

А.В. АНЦИФЕРОВ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «НГУ», Днепропетровск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ УДАРА В РАСЧЕТЕ ВИБРОУДАРНОЙ СИСТЕМЫ

Проведено исследование виброударной системы, которая моделирует процесс разрушения виброожиженного слоя материала в вертикальной вибрационной мельнице. Разработана модель из двух масс и помольной камеры с упругими элементами между ними. Рассчитывается время ударного взаимодействия элементов системы. Далее определяется область существования виброударного режима. Предложенный подход дает возможность уточнить отдельные параметры на 15 %.

Вибрационные мельницы в зависимости от ориентации помольной камеры разделяются на горизонтальные и вертикальные – ось камеры расположена вертикально. Рациональным режимом работы для вертикальных вибрационных мельниц (МВВ) является виброударный. При этом кроме эффективного процесса измельчения попутно происходит механоактивация материала. Технологическими параметрами МВВ, определяющими область существования виброударного режима являются амплитуда a , частота ω и зазор Δ внутри помольной камеры между загрузкой и крышкой в состоянии покоя. Так как амплитуда и частота обычно известны, то задача состоит в определении величины Δ , при которой имеет место виброударный режим работы мельницы. Здесь возможны два подхода для динамического расчета МВВ.

В первом внутрикамерная загрузка рассматривается как единичная масса с упруго-вязкими элементами по краям. Этот метод позволяет построить амплитудно-частотную характеристику машины [1].

Второй подход основан на теории виброударных систем [2]. При этом пренебрегается временем удара, что при наличии в камере у днища большого слоя виброожиженного материала может оказаться грубым допущением.

В [3] предложено учесть наличие измельчаемого порошка упругими элементами между соударяемыми телами. Но технологическая загрузка здесь считается единичной массой. Рационально внутреннюю загрузку камеры составлять из двух - трех слоев шаров. Целью данной работы является развитие подхода [3] с учетом наличия двух масс с упругими элементами, которые взаимодействуют с ударником.

© А.В. Анциферов, 2012

Математическая модель. Для решения задачи используем классическую теорию последовательной передачи удара [4].

Рассмотрим ударную систему, состоящую из трех абсолютно жестких элементов, разделенных двумя пружинами.

На рис. 1 показано положение тел перед ударом. Масса m_2 отвечает одному шару из нижнего слоя, а m_3 – результирующая масса шаров верхнего слоя, приходящаяся на m_2 . Соответственно m_1 – масса камеры. Камера совершает гармонические колебания с амплитудой a и частотой ω . Массы m_2 и m_3 неподвижны, а масса m_1 движется со скоростью v_0 – результирующая скорость встречи загрузки с дном камеры.

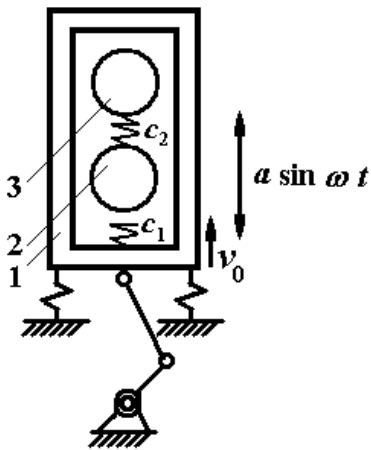


Рис. 1 – Модель системы

Жесткости пружин c_1 и c_2 характеризуют наличие виброожиженного слоя порошка в камере. Плотность его уменьшается по высоте, поэтому $c_1 > c_2$.

Во время удара камеры по массе m_2 между ними возникает сила ударного взаимодействия N_1 , а между массами m_2 и m_3 – сила N_2 . Положительное направление скорости ударника v_0 принимаем вверх. Дифференциальные уравнения движения соударяющихся тел имеют вид:

$$m_1 \frac{dv_1}{dt} = -N_1, \quad m_2 \frac{dv_2}{dt} = N_1 - N_2, \quad m_3 \frac{dv_3}{dt} = N_2. \quad (1)$$

Законы сжатия упругих элементов:

$$N_1 = f_1(\alpha_1) = f_1(x_1 - x_2), \quad N_2 = f_2(\alpha_2) = f_2(x_2 - x_3), \quad (2)$$

где α_i – сжатия упругих элементов; x_i – перемещения масс во время удара.

