

3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – М.: Мир, 1983. – Кн. 1–2.
4. Мухин В.И. Исследование систем управления. – М.: Изд-во Экзамен, 2006. – 2 изд., доп. и перераб. – 479 с.

Получено 15.07.10

УДК 621.928.24

О.А. Коробова

ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

ТЕОРИЯ ГРОХОЧЕНИЯ

В практике осуществляется вибрационная сортировка как мелких, так и крупных материалов. Физические основы вибрационной сортировки тех и других материалов одинаковы, однако в процессе грохочения на материал, содержащий крупные куски, воздействует множество дополнительных факторов, которые существенно усложняют явление [1].

Функции этих составляющих в процессе виброгрохочения различны. Продольная составляющая обеспечивает перемещение материала вдоль рабочего органа для просеивания, поперечная – увлекает его в колебательные движения вместе с рабочим органом. Материал, постоянно находящийся в поле сил тяжести, оказывается подверженным также действию поля сил инерции, создающемуся вследствие колебаний рабочего органа. При этом вибрационное поле существует в пространстве, ометаемом сортирующей поверхностью в процессе колебательного движения, и действует на материал только при наличии контакта с рабочим органом.

В простейшем случае хаотического движения действие полей сил инерции, сил сопротивлений сортировки, сил тяжести, сил сложного возбуждения суммируется, вследствие чего материал оказывается под пульсирующей нагрузкой, результатом которой является периодическое изменение его реакции на процесс сортировки. Импульс материала пропорционален величине сил инерции и является движущей силой, также оказывается переменным.

Рассмотрим простейший режим виброгрохочения материала, имеющий место при прямолинейных гармонических колебаниях рабочего органа. Необходимо также учитывать, что связь зерен материала с рабочим органом неударивающая, т.е. рабочий орган не препятствует сортировке материала перпендикулярно его поверхности и навстречу ему; движению зерен в противоположном направлении препятствуют лишь силы тяжести, силы инерции и силы сложного возбуждения материала. Поэтому наряду с падающим режимом могут реализоваться и режимы с подбрасыванием, в которых зерна периодически теряют контакт с рабочим органом. При колебаниях зерен совместно с рабочим органом и специальными приспособлениями на него в направлении транспортирования и сортировки кроме сил сопротивлений между зернами действуют также пульсирующие силы инерции. Перемещение и сортировка зерна по рабочему органу формируется в результате суммарного воздействия сил инерции и сил сопротивлений, силы сложного возбуждения.

В тех случаях, когда амплитудное значение вертикальной составляющей ускорения рабочего органа превышает ускорение силы тяжести, могут устанавливаться режимы грохочения с подбрасываниями материала и потерей контакта с сортирующей поверхностью.

Для исследования закономерностей грохочения материала толстым слоем может ис-

пользоваться многомассовая упруговязкопластичная модель слоя грохочения материала. Многомассовая модель включает пять монослоев, что позволяет исследовать движение материала.

Дифференциальные уравнения движения многомассовой упруговязкопластичной модели слоя материала имеют различный вид в зависимости от взаимного положения монослоев материала [1] 8 возможных положений.

На слой материала в процессе грохочения действуют: силы тяжести на участке совместного движения; восстанавливающие силы упругих связей k_y и k_x ; силы вязких сопротивлений, пропорциональных абсолютной $c_x \cdot (\dot{x}' - \dot{x})$ и относительной $c_y \cdot \dot{y}$, $c_x \cdot \dot{x}$ скоростям перемешивания, а также силы сопротивления на участке свободного движения, пропорциональные относительной и абсолютной скоростям движения зерна.

Положение 1. Все монослои в контакте друг с другом и с ситом.

В направлении оси y :

