

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повеликин В. П., Кузьмин Н. А. Численные исследования влияния величин коэффициентов теплообмена на тепловое состояние поршня ДВС // Известия вузов. Машиностроение. — 1987. — №6. С. 72—77.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Конструирование и расчет поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, М.Г. Круглов, Н.А. Иващенко и др. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1985. — 384 с.

621.867.522.2

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО
ТРАНСПОРТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ***Канд. техн наук, доц. О.Г. ЛОКТИОНОВА*

Предлагается модель вибрационного транспортирующего устройства, позволяющая исследовать поведение сыпучих материалов при их переработке.

Model of the vibrating conveyor allowing examining behavior of bulk solids at their processing is offered.

В различных отраслях народного хозяйства широко применяются вибрационные технологические машины для переработки сыпучих сред. Накопленный опыт эксплуатации такой техники показал ее высокую эффективность, что позволяет прогнозировать ее дальнейшее совершенствование и развитие. При этом одной из наиболее распространенных технологических операций является транспортирование сыпучих материалов, которое может, в свою очередь, сочетаться с другими процессами, например, классификацией, сушкой, гранулированием.

Расчет и оптимальный синтез такого оборудования затруднен из-за отсутствия комплексных математических моделей, адекватно описывающих, с одной стороны, динамику вибромашины, а с другой — поведение перерабатываемой среды. Рассмотрим обобщенную расчетную схему транспортирующего устройства с электромагнитным приводом (рис. 1).

Математическая модель такой машины должна включать в себя как уравнения движения сыпучей среды так и уравнения, описывающие работу вибропривода [1, 2].

Будем рассматривать грубодисперсные сыпучие среды, представляющие собой совокупность отдельных твердых частиц, движение которых определяется сцеплением, трением и столкновением между ними. Для получения дифференциальных уравнений течения материала в условиях вибрационного воздействия используется модель, основанная на предположении гипотезы сплошности и уравнениях механики сплошной среды, которые включают в себя законы сохранения массы и импульса [2, 3].

В качестве вибрационного привода представляется наиболее рациональным использовать электромагнитный возбудитель с кусочно-линейными упругими элементами, регулирование которого может осуществляться, например, за счет изменения напряжения, подаваемого на катушки электромагнита. Применение такого привода позволяет реализовать виброударные режимы, которые чаще всего бывают необходимы для получения заданных режимов переработки сыпучих материалов. Математическая модель такого при-

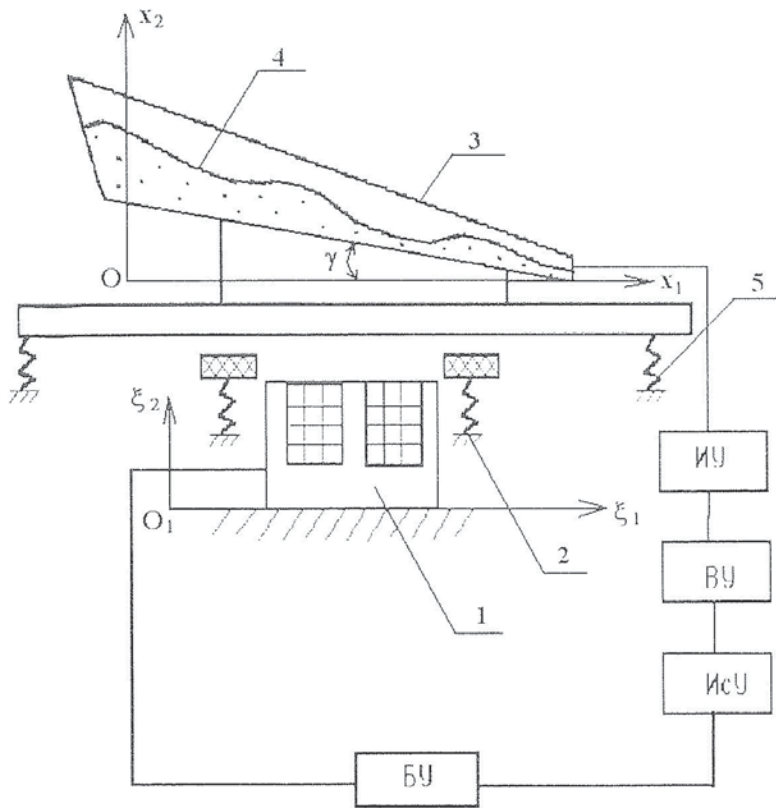


Рис.1. Структурная схема вибрационного транспортирующего устройства сыпучих сред: ИУ — измерительное устройство, ВУ — вычислительное устройство, ИСУ — исполнительное устройство, БУ — блок управления, 1 — основной электромагнитный вибратор, 2 — ударные ограничители, 3 — рабочий орган, 4 — обрабатываемая среда, 5 — упругие элементы, 6 — привод рабочего органа

вода строится с учетом общепринятых допущений и описывается уравнениями Лагранжа—Максвелла [2, 4].

