdot (y_2 - y_1) - C_2 \cdot (x_2 - x_1)]}{m_2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) описывают условия взаимодействия элементов колебательной системы, причем эти колеблющиеся элементы не связаны между собой. Эти дифференциальные уравнения решаются численными методами, например, методом Рунге – Кутты [2]. Входными параметрами являются амплитуда и частота возмущающей силы, масса мелющих шаров и масса измельчаемого материала. Искомыми данными являются перемещение, скорость и ускорение элементов колебательной системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данекер, В. А. Математическое моделирование режимов работы колебательной шаровой мельницы / В. А. Данекер // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 5. – С. 141–151.
2. Ханин, С. И. Математическая модель процесса движения мелющих тел в трубной мельнице с винтовыми устройствами / С. И. Ханин // Вестн. Белгород. гос. техн. ун-та имени В. Г. Шухова. – 2009. – № 3. – С. 91–96.