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{y}_1 + (c_{y1} + c_{y12}) \cdot \dot{y}_1 + (k_{y1} + k_{y12}) \cdot y_1 &= -m_1 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \omega t - \\ &- m_1 \cdot g \cdot (1 - \cos \beta) - F_{\text{присп}} \cdot \text{tg} \beta - \frac{P_{\text{ин1}}}{\cos \beta}; \\ m_2 \cdot \ddot{y}_2 + (c_{y12} + c_{y23}) \cdot \dot{y}_2 + (k_{y12} + k_{y23}) \cdot y_2 &= -m_2 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \omega t - \\ &- m_2 \cdot g \cdot \left(\frac{\sin 2\beta - \cos \beta}{\sin \beta} \right) + m_3 \cdot g \cdot \text{ctg} \beta - m_1 \cdot g \cdot \cos \beta + \frac{P_{\text{ин1}} - P_{\text{ин2}}}{\cos \beta}, \\ m_3 \cdot \ddot{y}_3 + c_{y32} \cdot \dot{y}_3 + k_{y32} \cdot y_3 &= -m_3 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin \omega t - \\ &- m_3 \cdot g \cdot \cos \alpha + F_{\text{присп}} \cdot \text{tg} \beta - (m_2 + m_3) \cdot g \cdot \text{ctg} \beta - \frac{P_{\text{ин2}} + P_{\text{ин3}}}{\cos \beta} \end{aligned} \quad (1)$$

В направлении оси x :

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \ddot{x}_1 + (c_{x1} + c_{x12}) \cdot \dot{x}_1 + (k_{x1} + k_{x12}) \cdot x_1 &= m_1 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot \sin \omega t + \\ &+ \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \pi^4 \cdot \gamma^2 \cdot A^5 \cdot (r_{\text{MAX}} + r_{\text{MIN}})^4 \cdot \omega^3 \cdot t}{h_{\text{сн}}^2 \cdot m_{\text{ср}} \cdot \sin \beta} - \\ &- m_1 \cdot g \cdot (\sin \beta + 1) - F_{\text{присп}} \cdot \text{ctg} \beta, \end{aligned} \quad (2)$$

$m_2 \cdot \ddot{y}_2 + \dots$, $m_3 \cdot \ddot{y}_3 + \dots$ и $m_2 \cdot \ddot{x} + \dots$, $m_3 \cdot \ddot{x}_3 + \dots$ аналогично,

где A – амплитуда колебаний короба, мм; ω – частота колебаний короба, 1/с; m_i – масса материала в i -м монослое, кг; $F_{\text{присп}}$ – сила равномерного распределения материала по поверхности сита приспособлением, Н; $P_{\text{и}}$ – центробежная сила инерции, Н; $r_{\text{ср}}$ – средний радиус частицы относительно всего материала, находящегося на сите, м; f – частота колебаний, кол/с.

Далее прикрепляем дополнительные индексы к основным уравнениям для возможности обобщения данных, полученных решением следующих систем уравнений:

В направлении оси y , решением для положения 1, согласно изменению индекса $i = 1 \div 3$ (все параметры для 2 и 3 слоя определяются по аналогии с 1), являются:

$$y_{li} = \frac{(B_{y1i} + G_{y1i}) \cdot z_{y1i} + A_{y1i} \cdot \omega}{s_{y1i} - z_{y1i}} \cdot e^{s_{y1i} \cdot t} - \frac{(B_{y1i} + G_{y1i}) \cdot s_{y1i} + A_{y1i} \cdot \omega}{s_{y1i} - z_{y1i}} \cdot e^{z_{y1i} \cdot t} - A_{y1i} \cdot \sin \omega t + B_{y1i} \cdot \cos \omega t + G_{y1i}, \quad (3)$$

где в частности $s_{y11} = \frac{-(c_{y1} + c_{y12}) + \sqrt{(c_{y1} + c_{y12})^2 - 4 \cdot m_1 \cdot (k_{y1} + k_{y12})}}{2 \cdot m_1}$

и $z_{y11} = \frac{-(c_{y1} + c_{y12}) - \sqrt{(c_{y1} + c_{y12})^2 - 4 \cdot m_1 \cdot (k_{y1} + k_{y12})}}{2 \cdot m_1}$ - корни решения дифференциальных уравнений;

$$A_{11} = -\frac{m_1 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot (k_{y1} + k_{y12} - m_1 \cdot \omega^2)}{(k_{y1} + k_{y12} - m_1 \cdot \omega^2)^2 + \omega^2 \cdot (c_{y1} + c_{y12})^2};$$

$$B_{11} = \frac{m_1 \cdot A \cdot \omega^3 \cdot \sin(\alpha + \beta) \cdot (c_{y1} + c_{y12})}{(k_{y1} + k_{y12} - m_1 \cdot \omega^2)^2 + \omega^2 \cdot (c_{y1} + c_{y12})^2};$$

$$G_{11} = \frac{-m_1 \cdot g \cdot (1 - \cos \beta) - F_{npuch} \cdot \operatorname{tg} \beta - \frac{P_{uh1}}{\cos \beta}}{k_{y1} + k_{y12}}.$$