Тогда дифференциальные уравнения, описывающие динамику рассматриваемой вибромашины в проекциях на оси X_1, X_2 , будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V_1}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_1}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_1}{\partial x_2} &= \frac{E_u}{\nu} \left(\frac{\partial P_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{12}}{\partial x_2} - R_{c1} \right) - g_1, \\ \frac{\partial V_2}{\partial t} + V_1 \frac{\partial V_2}{\partial x_1} + V_2 \frac{\partial V_2}{\partial x_2} &= \frac{E_u}{\nu} \left(\frac{\partial P_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial P_{22}}{\partial x_2} - R_{c2} \right) - g_2 + \ddot{\xi}_2, \\ \frac{\partial \nu}{\partial t} \frac{1}{T} + \frac{1}{T} \left(\frac{\partial(\nu V_1)}{\partial x_1} + \frac{\partial(\nu V_2)}{\partial x_2} \right) &= 0, \\ P &= P(\nu; D), \\ m\ddot{\xi}_2 + F(\xi_2, \dot{\xi}_2) &= F_s + P_{22}S_2, \\ \dot{\Phi} + Ri &= U(t), \\ \ddot{\xi}_2 + 2n\dot{\xi}_2 + \lambda^2\xi_2 &= \chi\Phi^2 + P_{22}S_2, \\ \dot{\Phi} + \alpha(1 - \xi)\Phi &= U(t), \end{aligned}$$

где $\lambda^2 = \frac{cT^2}{m}$; $2n = \frac{\mu T}{m}$; $\alpha = \frac{2TR\delta}{z^2\mu_0 S}$; $\chi = \frac{2T^4 E_0^2}{\mu_0 z^2 S}$; $E_a = \frac{M}{\rho_0 L^3}$ V_1, V_2 — проекции относительной скорости материала; R_{c1}, R_{c2} — проекции силы аэродинамического сопротивления; P — тензор напряжений; D — тензор скоростей деформаций; $v = \rho / \rho_0$ — объемная концентрация; ρ — плотность сыпучего материала; ρ_0 — плотность материала гранул; $\chi_2, \dot{\chi}_2, \ddot{\chi}_2$ — обобщенная координата, скорость и ускорение рабочего органа; g_1, g_2 — проекции ускорения свободного падения; m — масса рабочего органа; R — активное сопротивление обмотки электромагнита; i — ток в электромагните; Φ — магнитный поток; $U(t)$ — управляющее напряжение; S_2 — удельная площадь лотка; T — период вибрационного воздействия; μ_0 — магнитная проницаемость вакуума; δ — статический зазор в электромагните; z — число витков катушки электромагнита; S — площадь зазора электромагнита; E_0 — амплитудное значение напряжения питания; c, μ — упруго-вязкие характеристики несущих упругих элементов; M — масштаб массы; L — масштаб длины.

Для решения уравнений течения среды используется метод крупных частиц, а интегрирование системы дифференциальных уравнений, описывающих работу электромагнитного привода, производится методом, основанным на разложении искомой функции в ряд Тейлора. При счете осуществляется коррекция шага интегрирования при приближении рабочего органа к ударному ограничителю [2].

Для проведения оптимального синтеза воспользуемся методикой, основанной на проведении численного эксперимента, построении регрессионной квадратичной модели целевой функции и ограничений с последующим решением задачи нелинейного программирования [5].

Решим задачу минимизации коэффициента неравномерности потока материала на выходе лотка, который будем считать по следующей формуле:

$$K = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2}}{Q_{cp}}$$

где Q_i — текущее значение производительности; Q_{cp} — среднее значение производительности за время T

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

Пусть вектор варьируемых параметров включает в себя безразмерные комплексы, характеризующие привод (α, χ) и угол наклона лотка γ . Данные параметры варьировались в следующих пределах:

$$\alpha = 1 \div 20; \chi = 5 \div 1000; \gamma = 0 \div 40^\circ.$$

При этом температура нагрева обмоток электромагнита t_k не должна превышать некоторого предельного значения $T_0 = 80^\circ\text{C}$, то есть наложим на штрафную функцию ограничение в виде неравенства.

