

### Загальні питання технології збагачення

танцевих шламів, находящихя в шламоохранилище, тем самым дополнительно увеличит количество марганцевого концентрата II сорта на 17,71% в условиях Чкаловской обогатительной фабрики.

1. Исследования технологичных vlastностей "лежачих" марганцевых шламов  
Т.А.Олейник, К.В. Николаенко, В.М. Харитонов и др. // Збагачення корисних копалин: Науко-техн. зб. – 2009. – Вип. 38(79). – С.17-24.

© Тюрк Ю.И., Гончаровская А.В., 2011

Надійшло до редакції 18.05.2011 р.  
Рекомендовано до публікації в т.л. П.П. Пивовар

УДК 622.74

### Підготовчі процеси збагачення

**В.Г. ГРАЛЬ, В.Г. САМОЙЛИК**, кандидати техн. наук,  
**Я.Н. СТЕПАНОВ**,  
(Україна, Донецький національний технічний університет)

### ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ВАЛКОВ ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ ВАЛКОВОГО ГРОХОТА С ВИБРАЦИОННЫМ ПРИВОДОМ

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Различные компании, занимающиеся переработкой строительных отходов, используют классифицирующе-разделяющее оборудование, применяемое в горной промышленности. Среди него наибольшей популярностью пользуются вибрационные машины, в значительной мере удовлетворяющие коммерческий интерес, производственные требования, и для которых достаточно широко разработана научно-практическая и теоретическая база. Однако в последнее время ряд предприятий, ведущих в данной сфере реинжининга, все чаще в своей практике начинают применять валковые грохоты разнообразных конструкций [2, 3]. Практика использования валковых классификаторов при переработке различного сырья показала, что наиболее прогрессивной является конструкция с вибрационным приводом и эксцентрично расположенными валками. Это максимально эффективно выполнять технологические задачи. Положительное влияние особенностей данной конструкции достаточно широко описано в научной литературе, из чего можно сделать вывод о перспективности их применения при сепарации строительных отходов. Изучение взаимосвязи данного оборудования со строительными отходами позволит добиться более высоких результатов их переработки как на месте сноса зданий, так и на стационарных перерабатывающих предприятиях. Повышение эффективности утилизации отходов напрямую влияет на качество получаемого вторичного щебня, а значит и на его способность заменить природные заполнители.

*Анализ исследований и публикаций.* Анализ литературных источников показывает, что исследования по эффективному разделению таких материалов, как смесь дробленых составляющих строительных отходов на минеральной основе, практически не имеют. Следует также отметить, что закономерности движения такого материала под действием вибрации мало изучены. В этой связи наиболее важной задачей исследования закономерностей вибрационной разделения такого материала является изучение характера и скорости его движения при различных режимах вибрации. Для решения этой задачи необходимо изучить динамику колебательной системы описанной выше конструкции валкового грохота.

*Постановка задачи.* Целью данной работы является исследование динамики движения валков лабораторной модели валкового грохота с вибрационным приводом и составление уравнения их движения.

*Исхождение материала и результаты.* Лабораторная модель исследуемой

### Підготовчі процеси збагачення

конструкції представляє собою прохот, короб якого має паралельно розположені поперечні зв'язи з надставками на них коліями-налками. Валки встановлені в виді циліндра з круговими дисками. При роботі прохота вантаж каюот кругові колебання, в результаті чого валки не тільки совершають вращення, но и колебання, вызывающие силы инерции.

Для составления уравнения движения валаков использовался метод, описанный в работе В.П. Налутного [1].

Выбираем неподвижную систему координат  $x-y$ , связанную с неподвижной рамой прохота. Введем обобщенную координату  $\varphi$ , для удобства расчетов возьмем ее в положительном направлении (рис. 1).

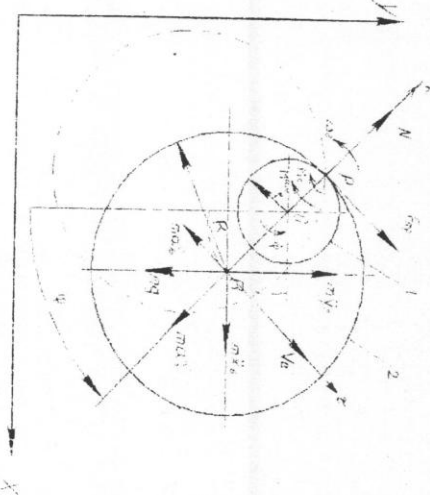


Рис. 1. Сила, действующая на валок:  
1 – стержень, 2 – вал

Так как короб прохота движется поступательно, то и все точки стержня будут двигаться поступательно, а значит, их ускорения будут постоянными [4, 5]. Отсюда следует, что перемещение точки соприкосновения стержня с валом  $P$  (полюс вращения вала), а следовательно и точки  $O$ , будет состоять из двух частей: гармонической и вынужденной, и будет описываться выражениями:

$$x_o = A \sin kt + H \sin \alpha t; \quad y_o = C \sin kt + D \sin \alpha t. \quad (1)$$

где  $A, H, C$  и  $D$  – постоянные величины.