Из (2) для перемещений масс можно записать:

$$x_1 = x_2 + \alpha_1, \quad x_3 = x_2 - \alpha_2. \quad (3)$$

Закон сохранения количества движения для нашей системы с учетом (3):

$$m_1 v_0 = m_1 \dot{x}_1 + m_2 \dot{x}_2 + m_3 \dot{x}_3 = m_1 (\dot{x}_2 + \dot{\alpha}_1) + m_2 \dot{x}_2 + m_3 (\dot{x}_2 - \dot{\alpha}_2). \quad (4)$$

Из (4) можно получить выражения для скорости второй массы и далее после дифференцирования (3) выражения для мгновенных скоростей для масс m_1 и m_3 . Дифференцируя их еще раз по времени находим ускорения тел во время удара:

$$\begin{aligned}\ddot{x}_1 &= [(m_2 + m_3)\ddot{\alpha}_1 + m_3\ddot{\alpha}_2] / M, \\ \ddot{x}_2 &= [-m_1\ddot{\alpha}_1 + m_3\ddot{\alpha}_2] / M, \\ \ddot{x}_3 &= -[m_1\ddot{\alpha}_1 + (m_1 + m_2)\ddot{\alpha}_2] / M,\end{aligned}\tag{5}$$

где M – общая масса системы.

Подставим (5) в первое и третье уравнения (1) и с учетом (2) получим:

$$\begin{aligned}\frac{m_1(m_2 + m_3)}{M}\ddot{\alpha}_1 + \frac{m_1m_3}{M}\ddot{\alpha}_2 &= -f_1(\alpha_1), \\ \frac{m_1m_2}{M}\ddot{\alpha}_1 + \frac{m_3(m_1 + m_2)}{M}\ddot{\alpha}_2 &= -f_2(\alpha_2).\end{aligned}\tag{6}$$

Начальные условия для системы (6) при $t = 0$

$$x_1 = x_2 = x_3 = \dot{x}_2 = \dot{x}_3 = \alpha_1 = \alpha_2 = \dot{\alpha}_2 = 0, \quad \dot{x}_1 = \dot{\alpha}_1 = v_0.\tag{7}$$

Решение уравнений (6) зависит от вида силовой функции упругих элементов. Наиболее простым является случай, когда зависимости носят линейный характер $N_1 = c_1\alpha_1$ и $N_2 = c_2\alpha_2$. Тогда система (6) с учетом (2) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned}A\ddot{\alpha}_1 + B\ddot{\alpha}_2 &= -\alpha_1, \\ B\ddot{\alpha}_1 + \Gamma\ddot{\alpha}_2 &= -\alpha_2,\end{aligned}\tag{8}$$

где $A = \frac{m_1(m_2 + m_3)}{c_1M}$, $B = \frac{m_1m_3}{c_1M}$, $B = \frac{m_1m_2}{c_2M}$, $\Gamma = \frac{m_3(m_1 + m_2)}{c_2M}$.

Решение системы (8) ищем в виде:

$$\alpha_1 = g_1 \sin(\omega t + \beta), \quad \alpha_2 = g_2 \sin(\omega t + \beta).\tag{9}$$

Дифференцируя (9) и подставив в (8) получаем систему алгебраических уравнений из решения которой получаем два соотношения:

$$g_2/g_1 = B\omega^2/(1-\Gamma\omega^2) = (1-A\omega^2)/B\omega^2. \quad (10)$$

Приравнивая эти выражения после преобразований получим частотное уравнение:

$$\omega_{1,2}^2 = \frac{c_1 c_2 M}{2m_1 m_2 m_3} \left[(A + \Gamma) \pm \sqrt{(A - \Gamma)^2 + 4BB} \right]. \quad (11)$$

