

УДК 621.926

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

В. С. МИХАЛЬКОВ, Д. В. МИХАЛЬКОВ, А. С. МАРЧЕНКО

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В современной отрасли производства строительных материалов для отделочных, вяжущих и других порошковых материалов составляющие измельчения (тонкодисперсные порошки) главным образом влияют на качество готовой продукции. Например, при получении цемента изменение крупности конечного продукта в два раза позволяет повысить прочность и скорость твердения смеси. Изменение степени измельчения позволяет придать строительному материалу новые физико-технические, механические, химические свойства либо существенно изменить их. При этом вибрационный метод измельчения, как способ получения тонкодисперсных порошков сверхтонкого помола, является одним из наиболее перспективных.

На рис. 1 изображена вертикальная вибрационная мельница и помольная камера для измельчения строительных материалов.

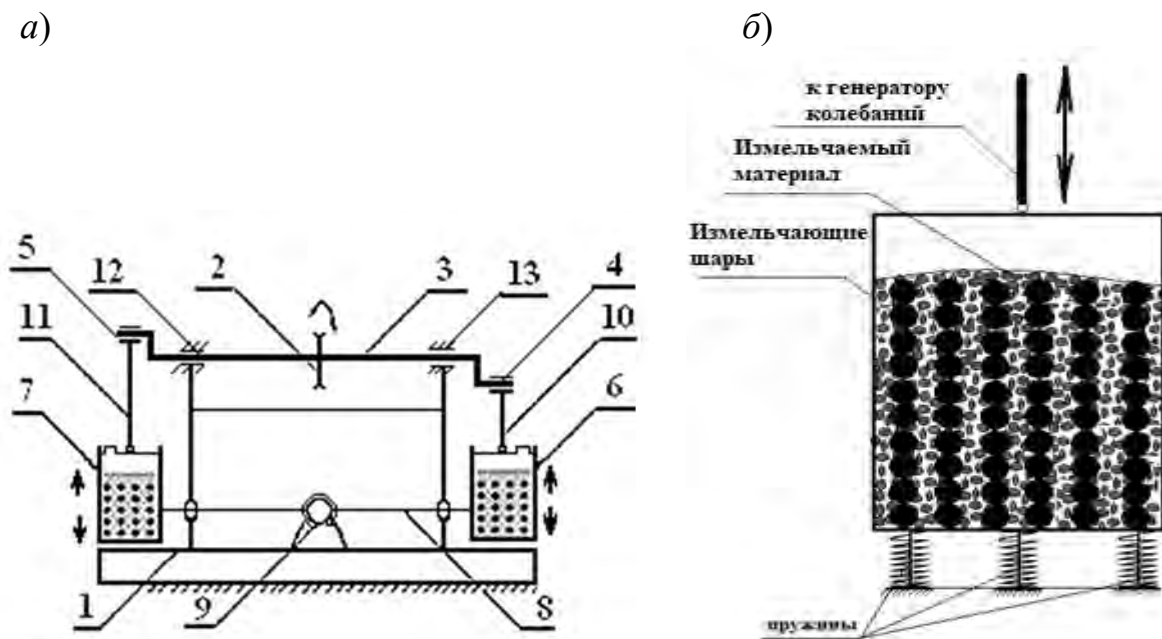


Рис. 1. Вертикальная вибрационная мельница (а) и помольная камера для тонкого измельчения строительных материалов (б)

Помольная камера заполняется измельчающими шарами и материалом, который требуется измельчить. Вал генератора колебаний вибрационной мельницы получает вращение от привода. Консоли выполнены противоположно и передают возвратно-поступательные перемещения вертикальной тягам,

соответственно, помольная камера совершает колебательные движения в вертикальной плоскости.

Под воздействием вибрации помольной камеры частицы измельчаемого материала совершают сложные движения, а находящиеся в камере мелющие стальные шары, подбрасываясь, соударяются друг с другом и с частицами материала. Такие высокочастотные соударения обеспечивают разрушение материала измельчения в том числе с учетом усталостного разрушения. Частота колебаний помольной камеры может быть в пределах от 10 до 50 с⁻¹, амплитуда ускорения движения корпуса помольной камеры достигает значений от 50 до 300 м/с². Материал при этом измельчается более интенсивно, чем в классических шаровых мельницах, а процесс измельчения менее энергозатратный. Кроме того, при каждом цикле колебаний происходит встряхивание помольной камеры, предотвращающее слеживание измельчаемого материала.

Входными параметрами процесса измельчения вибрационной мельницы являются следующие исходные данные:

- амплитуда и частота колебаний системы;
- параметры рабочего тела;
- характеристики загружаемого продукта;
- параметры помольной камеры.

Закономерности, характеризующие параметры движения загруженного продукта совместно с рабочим телом, описываются моделью на основе ударно-импульсного механизма совместной работы.

Колебания тел в помольной камере совершаются под действием возмущающей силы $F(t)$, создаваемой приводным механизмом. Уравнение движения помольной камеры с учетом всех сил, действующих на нее, имеет следующий вид:

$$m_{12} \cdot \frac{d^2 x_1}{dt^2} + R_1 \cdot \frac{dx_1}{dt} - R_2 \cdot \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + C_1 \cdot x_1 - C_2 \cdot (x_2 - x_1) + P_1 + P_{21} = F(t) + F_{21}(t).$$

Уравнение движения измельчающих шаров и частиц измельчаемого материала с учетом всех сил, действующих на них, выглядит следующим образом:

$$m_2 \cdot \frac{d^2 x_2}{dt^2} + R_2 \cdot \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + C_2 \cdot (x_2 - x_1) + P_2 = F_{12}(t) + F_2(t).$$

После соответствующих преобразований двух представленных уравнений с учетом некоторых корректных допущений имеем систему дифференциальных уравнений, позволяющую моделировать режимы работы вибрационной мельницы. Особое внимание при решении системы дифференциальных уравнений уделяем соблюдению условий взаимодействия двух практически механически не связанных колеблющихся элементов [1].

Данная система уравнений решается численным методом Рунге – Кутты с помощью программы Python.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данекер, В. А. Математическое моделирование режимов работы колебательной шаровой мельницы / В. А. Данекер // Изв. Томского политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – С. 141–151.