

УДК 621.926.7

Н.П. Максимов, Р.Н. Максимов, К.К. Байматов, А.А. Максимов
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ
РЕЖИМОВ РАБОТЫ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ
РОТОРНО-ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

На основе теоретических и экспериментальных исследований, разработана конструкция опытно-промышленной установки роторно-вибрационной мельницы с диаметром ротора 1000 мм. На основе теоретических исследований получены зависимости определяющие скорость движения твердой частицы в зоне измельчения и определена пропускная способность мельницы по готовому продукту. Определена мощность главного двигателя и разработана методика расчета мощности электромагнитных вибраторов в зависимости от параметров вибрационного воздействия (амплитуда, частота).

Ключевые слова: мельница, ротор, вибратор, мощность, амплитуда, частота.

Многообразие измельчаемых материалов по их свойствам и преследуемым промышленным целям этого процесса приводит к большому количеству различных конструкций дробильно-помольных машин и установок.

Анализ конструктивных решений по дробильно-размольному оборудованию, особенно работающего с применением вибрации, показывает на возможность широкого применения этой техники на горно-металлургических предприятиях и создания новых конструкций этих машин.

Мельница (рис. 1) [1] состоит из опорной конструкции 1, в средней и верхней части которой выставлены нижний и верхний ряд пружин 2, поддерживающих вибрирующие рамы 4 и 7, причем пружины зафиксированы жесткими штоками 3, установленными при помощи гаек на раме 1.

На вибрирующей раме 4 установлены два электромагнитных вибратора 5, причем статоры вибраторов закреплены болтами к раме 4, а якоря вибраторов связаны при помощи сто-

ек 6 с вибрирующей рамой 7. Подобная конструкция позволяет при включении вибраторов 5 колебаться вибрирующим рамам 4 и 7 в противофазе, используя как активную, так реактивную составляющую колебательно-го движения. В центре мельницы на специальной конструкции, установленной на несущей раме 1, закреплен кожух мельницы и опорная часть 10 для поддержания верхнего подшипникового узла 11.

На несущей раме 1, стоящей на виброопорах 24, в верхней её части, установлен асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором 16, осуществляющим передачу крутящего момента через клиноременную передачу 13 и ведомый шкив 12 на вертикальный вал 22.

Для осуществления процесса разрушения твердых сыпучих материалов мельница имеет две зоны измельчения верхнюю и нижнюю, состоящих из вибрирующих в противофазе чаш с внутренними коническими полостями 14 и 18, которые жестко, при помощи болтов связаны с вибрирующими