Эти два значения частоты отвечают соответственно двум значениям отношений амплитуд:

$$\mu_1 = g_{21}/g_{11}, \quad \mu_2 = g_{22}/g_{12}. \quad (10)$$

Полученные решения для α_1 и α_2 в (9) являются частными. Общими решениями являются выражения:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= g_{11} \sin(\omega_1 t + \beta_1) + g_{12} \sin(\omega_2 t + \beta_2), \\ \alpha_2 &= g_{21} \sin(\omega_1 t + \beta_1) + g_{22} \sin(\omega_2 t + \beta_2). \end{aligned} \quad (11)$$

Неизвестные g_{11} , g_{12} , β_1 , β_2 находим из начальных условий (7). После их подстановки в (11) получаем:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \frac{v_0}{\mu_2 - \mu_1} \left(\frac{\mu_2}{\omega_1} \sin \omega_1 t - \frac{\mu_1}{\omega_2} \sin \omega_2 t \right), \\ \alpha_2 &= \frac{\mu_1 \mu_2 v_0}{\mu_2 - \mu_1} (\cos \omega_1 t - \cos \omega_2 t). \end{aligned} \quad (12)$$

Производные от этих выражений дают скорости изменения сжатия упругих элементов. Тогда из (4) получим выражение для скорости второй массы и подставив в (3) после их дифференцирования получим выражения для скоростей масс m_1 и m_3 .

Перемещения тел во время удара определяются из выражений:

$$x_i = \int_0^t \dot{x}_i dt. \quad (13)$$

В момент окончания удара, так же как и в момент начала, сила и сжатие упругого элемента равна нулю. После подстановки в первое уравнение (12)

t_1 , а во второе – t_2 и приравняв их нулю, получим тригонометрические выражения для их определения. После подстановки найденных значений времени в выражения скорости и перемещения тел найдем скорости тел после удара и их перемещения за время удара.

Вторая фаза расчета заключается в использовании методики расчета [2, 3] по теории виброударных систем, но с учетом времени взаимодействия элементов. При этом $t_1 > t_2$ (из принятого условия $c_1 > c_2$), поэтому в расчетах учитываем только t_1 . Кроме того при движении от днища к крышке, удар о крышку и движении обратно две массы уже рассматриваются как единая.

Временем удара о крышку пренебрегаем согласно опытными данным [5].

Расчетная схема представлена на рис. 2. Координаты средних точек 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 днищем камеры.

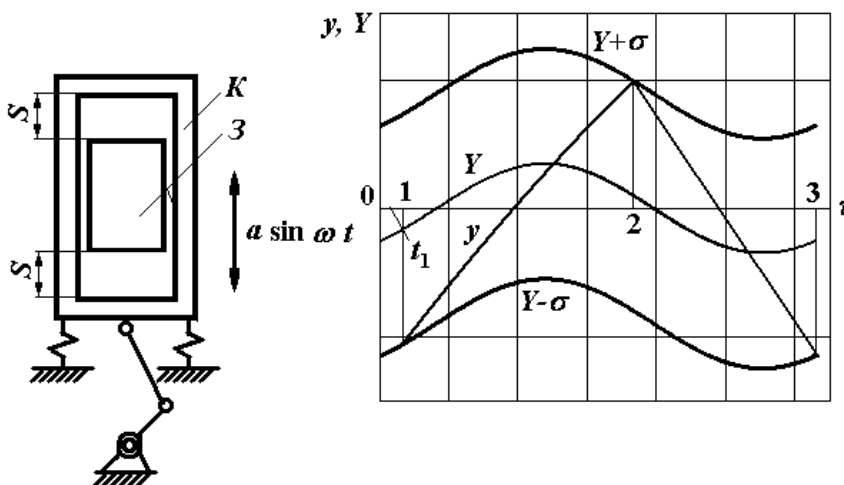


Рис. 2 – Расчетная схема

Зазор между загрузкой и крышкой камеры в статическом положении $2S$.