В результате действия сил сопротивления гармонические колебания затухают с течением времени, тогда уравнение (1) примет вид:

Забачення корисних копалин, 2011. – Вип. 45(86) 38

### Підготовчі процеси збагачення

$$x_o = H \sin \alpha t; \quad y_o = D \sin \alpha t.$$

Поскольку стержень движется поступательно, а ось стержня совершает колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях, то уравнение перемещения центра стержня будет иметь вид:

$$x_o = x_{oc}(t); \quad y_o = y_{oc}(t).$$

$$x_o = x_p \pm A; \quad y_o = y_p \pm H.$$

По принципу Даламбера, силовая картина стержень-вал будет выглядеть так:

$(m, \ddot{x}, m, \ddot{y})$  – проекции переносной силы инерции на оси  $x, y$ .

$(m, R\epsilon'; m, R\omega'^2)$  – проекции относительной силы инерции на оси  $t-n$ , во круг точки  $P$ : касательная и нормаль, соответственно [6-9].

Из условия равновесия сил, в проекциях на оси  $t-n$ , имеем:

$$\sum F_{xt} = 0; \quad F_{np} - m_g a_g^t + m_g \ddot{y}_g \sin \varphi + m_g \ddot{x}_g \cos \varphi - m_g g \sin \varphi = 0.$$

$$\sum F_{xn} = 0; \quad N + m_g \ddot{y}_g \cos \varphi - m_g \ddot{x}_g \sin \varphi - m_g a_g^n - m_g g \cos \varphi = 0. \quad (2)$$

$$\sum m_p(F_n) = 0;$$

$$-M_g - m_g R \sin \varphi - m_g a_g^t R + m_g \ddot{y}_g R \sin \varphi + m_g R \ddot{x}_g \cos \varphi - M''' = 0.$$

где  $F_{np}$  – сила трения;  $m_g$  – масса вала;  $N$  – нормальная реакция;  $M_g$  – момент сопротивления перекатыванию вала;  $M'''$  – момент инерции;  $R$  – радиус вала;  $r$  – радиус стержня.

$$a_g^t = R\epsilon' = R\omega' = R \frac{E}{R} \ddot{\varphi} = E\ddot{\varphi};$$

$$a_g^n = R\omega'^2 = R \frac{E^2}{R^2} \dot{\varphi}^2 = \frac{E^2}{R} \dot{\varphi}^2.$$

где  $\epsilon'$  – угловое ускорение вала относительно точки  $P$ ;  $\omega'$  – угловая скорость вала относительно точки  $P$ .

При этом:

Забачення корисних копалин, 2011. – Вип. 45(86) 39

**Підготовчі процеси збагачення**

$$E = R - r; \quad \dot{E} = \dot{\phi}; \quad \omega'_1 = \dot{\phi}_1; \quad \epsilon = \dot{\phi}; \quad \omega_2 = \dot{\phi};$$

$$M^m = I_m \epsilon; \quad M_r = \delta N; \quad I_m = m_r R^2.$$

Где  $\epsilon$  – угловое ускорение вала относительно центра  $O$ ;  $\omega_1$  – угловая скорость вала относительно центра  $O$ ;  $\delta$  – коэффициент трения качения;  $I_m$  – осевой момент инерции.

Из уравнения (2) следует, что:

$$N = -m_r \ddot{y}_v \cos \varphi + m_r \ddot{x}_v \sin \varphi + m_r a_v^a + m_r g \cos \varphi.$$

Как видно из рисунка, координаты оси вала будут иметь вид:

$$x_v = x_0 + E \sin \varphi, \quad y_v = y_0 - E \cos \varphi.$$

$$\dot{x}_v = \dot{x}_0 + E \dot{\phi} \cos \varphi, \quad \dot{y}_v = \dot{y}_0 + E \dot{\phi} \sin \varphi.$$

$$\ddot{x}_v = \ddot{x}_0 - E \dot{\phi}^2 \sin \varphi + E \ddot{\phi} \cos \varphi; \quad \ddot{y}_v = \ddot{y}_0 + E \dot{\phi}^2 \cos \varphi + E \ddot{\phi} \sin \varphi.$$