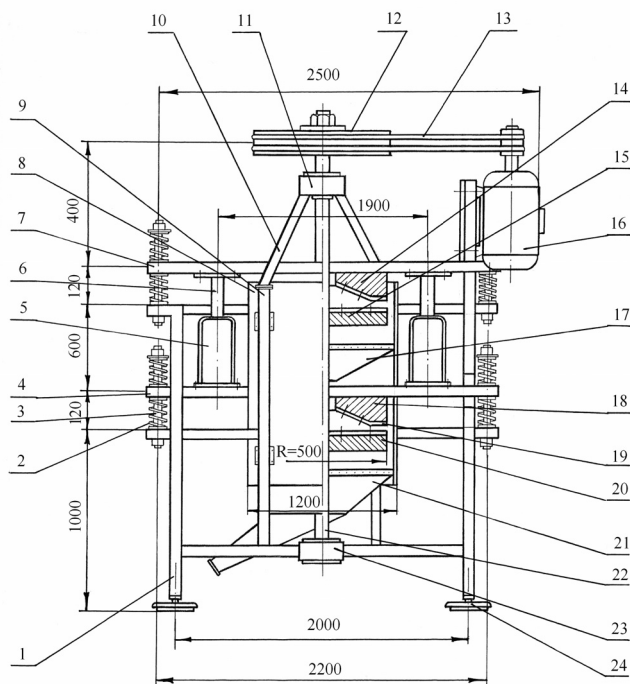


Рис. 1. Конструкция опытно-промышленной роторно-вибрационной мельницы

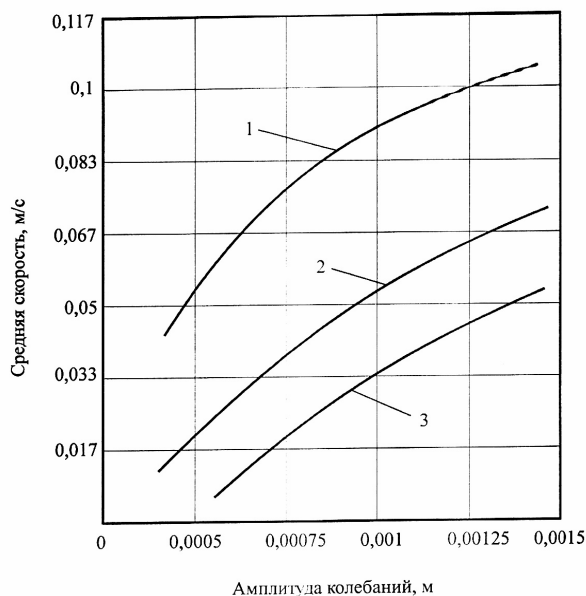


Рис. 2. Зависимость средней скорости движения частицы от амплитуды колебаний при: $\omega=315 \text{ с}^{-1}$; 1 – $n = 250 \text{ мин}^{-1}$, $f = 0,3$; 2 – $n = 200 \text{ мин}^{-1}$, $f = 0,02$; 3 – $n = 150 \text{ мин}^{-1}$, $f = 0,04$

рамами 4 и 6. Эти чаши совершают прямолинейные гармонические колебания в вертикальной плоскости. К вертикальному приводному валу 22 жестко закреплены роторы 15 и 20 выполненные в виде дисков. Рабочие поверхности футерованы плитами из марганцовистой стали, с болтовым креплением впотай. Приводной вертикальный вал, кроме верхней подшипниковой опоры 11, имеет нижнюю опору 23, установленную на раме 1, с помощью специальных горизонтальных ребер.

Для пересыпания разрушаемого сыпучего материала, из верхней зоны в нижнюю, имеется неподвижная коническая течка 12 и разгрузочная течка 21, жестко закрепленные с кожухом 8 болтами.

При определении производительности роторно-вибрационной мельницы, несмотря на большое количество влияющих на этот показатель факторов (прочность, крупность, влажность руды и т.д.), основополагающими будут конструктивные особенности машины и скорость выхода готового продукта из разгрузочной щели [2].

Скорость движения частиц в разгрузочной щели мельницы (без учета возможного заклинивания и проскальзывания частиц) можно определить по характеру движения частиц в зоне измельчения, которое можно описать дифференциальными уравнениями [3]

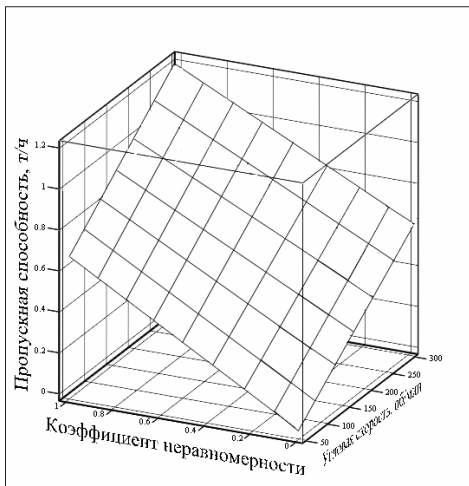


Рис. 3. Изменение минимальной пропускной способности кольцевой щели опытно-промышленной роторно-вибрационной мельницы при размоле доломита

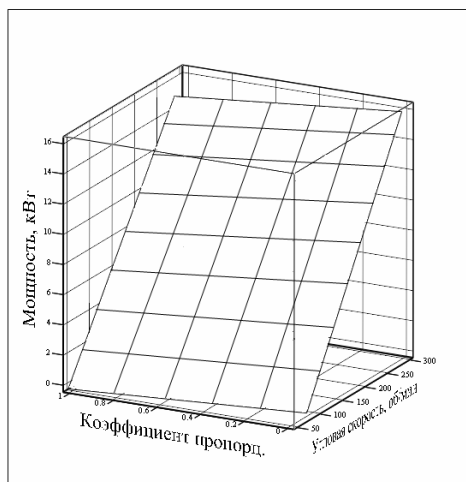


Рис. 4. Изменение мощности на вертикальном валу опытно-промышленной роторно-вибрационной мельницы