В направлении оси x:

$$x_{li} = -\frac{(B'_{li} - G'_{li}) \cdot z_{xli} + A'_{li} \cdot \omega}{s_{xli} - z_{xli}} \cdot e^{s_{xli} \cdot t} + \frac{(B'_{li} - G'_{li}) \cdot s_{xli} + A'_{li} \cdot \omega}{s_{xli} - z_{xli}} \cdot e^{z_{xli} \cdot t} + A'_{li} \cdot \sin \omega t - B'_{li} \cdot \cos \omega t + F'_{li} \cdot t + G'_{li}, \quad (4)$$

где $s_{x11} = \frac{-(c_{x1} + c_{x12}) + \sqrt{(c_{x1} + c_{x12})^2 - 4 \cdot m_1 \cdot (k_{x1} + k_{x12})}}{2 \cdot m_1}$

и $z_{x11} = \frac{-(c_{x1} + c_{x12}) - \sqrt{(c_{x1} + c_{x12})^2 - 4 \cdot m_1 \cdot (k_{x1} + k_{x12})}}{2 \cdot m_1};$

$$A'_{11} = \frac{m_1 \cdot A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot (k_{x1} + k_{x12} - m_1 \cdot \omega^2)}{(k_{x1} + k_{x12} - m_1 \cdot \omega^2)^2 + \omega^2 \cdot (c_{x1} + c_{x12})^2};$$

$$B'_{11} = -\frac{m_1 \cdot A \cdot \omega^3 \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot (c_{x1} + c_{x12})}{(k_{x1} + k_{x12} - m_1 \cdot \omega^2)^2 + \omega^2 \cdot (c_{x1} + c_{x12})^2};$$

$$F'_{11} = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \pi^4 \cdot \gamma^2 \cdot A^5 \cdot (r_{MAX} + r_{MIN})^4 \cdot \omega^3}{h_{cn}^2 \cdot m_{cp} \cdot (k_{x1} + k_{x12}) \cdot \sin \beta}; D'_{11} = -\frac{N^2 \cdot \pi^2 \cdot r^4 \cdot P_{uh1}^4 \cdot (c_{x1} + c_{x12})}{128 \cdot V \cdot m_1^3 \cdot g^4 \cdot f^8 \cdot (k_{x1} + k_{x12})^2};$$

$$G'_{11} = -\frac{m_1 \cdot g \cdot (\sin \beta + 1) + F_{npuch} \cdot \operatorname{ctg} \beta}{k_{x1} + k_{x12}} -$$

$$-\frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot \pi^4 \cdot \gamma^2 \cdot A^5 \cdot (r_{MAX} + r_{MIN})^4 \cdot \omega^3 \cdot (c_{x1} + c_{x12})}{h_{cn}^2 \cdot m_{cp} \cdot (k_{x1} + k_{x12}) \cdot \sin \beta}.$$

Использование при аналитических исследованиях материальной частицы, лишенной каких-либо физических свойств, в качестве модели сортируемого материала влечет за собой существенные расхождения между расчетными и опытными данными. Это объясняется тем, что теория грохочения материальной частицы не учитывает свойств реальных сортируемых материалов. В то же время эксперимент показывает, что влияние их на процесс грохочения существенно. В связи с этим возникает задача дальнейшего развития теории грохочения с целью устранения отмеченного несоответствия между расчетными и экспериментальными данными.

При рассмотрении системы решений основных уравнений принимаем возможные значения частот колебаний и амплитуды грохочения. Положения 1–3 возможны при частоте колебаний $13 < f < 22$ кол/с и амплитуде грохочения $0,006 < A < 0,0085$ мм. Положения 4, 5 и 8 – при $22 < f < 25$ кол/с и $0,0085 < A < 0,01$ мм. Положения 7 – при $25 < f < 30$ кол/с и $0,01 < A < 0,019$ мм. Положения 6 – при $f > 30$ кол/с и $A > 0,02$ мм.

Экспериментально установлено, что в результате любого изменения свойств слоя сортируемого материала происходит изменение момента его отрыва от сортирующей поверхности; с ухудшением качества сортировки материала отрыв, переслоение (перемешивание) материала запаздывает. Чрезвычайно важно то обстоятельство, что результат оказывается качественно отличным, зависим от того, чем вызвано изменение качества просеиваемости: изменением его липкости, толщины слоя, воздухопроницаемости, дополнительным возбуждением и т.д. Во всех случаях происходит запаздывание отрыва по сравнению с моментом отрыва материальной частицы от слоя. Таким образом, запаздывание момента отрыва материала от сортирующей поверхности может явиться некоторым интегральным показателем, учитывающим свойства сортируемого материала.