Тогда:

$$N = m_r (\ddot{x}_0 \sin \varphi - \dot{y}_0 \cos \varphi) - E \dot{\phi}^2 m_r (\sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi) + m_r E \ddot{\phi} (\sin \varphi \cos \varphi - \cos \varphi \sin \varphi) +$$

$$+ m_r g \cos \varphi + m_r \frac{E^2}{R} \dot{\phi}^2 = m_r (\ddot{x}_0 \sin \varphi - \dot{y}_0 \cos \varphi) + \dot{\phi}^2 \left( m_r \frac{E^2}{R} - m_r E \right) + m_r g \cos \varphi$$

Абсолютная скорость движения центра вала имеет вид:

$$V^2_v = V^2_x + V^2_y = \dot{x}_v^2 + \dot{y}_v^2 = (\dot{x}_0 + E \dot{\phi} \cos \varphi)^2 + (\dot{y}_0 + E \dot{\phi} \sin \varphi)^2 = \dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + 2 \dot{x}_0 E \dot{\phi} \cos \varphi +$$

$$+ (E \dot{\phi} \cos \varphi)^2 + \dot{y}_0^2 + 2 \dot{y}_0 E \dot{\phi} \sin \varphi + (E \dot{\phi} \sin \varphi)^2 = \dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2 + (E \dot{\phi})^2 + 2 E \dot{\phi} (\dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi)$$

Точка  $V$  описывает окружность с центром в точке  $O$ , значит абсолютная скорость этой точки будет равна:

$$V_v = \dot{\phi} R = \dot{\phi} E; \quad \dot{\phi}_v = \frac{E}{R} \dot{\phi}.$$

Поскольку стержень и вал являются телами вращения, то центр их масс будет находиться на осях их вращения. Тогда, согласно теореме Кеннига, кинетическая энергия вала  $T_v$  будет равна:

40

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 45(86)

**Підготовчі процеси збагачення**

Где  $T_1$  – кинетическая энергия центра масс, если в нем сосредоточить всю массу вала;  $T_2$  – кинетическая энергия вала в его движении относительно центра масс. Следовательно, поскольку тело движется поступательно, то:

$$T_v = \frac{m_r V_v^2}{2} + \frac{1}{2} I_v \dot{\phi}_v^2 = \frac{1}{2} m_r (\dot{x}_0^2 + \dot{y}_0^2) + m_r (E \dot{\phi})^2 + m_r 2 E \dot{\phi} \dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi + I_v \dot{\phi}^2 =$$

$$= \frac{1}{2} m_r V_0^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{E}{R} \right)^2 \dot{\phi}^2 (I_v + m_r R^2) + m_r E \dot{\phi} \dot{x}_0 \cos \varphi - \dot{y}_0 \sin \varphi;$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = \left( \frac{E}{R} \right)^2 \dot{\phi} (I_v + m_r R^2) + m_r E (\dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi);$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right) = \left( \frac{E}{R} \right)^2 \dot{\phi} (\dot{I}_v + m_r \dot{R}^2) + m_r E (\dot{x}_0 \cos \varphi - \dot{y}_0 \dot{\phi} \sin \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi + \dot{y}_0 \dot{\phi} \cos \varphi); \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \phi} = m_r E \dot{\phi} (-\dot{x}_0 \sin \varphi + \dot{y}_0 \cos \varphi). \quad (4)$$

Потенциальная энергия определяется как:

$$U = m_r g h = m_r g (R - r) (1 - \cos \varphi);$$

$$\frac{\partial U}{\partial \phi} = m_r g E \sin \varphi. \quad (5)$$

Возможная работа момента  $M_c$  на возможное перемещение, допускаемое обобщенной координатой  $\varphi$  составит:

$$\delta W_{M_c} |_{\varphi=0} = -M_c \delta \varphi_c = -\delta U = \frac{E}{R} \delta \varphi.$$

Отсюда следует, что обобщенная сила непотенциальных сил, соответствующая данной обобщенной координате  $\varphi$ , будет равна:

$$Q = -\delta U = \frac{E}{R} \delta \varphi. \quad (6)$$

Для составления уравнения движения вала воспользуемся уравнением Лагранжа второго рода, которое имеет вид:

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вип. 45(86)

41

## Підготовчі процеси збагачення

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q.$$

(7)

Подавляя уравнения (3), (4), (5) и (6) в уравнение (7), получим уравнение движения вала:

$$\left( \frac{E}{R} \right)^2 \phi (I_a + m_e E^2 \dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi) + m_e E \dot{x}_0 \cos \varphi - \dot{x}_0 \sin \varphi - m_e E \dot{\phi} \dot{x}_0 \cos \varphi - \dot{x}_0 \sin \varphi + m_e g E \sin \varphi = - \dot{x}_0 \frac{E}{R};$$

$$\left( \frac{E}{R} \right)^2 \phi (I_a + m_e R^2) + m_e E \dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi + m_e g E \sin \varphi + \dot{x}_0 \frac{E}{R} = 0;$$

$$\left( \frac{E}{R} \right)^2 \phi (I_a + m_e R^2) + m_e E \dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi + m_e g E \sin \varphi + \delta \frac{E}{R} m_e (\dot{x}_0 \sin \varphi - \dot{y}_0 \cos \varphi) + \delta \frac{E}{R} \phi^2 \left( m_e \frac{E^2}{R} \cos \varphi + \delta \frac{E}{R} m_e g \cos \varphi \right) = 0;$$