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 &= -m_2 A \omega^2 \cos \beta \cdot \sin \omega t - \\
 &- m_2 g \cdot \sin \alpha - C - F \\
 m_1 \ddot{y} &= -m_2 A \omega^2 \sin \beta \cdot \sin \omega t - \\
 &- m_2 g \cdot \cos \alpha + N
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где m_1 – масса частицы; \ddot{x}_1 – ускорение частицы; m_2 – масса вибрирующей чаши; A – амплитуда колебаний чаши; ω – частота колебаний чаши; g – ускорение свободного падения; t – время колебаний; C – центробежная сила; F – общая сила трения; N – реакция от всех сил.

Анализируя уравнения (1) при различных значениях амплитуды, частоты вращения ротора n и коэффициента трения f получены зависимости (рис. 2).

Пропускная способность мельницы по готовому продукту верхней или нижней зоны измельчения выразится формулой

$$Q = 3600 K \cdot \pi \cdot D \cdot V \cdot B \cdot \gamma \cdot \varphi, \text{ т/ч} \quad (2)$$

где K – коэффициент пропорциональности, учитывающий неравномерность выхода материала из кольцевого зазора; D – диаметр ротора, м; B – переменная высота разгрузочной щели, м; V – скорость выхода готового продукта, м/с; γ – плотность материала, т/м³; φ – поправочный коэффициент, учитывающий крупность исходного и конечного продукта, прочность руды, влажность и т.д. Получена зависимость пропускной способности мельницы от коэффициента неравномерности и угловой скорости (рис. 3).

Высота разгрузочной щели определяется по выражению:

$$B = (h + A \cdot \sin \omega t), \quad (3)$$

где h – высота разгрузочной щели в статическом положении; A – амплитуда колебаний.

При работе мельницы всегда необходимо соблюдать условие $h > A$ при несоблюдении этого условия чаша будет бить по ротору.

Мощность главного двигателя роторно-вибрационной мельницы по формуле Л.Б. Левенсона

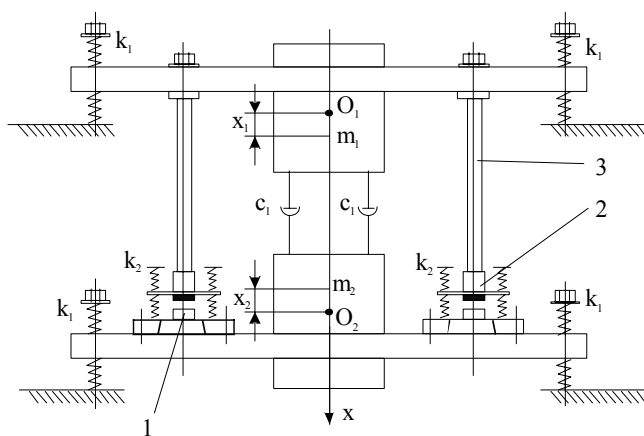


Рис. 5. Схема двухмассовой колебательной системы роторно-вибрационной мельницы: 1 — статоры электромагнитных вибраторов; 2 — якоря электромагнитных вибраторов; 3 — штанги

$$N = \frac{k_{пр} \sigma_{ск}^2 \pi b L n}{12 \cdot E \cdot \eta} (D_{ср}^2 - d_{ср}^2) V_T, \quad (4)$$

где $k_{пр}$ — коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение прочности материала с изменением размера кусков; b — поправочный коэффициент, учитывающий, число кусков, укладываемых по длине камеры; $\sigma_{ск}$ — предел прочности разрушаемого материала на сжатие, Н/м^2 ; L — длина зоны измельчения, м; n — частота вращения вала, мин^{-1} ; E — модуль упругости разрушаемого материала, Н/м^2 ; η — к.п.д. привода.

Получена зависимость мощности от коэффициента неравномерности и угловой скорости (рис. 4).