Задачу решаем в безразмерных величинах, для чего принимаем следующие обозначения (звездочки при величинах показывают то, что они размерные):

$$y = \frac{\omega^2}{g} y^*, Y = \frac{\omega^2}{g} Y^*, \Gamma = \frac{a\omega^2}{g}, \tau = \omega t, \sigma = \frac{\omega^2}{g} S. \quad (14)$$

Пример расчета. Рассмотрим один период движения камеры и массы при следующих параметрах: $R_d = 0,6$; $R_k = 0,35$; $\Gamma = 7$. Для различных значений фазового угла φ определялись значения σ и результирующая скорость удара $v_{уд}$ о днище.

Данные представлены на рис. 3.

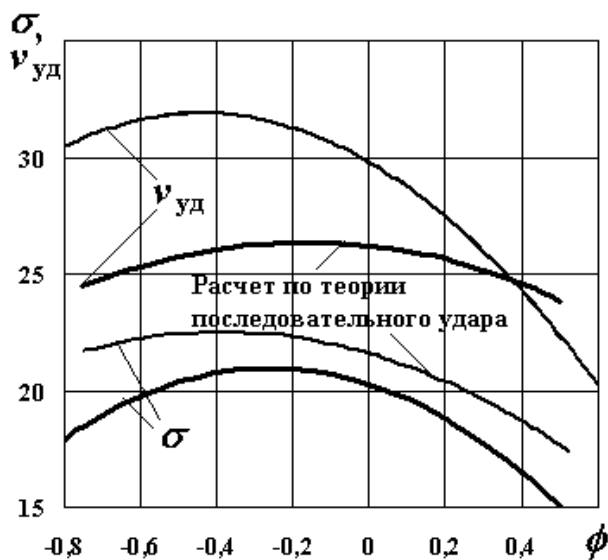


Рис. 3 – Результаты расчета

Выводы. Использование теории последовательной передачи удара дает уточнение в определении зазора до 3 % и в определении скорости удара до 15 %. При этом диапазон существования виброударного режима сузился, а экстремум полученных кривых получился не ярко выраженным.

В качестве дальнейших задач исследования необходимо продолжить экспериментальные исследования по подтверждению полученных зависимостей.

В теоретическом плане необходимо рассмотреть трехмассную систему и влияние ее на время ударного взаимодействия.

Список литературы: 1. Техника и технология обогащения руд / [под ред. В.Н. Потукаев, Д.К. Крюков, А.Г. Червоненко и др.]. – М.: Недра, 1975. – 240 с. 2. Анциферов А.В. Расчет технологических режимов вертикальной вибрационной мельницы / А.В. Анциферов, Д.И. Драбан // Вибрации в технике и технологиях. – 2011. – № 2 (62). – С. 59 – 60. 4. Александров Е.В. Прикладная теория и расчеты ударных систем / Е.В. Александров, В.Б. Соколинский. – М.: «Наука», 1969. – 197 с. 5. Анциферов А.В. Экспериментальное исследование соударения тел через слой порошкового материала / А.В. Анциферов, И.В. Комарова // Вісник НТУ «ХП». – 2010. – № 66. – С. 58 – 63.

Поступила в редколлегию 12.10.2012

УДК 531-531.3

Использование теории последовательной передачи удара в расчете виброударной системы / А.В. АНЦИФЕРОВ // Вісник НТУ «ХП». – 2012. – № 48 (954). – (Серия: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 3 – 9. – Бібліогр.: 5 назв.

Проведено дослідження віброударної системи, що моделює процес руйнування віброзрідженого шару матеріалу у вертикальному вібраційному млині. Розроблена модель з двох мас та молочної камери з пружними елементами між ними. Розраховується час ударної взаємодії елементів даної системи. Далі визначається область існування віброударного режиму. Запропонований підхід дає можливість уточнити окремі параметри на 15 %.

The research of the vibroshock system which designs the process of destruction of the vibrofluidized layer of material in a vertical oscillation mill, is conducted. The model is developed from two masses and chamber with resilient elements between them. Time of shock co-operation of elements of the system