Таким образом, уравнение движения вала лабораторной модели валкового грохота с вибраторным приводом имеет вид:

$$\left( \frac{E}{R} \right)^2 \phi (I_a + m_e R^2) = - m_e E \dot{x}_0 \cos \varphi + \dot{y}_0 \sin \varphi - m_e g E \sin \varphi - \delta \frac{E}{R} m_e (\dot{x}_0 \sin \varphi - \dot{y}_0 \cos \varphi) - \delta \frac{E}{R} \phi^2 \left( m_e \frac{E^2}{R} \cos \varphi + \delta \frac{E}{R} m_e g \cos \varphi \right).$$

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Описано уравнение движения валков исследуемой конструкции валкового грохота.

Уравнение движения позволит создать математическую модель разделения смеси дробленых составляющих строительных отходов на минеральной основе.

### Список литературы

1. Наултып В.П., Остапенко В.А., Ягнюков В.Ф. Синтез параметров валковых вибраторных классификаторов. – Киев: Наукова Думка, 2006. – 188 с.
2. Назимко Е.И., Степанов Я.И. Проблемы накопления строительных отходов и способы их обработки // Обращение полезных ископаемых: Науч.-техн. Зб. – Днепропетровск: 2010. – Вып. 40(81) – С. 191–197.
3. Степанов Я.И. Технические решения проблемы переработки и сепарации строительных отходов // Обращение полезных ископаемых: Науч.-техн. Зб. – Днепропетровск: 2010. – Вып. 43(84). – С. 159–165.
4. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М.: Высшая Школа, 1990. – 607 с.
5. Павлов Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1980. – 112 с.

42

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вып. 45(86)

## Підготовчі процеси збагачення

6. Рыбаков И.М. Теория колебаний. – М.: Гос. изд. Технико-теоретич. лит., 1958. – 622 с.

7. Стрелков С.И. Механика. – М.: Гос. изд. Технико-теоретич. лит., 1956. – 456 с.

8. Якібєррі Л.А. Проектирование и расчет вибраторных грохотов. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

9. Василенко Н.В. Теория колебаний. – К.: Высшая Школа, 1992. – 430 с.

© Гурадь В.Г., Самойлик В.Г., Степанов Я.И., 2011

Надійшло до редакції 12.03.2011 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.І. Назимко

УДК 622.74: 621.928.235

В.П. НАУЛТЫП, д-р-техн. наук,

П.В. ЛЕВЧЕНКО

(Україна, Днепропетровск, Институт геотехнической механики НАН Украины)

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРОХОЧЕНИЯ ОТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО ГРОХОТА

Вибрационное грохочение горной массы по крупности является одной из важнейших и широко используемых технологических операций при добыче и переработке полезных ископаемых в таких отраслях промышленности, как горно-обогатительная, металлургическая, угольная, химическая, при переработке промышленных отходов и др.

На протяжении последнего десятилетия предъявляются особые требования к процессу грохочения такие, как увеличение удельной производительности и эффективности процесса, уменьшение энерго- и металлоемкости конструкции, уменьшение занимаемых площадей и др. Это связано в первую очередь с повышением спроса на производимый материал в условиях ухудшающегося качества добываемого сырья и с ростом цен на электроэнергию. Поэтому созданные перспективных высокоэффективных вибрационных грохотов, которые смогут удовлетворить эти требования является очень актуальной задачей.

Для решения этой задачи в Институте геотехнической механики НАН Украины был разработан вертикальный вибрационный грохот [1], конструктивная схема которого изображена на рис. 1. Она состоит из опоры 1, амортизаторов 2, на которой установленная несущая колонна 3 с закрепленными по бокам вибро-возбудителями 4. Рабочий орган представляет собой наклонную нисходящую спираль 5 с просеивающей поверхностью 6 в виде рам резонирующих листовых но-струнных сит (РЛС), каждая секция (или несколько из них) которых может быть снабжена одинаковой просеивающей поверхностью. Угол наклона рам можно изменять в участках пересяпки 7 в сторону транспортирования материала. Спираль 5 также снабжена дном 8 и шибровой задвижкой 9, в нижней

43

Збагачення корисних копалин, 2011. – Вып. 45(86)