При расчете мощности электромагнитных вибраторов определено, что роторно-вибрационная мельница (без вращающихся роторов) представляет собой двухмассовую колебательную систему (рис. 5), колеблющуюся в противофазе.

На схеме обозначено: m_1 — масса, включающая чашу верхней зоны дробления, якоря электромагнитных вибраторов и соединительные элементы;

m_2 — масса, включающая чашу нижней зоны дробления и статоры электромагнитных вибраторов; K_1 — внешние, упругие связи (опорные пружины); K_2 — внутренние, упругие связи (пружины электромагнитных вибраторов); C_1 — коэффициент внешних сопротивлений, обусловленный взаимодействием чаш с измельчаемым материалом; X_1, X_2 — величины перемещения масс, отсчитываемые от нейтральных положений.

Если пренебречь влиянием внешних, упругих связей K_1 , сопротивлением воздуха для каждой из масс, а также внутренними силами сопротивлений (потери на гистерезис) в упругих связях K_2 , то исследование свободной двухмассовой вибрационной системы можно свести к исследованию движения одной из масс этой системы относительно второй массы согласно уравнению

$$\ddot{X} + \frac{c}{m} \dot{X} + \frac{k}{m} X = \frac{P_0}{m} \sin \omega t. \quad (5)$$

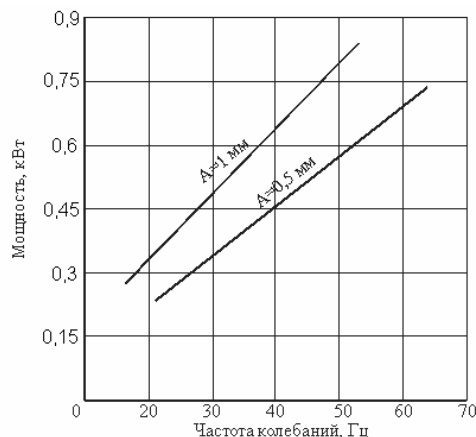


Рис. 6. Зависимость мощности электромагнитных вибраторов от частоты колебаний при амплитуде 0,5 мм и 1 мм

где X – перемещение одной из масс системы относительно другой; m – приведенная масса системы; c – приведенный коэффициент внешних сопротивлений; ω – частота вынужденных колебаний; P_0 – амплитуда возмущающей силы; k – суммарная жесткость упругих элементов.

При этом относительное перемещение колеблющихся масс определится уравнением

$$X = \frac{P_0 \lambda}{m \omega_0^2} \sin(\omega t), \quad (6)$$

где λ — коэффициент динамичности; ω_0 — частота собственных колебаний; φ — сдвиг фаз при установившемся движении между относительным перемещением и возмущающей силой.

Определив величины λ , ω_0 , c , m и зная величину перемещения масс (амплитуда колебаний найдем величину возмущающего усилия P_0 .

Потребляемую мощность электромагнитных вибраторов можно определить по уравнению (7):

$$N = \frac{\nu \cdot Z^2 \cdot P_0^2}{\left[(1 - Z^2)^2 + 4\nu^2 \cdot Z^2 \right] \cdot \sqrt{k \cdot m}}, \quad (7)$$

где ν — коэффициент демпфирования; Z — коэффициент расстройки (отношение ω / ω_0).

Получены зависимости, показывающие, что с увеличением частоты колебаний затрачиваемая мощность электромагнитных вибраторов увеличивается практически линейно (рис. 6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ № 2301111. Роторно-вибрационная мельница / Оpubл. в БИ. № 17, 2008 г. Авторы: Максимов Н.П., Байматов К.К.

2. Максимов Н.П., Максимов Р.Н., Байматов К.К. Экспериментальные исследова-

ния роторно-вибрационной мельницы // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ, № 6, 2009 г.

3. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. — М.: Наука, 1964. **ИЛАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Максимов Н.П. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические машины и оборудование». e-mail: kafedra-tmo@skgmi-gtu.ru,

Максимов Р.Н. — доктор технических наук, профессор, e-mail: MaksRN@yandex.ru,

Байматов К.К. — кандидат технических наук, ассистент, e-mail: kaz-60@mail.ru,

Максимов А.А. — аспирант,

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет).

