

УДК 621762.22+621.926.55

**Н.Д. ОРЛОВА**, канд. техн. наук,  
Одесская национальная морская академия, Украина

## **РАСЧЕТ ЗОН ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИИ ПРИ ТОНКОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ**

У статті викладені результати теоретичних і практичних досліджень з проблем тонкого вібраційного подрібнення матеріалів.

Results of theoretical and practical investigation on fine grinding problems were presented. These problems were concerned with basic trends of investigation–materials grinding kinetics.

В настоящей работе теоретически решается задача выбора параметров изменения частот и амплитуд вибрационной машины при тонком измелении металлических порошков.

В [1, 4] экспериментально установлена зависимость зон изменения параметров вибрации от физико-механических характеристик измельчаемого материала.

Выбор зон изменения частоты колебаний рабочего органа вибрационной машины.

Допустим, что измеление осуществляется за счет потерянной при ударе кинетической энергии:

$$\dot{O} = qv^2(1 - z^2),$$

где  $q$  – функция от массы соударяющихся частиц;  $v$  – их относительная скорость;  $z$  – коэффициент восстановления.

В простейшем случае:

$$q = \Delta m_1 \cdot \Delta m_2 / (\Delta m_1 + \Delta m_2),$$

где  $\Delta m_1 \cdot \Delta m_2$  – массы частиц.

С уменьшением размера частиц  $q \rightarrow 0$ , коэффициент  $z$  возрастает, однако, это не компенсирует убыль кинетической энергии  $T$  за счет уменьшения  $q$ .

Для поддержания процесса измельчения (уменьшения радиуса частиц) необходимо увеличивать скорость  $v$ , которая зависит от частоты удара  $w_1$ , и размаха  $R$  т.е.  $v = f(w_1, R)$ .

Если наибольшему размеру разрушаемых частиц поставим в соответствие  $v_{\min}$ , а наименьшему  $v_{\max}$ , то относительная скорость должна изменяться в пределах:  $v_{\min} \leq v \leq v_{\max}$ .

Если изменение размера частиц связано не только с ударным, но и с истирающим действием рабочих органов, то для относительной скорости можно записать более общую формулу:

$$v = f(F_0, w),$$

где  $F_0$  – максимальное значение возмущающей силы;  $w$  – ее частота.

Из дифференциальных уравнений вибрационной машины [1] с переменными параметрами вибрации следует:

$$F_0 = g^{-1} \sqrt{(Mw^2 - Me)^2 + (Me + 2wMn)^2}$$

где  $M$  – момент на валу вибровозбудителя;  $g$  – ускорение свободного падения.

В этом случае амплитуду  $A$  колебаний центра масс всей загрузки можно считать [1, 2] равной:

$$A = \frac{M\omega^2}{Q\sqrt{(\kappa^2 - \omega^2)^2 + 4n^2\omega^2}}$$

где  $\kappa$  – собственная частота;  $n$  – коэффициент сопротивления;  $Q$  – вес загрузки.

Если мощность вибрационной машины ограничена ( $Mw = b, b = const$ ), то:

$$F_0 = \frac{b}{g w^2} \sqrt{(w^4 - 2e^2 + \frac{cg}{Q})^2 + e^2 w^4}$$

$$A = \frac{b}{Q g w^3} \sqrt{\frac{(w^4 - 2e^2 + \frac{cg}{Q})^2 + e^2 w^4}{(k^2 - w^2)^2 + 4n^2 w^2}} \quad (1)$$

При вибрационной обработке относительную скорость можно принять равной  $v = Aw$  и тогда формула для определения  $v$  примет вид:

$$v = \frac{b}{Q g w^2} \sqrt{\frac{(w^4 - 2e^2 + \frac{cg}{Q})^2 + e^2 w^4}{(k^2 - w^2)^2 + 4n^2 w^2}}$$

Наибольшее значение  $v$  можно получить за счет специального выбора  $w, e$ , а также за счет уменьшения знаменателя, что соответствует резонансному режиму  $k = w$ . Следовательно,

$$k = \sqrt{cg/Q}$$

где  $C$  – жесткость загрузки, (мельющих тел, измельчаемого материала и воздуха, находящегося в загрузке).

Если для вычисления  $C$  можно использовать известную формулу [2],

$$C = \frac{(P_0 + gh)S}{P_0 h \check{I}^3}$$

где  $P_0, h, S, g, \check{I}$  – соответственно, атмосферное давление; высота загрузки; площадь соприкосновения вибробарабана с загрузкой; удельный вес загрузки; пористость.

Тогда жесткость  $C$  будет изменяться в зависимости от значений  $\check{I}, h$ . Начальная пористость  $\check{I}_\infty$  измельчаемого материала будет больше конечной  $\check{I}_0$ , следовательно, и частота колебаний вибробарабана будет переменной, и

определяется по формуле  $k_0 \leq w \leq k_\infty, \frac{k_0}{k_\infty} = \sqrt{\frac{\check{I}_\infty}{\check{I}_0}}$ .