По углу запаздывания отрыва все разнообразие сортируемых материалов на практике можно классифицировать в соответствии с их сортируемостью вибрационным способом. Показатель этот определяется по основным формулам, выведенным автором, и в то же время он учитывает всю совокупность свойств груза, давая интегральную оценку тому главному, что существенно влияет на процесс грохочения, т.е. рассмотрено воздействие сил сопротивления к воздействию поверхности грохота на материал, сил соударения частиц между собой и грохотом в зависимости от уровня нахождения частицы по отношению к просеивающей поверхности, собственных масс каждого слоя, концентрации частиц в каждом слое.

На основе современных физических представлений о сущности процесса грохочения материалов модель слоя сортируемого материала отвечает на основные требования, которые гарантируют достоверное воспроизведение определяющих характеристик процесса грохочения.

Модель воспроизводит внутрислойные процессы и отражает закономерности взаимодействия с просеивающей поверхностью, связанные с рассеиванием энергии в необратимых средах. Моделирует реальные силы и продолжительность взаимодействия с просеивающей поверхностью, учитывает влияние среды, в которой происходит грохочение материала, на параметры его просеиваемости. Кроме того, обеспечивает достоверность и точность процессов, протекающих при вибрационной сортировке реальных материалов.

Список литературы

1. Кабалкин В.А. Машины для сортировки каменных материалов (грохоты). – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1981. – 96 с.
2. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учеб. для вузов. – М.: Машиностроение, 1975. – 351 с. с ил.

3. Вайсберг Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов. – М.: Недра, 1986. – 144 с.

Получено 14.04.10

УДК 621.92

Т. Б. Курмангалиев, А.Г. Гольцев
ВКГТУ им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АМПЛИТУДЫ ДВИЖЕНИЯ ВИБРОБУНКЕРА УСТАНОВКИ
ДЛЯ ИНЕРЦИОННОГО ВИБРОШЛИФОВАНИЯ С ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ВИБРОПРИВОДОМ**

Пневматические виброприводы, в которых реализуется эффект взаимодействия вихревого потока с объектом в виде тела вращения, помещенного в замкнутую вихревую камеру, в силу гибкости их характеристик - возможности без значительных затрат изменения амплитуды и частоты вибрации – являются приводным элементом установки для инерционного виброшлифования (рис. 1).

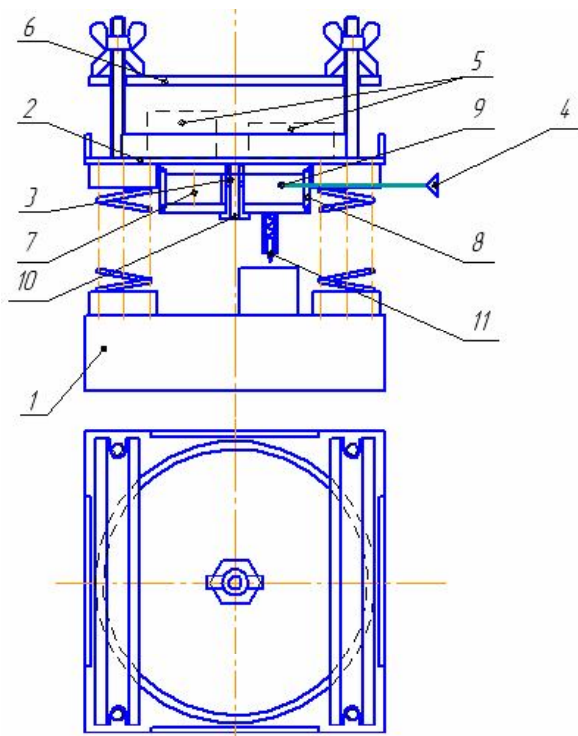


Рисунок 1

Установка состоит из корпуса 1, на котором подпружиненно (с возможностью перемещения в горизонтальной плоскости) размещена платформа 2 с нанесенным на него абразивом. Соосно платформе, на нижней её поверхности, закреплен вибропривод 3, связанный с источником сжатого воздуха 4. На абразиве без механического закрепления по-