

УДК 622.331

*А.И. Афанасьев, Е.В. Братыгин*

**ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ  
МАТЕРИАЛА В РЕЗОНАНСНОМ ПИТАТЕЛЕ**

Семинар № 16

**Р**асход энергии является одним из важнейших показателей эффективности работы вибротранспортной машины (ВТМ).

В большинстве ВТМ источником энергии является электропривод с механической трансмиссией, потери энергии в которой подробно освещены в литературе. Целью настоящих исследований является определение рациональной величины энергии, которую необходимо подавать в динамическую систему, для стабильной компенсации потерь на демпфирование в элементах конструкции ВТМ и транспортирование материала. Конструктивное демпфирование по данным различных исследований [1, 2] зависит от вида деформации (изгиба, кручения), вида материала, термообработки и составляет 0,5–10 % ( $2\delta = \psi = 0,005 \dots 0,1$ ) от потенциальной энергии деформации элементов.

Энергию вырабатываемую импульсным двигателем для компенсации конструктивного демпфирования можно найти из формулы

$$E_1 = \frac{(F_1 \Delta t)^2}{2m} \quad (1)$$

где  $F_1 \Delta t$  - импульс силы развиваемой импульсным двигателем, Н/с

Величина импульса силы связана с параметрами динамической системы уравнением (2).

$$(F_1 \Delta t) = Z_A * \sqrt{cm\psi} \quad (2)$$

где  $Z_A$  - амплитуда резонансных колебаний, м;  $c$  - приведенная жесткость подвески рабочего органа (РО), Н/м;  $m$  - приведенная масса  $m_{po}$  и транспортируемого материала  $m_{tr}$  ( $m = m_{po} + m_{tr}$ ), кг.

Режим транспортирования материала с подбрасыванием используется в большинстве ВТМ. Этот режим имеет существенные недостатки - несогласованность движения РО, и материала. Это выражается в том, что вследствие перемешивания материала, его неоднородности, частицы движутся хаотично и при встрече с РО сообщают ему тормозящий импульс что в дальнейшем требует затрат энергии со стороны двигателя.

В относительно низкочастотных ВТМ с упругим буфером ( $f_0 = 5 \dots 10$  Гц) можно получить такой режим движения материала, когда направление его скорости при падении на РО совпадает с направлением скорости последнего. Это наиболее эффективный, так называемый двухфазный (с периодом равным периоду собственных колебаний) режим транспортирования [3], который труднодостижим. Если скорости РО и транспортируемой массы в горизонтальной плоскости равны и направлены в одну сторону, то в это время в вертикальной плоскости эти скорости противоположны по направлению. Следовательно, при ударе о РО транспортируемая масса создает тормозящий импульс. Так как коэффициент восстановления при ударе материала о РО близок к нулю, а это характерно для сыпучей среды, то часть кинетической энергии материала возвращается в систему.

Если направления скоростей РО и транспортируемой массы при из встрече совпадают, то тормозящий импульс становится движущим.

Рассматривая совместно уравнения движения РО и материала, можно получить разность скоростей между РО и материалом в вертикальной плоскости;

$$\Delta V = -\dot{S}_0 + gt_1 - Z_A \omega \cos(\pi + \varphi_0 + \omega t) \quad (3)$$

где  $\dot{S}_0$  — скорость движения материала после отхода РО от упругого буфера;  $\varphi_0$  — угол при котором РО соприкасается с упругим буфером при его движении вверх;  $\omega$  — угловая частота собственных колебаний ВТМ;  $Z_A$  — амплитуда колебаний РО без упругого буфера, м;  $t_1$  — время отсчитываемое от момента отрыва РО от упругого буфера до встречи с материалом.

Время встречи РО с материалом ( $t_1$ ) находится из трансцендентного уравнения.

$$S_0 + \dot{S}_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} - Z_A \sin(\pi - \varphi_0 + \omega t_1) = 0 \quad (4)$$

где  $S_0$  — координата материала в момент отхода РО от упругого буфера

Величина движущего импульса  $F_2 \Delta t$  и, соответственно, энергия ( $E_2$ ) возвращаемая в систему находятся из формул.

$$F_2 \Delta t = m_{\text{эп}} \Delta V \quad (5)$$

$$E_2 = \frac{(F_1 \Delta t)^2}{2 * m_{\text{эп}}} \quad (6)$$

Величина импульса необходимая для подъема материала на высоту  $H = Z_A \sin(\varphi_0 - Z_1)$  находится из уравнения.

$$F_3 \Delta t = \sqrt{2m_{\text{эп}} g (Z_A \sin \varphi_0 - Z_1)} \quad (7)$$

где  $Z_1$  — координата РО при ударе о него материала ( $Z_A \sin(\pi - \varphi_0 - \omega t_1)$ )

Если материал на РО скользит только вперед, то импульс силы трения можно определить из уравнения.

$$F_4 \Delta t = \Delta V_1 m_{\text{эп}} \quad (8)$$

где  $\Delta V_1$  — разность скоростей между материалом и рабочим органом в горизонтальной плоскости.

Эту скорость в первом приближении можно определить из уравнения

$$\Delta V_1 \approx \frac{Z_A \omega \cos \varphi_0}{\text{tg} \beta} \quad (9)$$

где  $\beta$  — угол между направлением движущей силы и РО.

Используя закон сохранения энергии можно определить мощность импульсного двигателя из формулы

$$P = \left( \frac{(F_{1\Delta} t)^2}{2m} - \frac{(F_{2\Delta} t)^2}{2m_{\text{эп}}} + \frac{(F_{3\Delta} t)^2}{2m_{\text{эп}}} + \frac{(F_{4\Delta} t)^2}{2m_{\text{эп}}} \right) f_0 \quad (10)$$

где  $f_0$  — частота собственных колебаний ВТМ, Гц.

Анализ параметров формулы 10 показывает, что отношение энергии возвращаемой в систему к расходуемой энергии может достигать 16 %.

Вывод: Регулированием параметров динамической системы можно определить рациональную величину движущего импульса и снизить энергоемкость транспортируемого материала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вибрации в технике*. Том 6. Под ред. К.В. Фролова. М. Машиностроение, 1981, 456 с.
2. *Хвингия М.В.* Динамика и прочность вибрационных машин с электромагнитным вибровозбудителем. М. Машиностроение, 1980, 143с.
3. *Гончаревич И.Ф.* Динамика вибрационного транспортирования. М. Наука, 1972, 243с.

#### Коротко об авторах

*Афанасьев А.И.* — профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой,  
*Братыгин Е.В.* — аспирант,  
 Уральский государственный горный университет.