Изменение момента на валу вибровозбудителя в этом случае определится выражением:

$$b/k_{\infty} \leq M \leq b/k_0 \quad (2)$$

При вычислении жесткости по приближенной формуле [1, 2, 3]:

$$C = \frac{100 \cdot S}{h_{\max} \sum_{i=1}^n d_i / E_i}.$$

где  $h_{\max}, d_i, E_i$  – соответственно, наибольшая высота загрузки; относительные объемы составляющих загрузки в %; их модули упругости (в этом случае предполагается, что жесткость изменяется за счет изменения объема воздуха, который находится в порах загрузки, а для воздуха модуль упругости  $E_0 = P_0 + gh$ ), частоту колебаний вибрационной машины можно найти следующим образом.

Пусть на измельчаемую частицу [3] действует циклическое напряжение  $\sigma$  значение, которого заключено между пределом упругости и пределом прочности  $s_y \leq \sigma \leq s_T$ .

После каждого цикла в теле будет оставаться определенное количество энергии, активное лишь в течение периода существования деформаций.

Для накопления этих деформаций период циклов должен быть меньше времени затухания деформаций, которое можно принять равным периоду упругого последействия  $t = x/E$ .

Частоту удара мелющих тел примем равной  $n \geq E/x$  частоту колебаний вибробарабана  $w = n/N, w \geq \frac{E}{xN}$ , где  $E, x, N$  – модуль упругости; коэффициент вязкости измельчаемого материала; количество мелющих тел, контактирующих в данный момент с измельчаемой частицей.

Известно, что время удара [1, 4] ( $t$ ) и количество мелющих тел, контактирующих в данный момент с измельчаемой частицей, связано соотношением  $N = Et/x$ .

Поскольку размер частиц убывает, для сохранения числа контактов, размер мелющих тел должен убывать.

Число контактирующих с данной частицей мелющих тел зависит от их размера и способа укладки и находится в пределах 1 ... 6.

Тогда выбор частоты осуществляется по формуле:

$$w \geq \frac{E}{xN}, N = 1, \dots, 6,$$

Наконец, рассмотрим еще один способ выбора частоты колебаний вибрационной машины.

Возмущающая сила  $F$ , действующая на измельчаемую частицу, находящуюся на расстоянии  $R$  от вибровозбудителя:

$$F = \frac{Mw^2}{g} \exp(-cR), c = const ,$$

а с другой стороны, она равна предельному циклическому напряжению (выносливому, упругому, пластическому, прочности), умноженному на площадь поверхности частицы  $S$ .

Выражение для вибрационной напряженности, уходящей на разрушение, может быть записано в виде:

$$s_b = \frac{Mw^2}{gS} \exp(-cR) \quad (3)$$

Если для измельчаемого материала построить кривую течения с напряжениями и вязкостями  $s_{br}, h_r$  (начальными) и  $s_{bm}, h_m$  (конечными), то

$$\frac{(Mw^2)_r}{(Mw^2)_m} = \frac{s_{br}}{s_m}$$

Согласно [1, 2], под влиянием вибрационной напряженности в частице возникнут деформации, скорости которых и, примем равными максимальной частоте колебаний вибробарабана

$$w \leq \frac{s_{bm}}{h_m},$$

Выбор амплитуды колебаний рабочего органа вибрационной мельницы. Амплитуду можно определить пределам изменения частоты и момента, задаваемых формулами (1), (2), (3). Кроме того амплитуду можно найти, используя теорию ударного импульса [3].

В простейшем случае:

$$A \geq \frac{2m_3 v_{\zeta \dot{a}} b}{m_4 w} \sqrt[6]{\left(\frac{S}{E}\right)^5}$$

где  $m_3$  – масса мелющего тела;  $m_4$  – массы соударяющихся с относительной скоростью –  $v$  частиц; –  $v_{\zeta \dot{a}}$  скорость звука.

Приведенные выше формулы для расчета пределов изменения частоты и амплитуды не связаны с конкретным видом вибрационной машины.

При условии максимальной загрузки конструкции можно найти зависимость пределов изменения частоты с конструктивными параметрами конкретной вибрационной машины.

В частности, для ВМН – 20 –  $180 \leq w \leq 3000 \text{ \dot{a} / \dot{\text{e}}\text{e}} \text{ .}$

Таким образом, используя для расчетов предложенные формулы, следует всегда проверять их соответствие осуществления данного частотно–амплитудного режима конкретной вибрационной машине.

При использовании приведенных выше формул иногда получаются пределы изменения, которые невозможно осуществить в данной машине.

В этом случае процесс измельчения обеспечивается выбором набора мелющих тел.

С целью проверки полученных соотношений для расчета пределов изменения частот и амплитуд были проведены многочисленные опыты по измельчению металлических порошков

Приведем данные по измельчению нержавеющей стали типа X18H15 и дисульфида молибдена ( $M_0 S_2$ ).

