**II. МАШИНОБУДУВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОБРОБКА**

Анциферов А. В.

Драбан Д. И.

Государственное
высшее учебное
заведение
«Национальный
горный
университет»

УДК 531-531.3

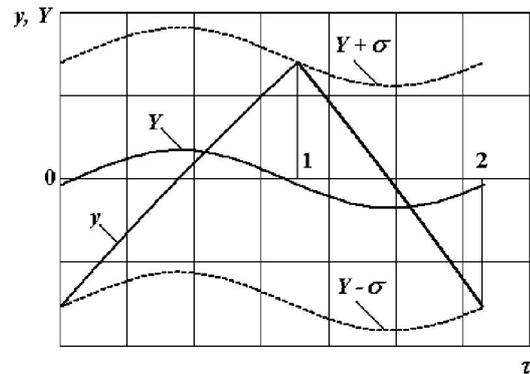
**РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
РЕЖИМОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ
ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

Розглядається один із способів урахування подрібнювального матеріалу у вібраційному млині. За допомогою введення у розрахунок різноманітних коефіцієнтів відновлення швидкості.

One way of recording crushes material in vibrating mill. With the introduction of various coefficient in the calculation of recovery speed.

В настоящее время для получения мелкодисперсных порошков в большинстве случаев используют вибрационные мельницы. Помольные камеры в них имеют форму цилиндра и в зависимости от конструктивной ориентации его мельницы делятся на горизонтальные и вертикальные. Помольная камера вертикальной вибрационной мельницы (МВВ) совершает колебания вдоль оси в вертикальной плоскости. Основным преимуществом МВВ является возможность реализации в них виброударного режима взаимодействия камеры и технологической загрузки (мельющие тела). Таким образом происходит эффективное измельчение хрупких материалов, а в некоторых случаях происходит их активация. Целью данной работы является разработка инженерной методики расчета технологических параметров системы помольная камера – мельющие тела, при которых реализуется виброударный режим измельчения. При этом предлагается подход с использованием теории виброударных систем [1].

Одновременно необходимо учесть наличие слоя измельчаемого материала у дна камеры. Технологическую загрузку принимаем единичной массой. Отсюда можно считать ее взаимодействие с дном камеры абсолютно неупругим. Но как показали экспериментальные данные [2], удар о дно нельзя считать неупругим. Опыты по изучению взаимодействия шара о стальную плиту через слой порошка различной толщины приводили к разрушению материала и отскоку шара. Поэтому введем в рассматриваемую систему разные значения коэффициентов восстановления скорости у дна R_d и у крышки R_k камеры.

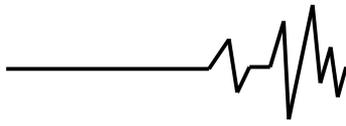
**Рис. 1. Расчетная схема**

Расчетная схема представлена на рис. 1. Принимались следующие допущения. Камера движется по гармоническому закону с амплитудой колебаний a и частотой ω , который не зависит от взаимодействия с загрузкой. Временем удара пренебрегаем. Координаты камеры и массы Y и y соответственно. Отсчет ведем от среднего положения камеры. Начало отсчета времени принимаем в точке 0, в момент соударения загрузки с дном камеры. Зазор между загрузкой и крышкой камеры в статическом положении $2S$. Задачу решаем в безразмерных величинах, для чего принимаем следующие обозначения

$$y = \frac{\omega^2}{g} y^*, Y = \frac{\omega^2}{g} Y^*, \Gamma = \frac{a\omega^2}{g}, \tau = \omega t, \sigma = \frac{\omega^2}{g} S.$$

Звездочки при величинах показывают то, что они размерные. Таким образом, уравнение движения камеры имеет вид

$$Y = \Gamma \sin(\tau + \varphi), \quad (1)$$



где φ – фазовый угол соударения массы с днищем камеры.

Уравнение движения массы на участке свободного полета

$$y = -\frac{1}{2} \tau^2 + C_{1\pm} \tau + C_{2\pm} \quad (2)$$

Знаки плюс в индексах постоянных соответствуют интервалу движения массы с положительной скоростью вверх, знаки минус – интервалу движения массы вниз.