Результаты параметрической оптимизации в виде линий равного уровня приведены на рис. 2, а на рис. 3 показаны графики изменения производительности транспортирующего устройства в безразмерном виде на входе $Q_{вх}$ и на выходе $Q_{вых}$ лотка.

Минимальное значение целевой функции, удовлетворяющей наложенным на системы ограничениям, получено при следующих значениях варьируемых параметров:

$$\alpha = 5,9; \chi = 372,5; \gamma = 27^\circ.$$

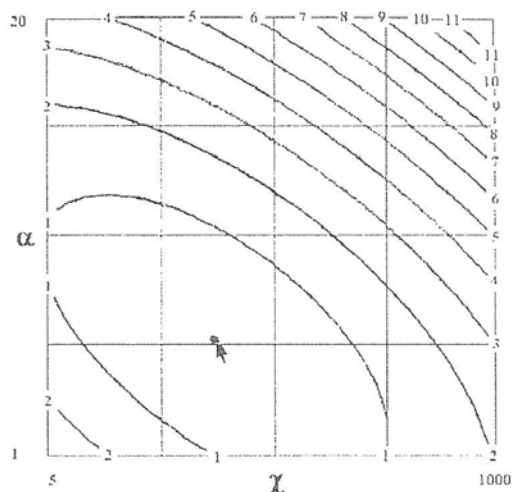


Рис. 2. Линии равного уровня для целевой функции ($\gamma = 27^\circ$): 1 — 0,155; 2 — 0,1688; 3 — 0,1821; 4 — 0,1954; 5 — 0,2087; 6 — 0,222; 7 — 0,2353; 8 — 0,2486; 9 — 0,2619; 10 — 0,2752; 11 — 0,2886; 12 — 0,3019

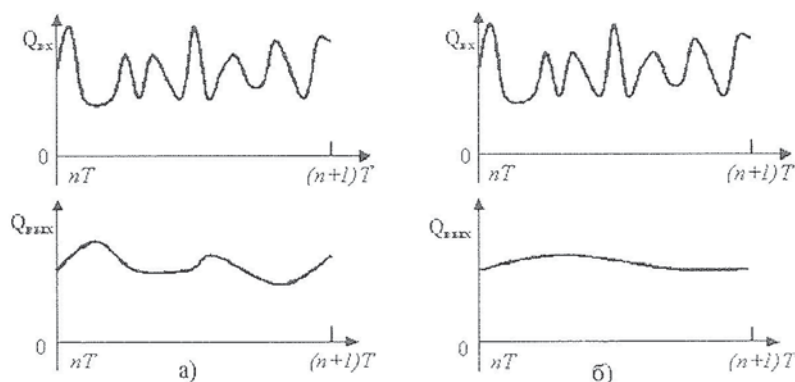


Рис. 3. Графики изменения производительности вибротранспортера с неоптимальными (а) и оптимальными (б) параметрами (n — номер периода вибрационного воздействия)

По этим значениям в дальнейшем проводится разработка конструкции оптимального транспортирующего устройства.

Таким образом, предложенная модель вибрационного транспортирующего устройства сыпучих материалов позволяет: исследовать поведение сыпучего материала при вибрации, определять значения его плотности, скорости и напряжения в любой точке и в любой момент времени, изучать динамику электромагнитного привода, проводить параметрическую оптимизацию по технологическим критериям качества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Я ц у н С. Ф., Л о к т и о н о в а О. Г., П и н а с в а Т. В. Вибрационное устройство для брикетирования металлической стружки // Известия вузов. Машиностроение. 2001. № 1. С. 71–74.
2. Я ц у н С. Ф., С а ф а р о в Д. И., М и щ е н к о В. Я., Л о к т и о н о в а О. Г. Вибрационные машины и технологии. Баку: Элм, 2004. 408 с.
3. Я ц у н С. Ф., М а с л о в а О. Г. Моделирование процесса поведения сыпучего материала на вибрирующей лотке // ИФЖ. 1992. Т. 63. № 2. С. 227–231.
4. Я ц у н С. Ф., Г а п о н о в Ю. А., М а с л о в а О. Г. Анализ периодических процессов движения вибромашин с электромагнитным приводом // Известия вузов. Машиностроение. – 1991. – № 4–6. – С. 42–46.
5. Я ц у н С. Ф., М а с л о в а О. Г. Параметрическая оптимизация стенда для испытания изделий на вибрацию // Известия вузов. Машиностроение. 1990. – № 6. – С. 16–20.