Пределы изменения частот для обоих материалов, рассчитанные по формуле (2)  $300 \leq w \leq 2000 \text{ \dot{a} / \dot{\text{e}}\text{e}} \text{ .}$  Уточненные данные с учетом свойств измельчаемого материала рассчитаны по формуле (3)  $M_0 S_2$   $1400 \leq w \leq 1600 \text{ \dot{a} / \dot{\text{e}}\text{e}} \text{ ; X18H15 } 1500 \leq w \leq 2000 \text{ \dot{a} / \dot{\text{e}}\text{e}} \text{ .}$

Результаты измельчения в функции от времени на различных частотах (сплошная линия соответствует частоте  $w = 2000 \text{ } \dot{a} / \dot{e}i$ , дискретная  $w = 1500 \text{ } \dot{a} / \dot{e}i$ ) сравнивали по удельной поверхности (рис. 1).

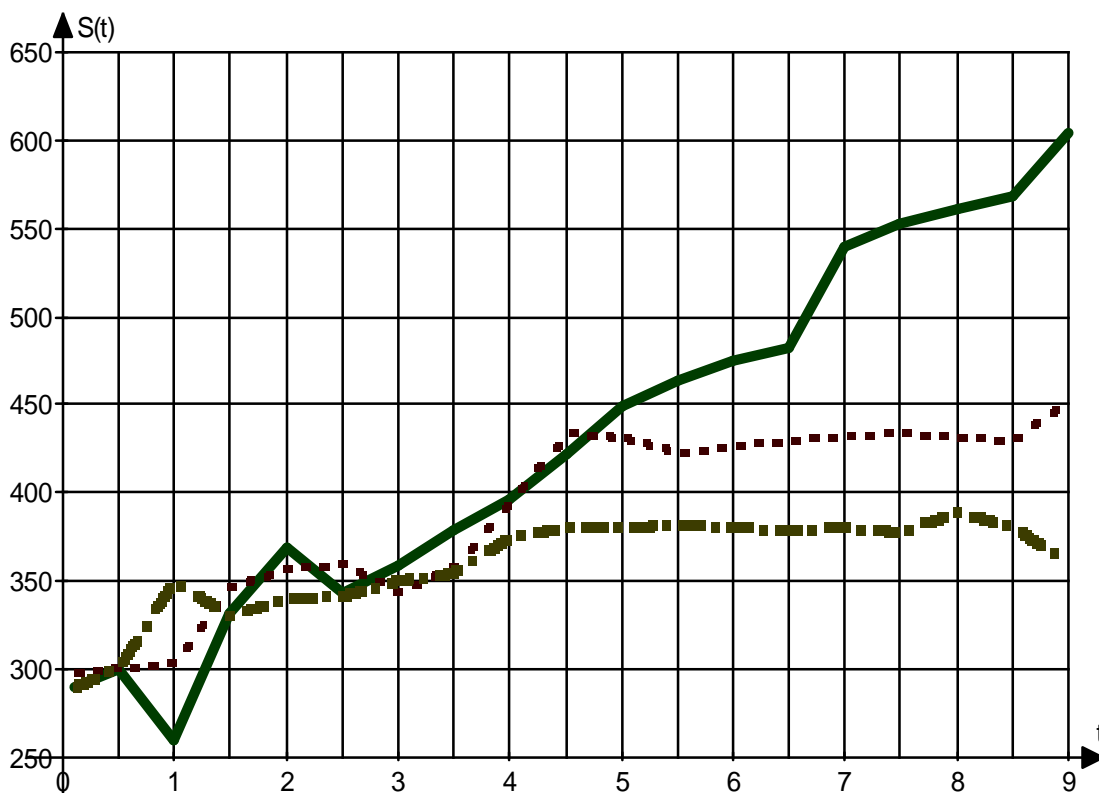


Рисунок – Помол X18H115, частота 1500 – 2000 – 3000 об/мин, амплитуда 1.5 мм.

**Список литературы:** 1. Овчинников П.Ф. Виброреология / П.Ф. Овчинников. – К.: Наук. думка, 1983. – С. 270. 2. Овчинников П.Ф. Уплотнение строительных смесей на переменных во времени параметрах вибрации и удара / П.Ф. Овчинников. – Кишинев: Штиинца. 1976. – С. 132. 3. Гольдсмит В. Удар / В. Гольдсмит. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1965. – С. 448. 4. Орлова Н.Д. Расчет зон изменения параметров вибрации для измельчения сплава кремний – алюминий – лантан в различных средах: отчет о НИР «Разработка технологии виброизмельчения металлических порошков для коррозионно-стойких и антифрикционных покрытий» / Одесская национальная морская академия; № ГР 01860062335. – Одесса: 1988. – С. 18 – 20.

Поступила в редколлегию 15.06.09