Согласно расчетной схеме из (1) и (2)

$$C_{2+} = \Gamma \sin \varphi - \sigma, \quad (3)$$

Принимаем скорость загрузки до удара u_0 . Скорость камеры в этот момент из (1)

$\Gamma \cos \varphi$. Скорость отскока загрузки от днища камеры v_0 получим из уравнения удара [1]

$$v_0 = C_{1+} = -R_d (u_0 - \Gamma \cos \varphi) + \Gamma \cos \varphi. \quad (4)$$

Приравнивая координаты загрузки и крышки камеры в момент их встречи в точке 1, получим

$$C_{2-} = \sigma + \Gamma \sin(\varphi + \tau_1) + \frac{1}{2} \tau_1^2 - C_{1-} \tau_1 \quad (5)$$

При ударе о крышку в точке 1 при $\tau = \tau_1$ скорости до удара

$$\dot{Y} = \Gamma \cos(\varphi + \tau_1), \quad (6)$$

$$u_1 = -\tau_1 + C_{1+}.$$

Записываем уравнение удара для точки 1 с учетом (6) и коэффициента восстановления скорости R_k . Из этого уравнения получаем выражение для постоянной C_{1-}

$$C_{1-} = \Gamma \cos(\varphi + \tau_1) + \tau_1 + R_k \{ \tau_1 - [\Gamma \cos(\varphi) + R_d (\Gamma \cos \varphi - u_0)] \} \quad (7)$$

Это уравнение подставляем в (5).

Из уравнения (2) для участка 1–2 с учетом выражений для постоянных (5) и (7) определяем координату загрузки в точке 2 при $\tau = 2\pi$. Приравниваем её координате днища камеры в точке 2

$$\Gamma \sin(\varphi) - \sigma = -2\pi^2 + 2C_{1-} \pi + C_{2-}. \quad (8)$$

Раскрывая значения для постоянных интегрирования решаем трансцендентное уравнение (8) относительно τ_1 .

Дифференцируем (2) по времени и после подстановки в него $\tau = 2\pi$ получим выражение для скорости удара в точке 2. Из условий периодичности $u_2(2\pi) = u_0(0)$, откуда

$$u_0 = [\Gamma \cos(\varphi + \tau_1) (1 + R_k) - R_k \Gamma \cos \varphi \times (1 + R_d) + R_k \tau_1 - 2\pi] (1 - R_k R_d)^{-1}. \quad (9)$$

Эффективность измельчения материала определяется результирующей скоростью

$$v_{уд} = \Gamma \cos \varphi - u_0. \quad (10)$$

Пример расчета. Рассмотрим один период движения камеры и массы при следующих параметрах: $R_d = 0,6$; $R_k = 0,35$; $\Gamma = 7$. Значения коэффициентов восстановления скорости взяты из [2]. Для различных значений фазового угла φ определялись значения σ и τ_1 , соответствующие излому траектории загрузки при контакте с крышкой (рис. 1). Далее эти значения использовались для расчета скорости соударения загрузки с днищем по (9) и (10). Данные представлены на рис. 2. Кривая $v_{уд}$ имеет экстремальный характер. По ее максимуму должен подбираться параметр σ .

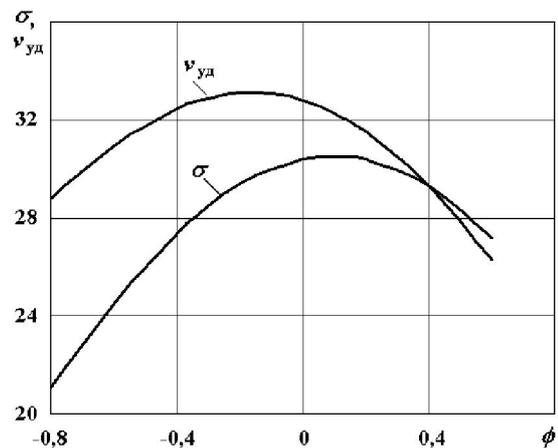


Рис. 2. Область существования виброударного режима

Представленная методика расчета технологических параметров режима измельчения имеет оценочный характер с учетом принятых нами допущений. Уточнение ее потребует рассмотрения загрузки как системы масс и учета времени удара.

Литература

1. Кобринский А.Е., Кобринский А.А. Виброударные системы. – Москва, 1973. – 592 с.
2. Анциферов А.В., Комарова И.В. Экспериментальное исследование соударения тел через слой порошкового материала // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Зб. наук. праць. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – № 66. – С.58 - 63.