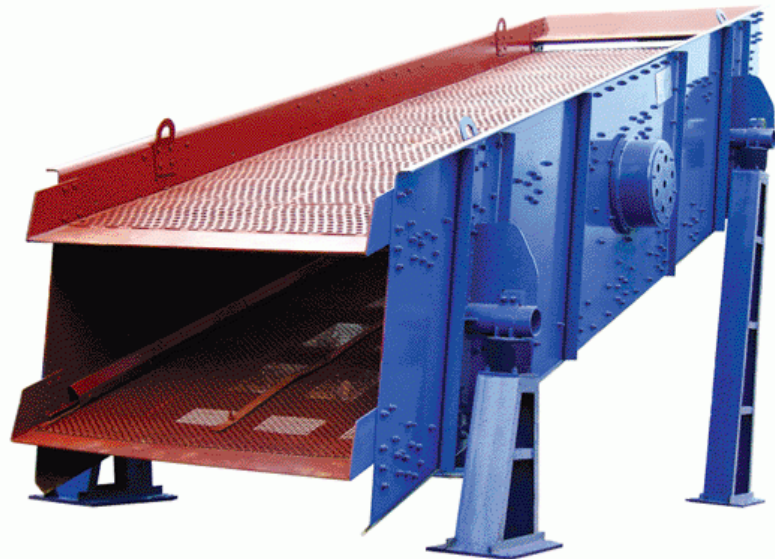
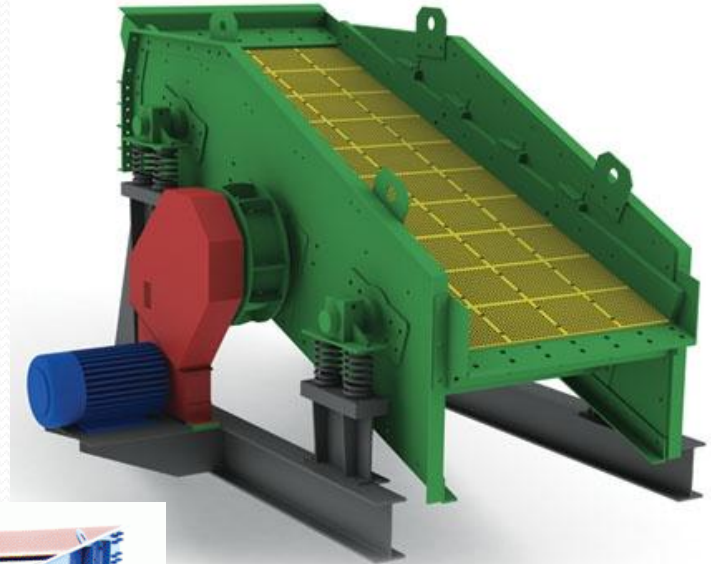
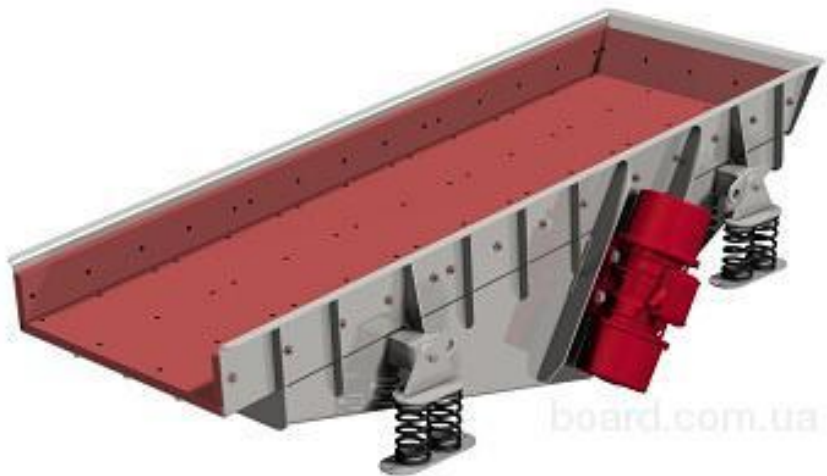


Моделирование движения частицы по вибрирующей поверхности

*Д.С. Сидоров, студент;
рук. В. А. Огурцов, д.т.н., проф.*

Применение эффекта виброперемещения



Объект исследования

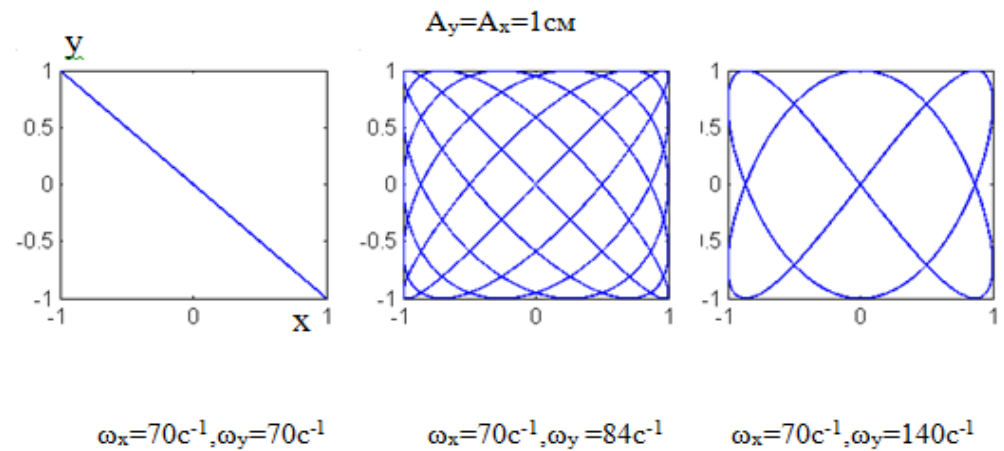
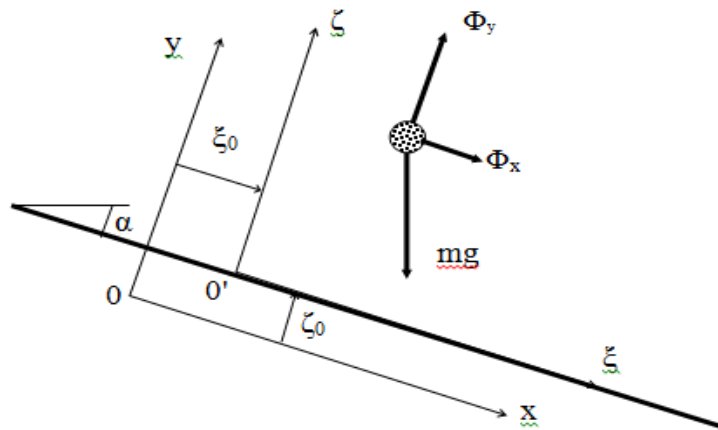


Рис. 1 Расчетная схема движения частицы над вибрирующей поверхностью

Рис. 2 Траектории колебаний поверхности

- Дифференциальные уравнения относительного движения частицы над поверхностью сита:

$$\dot{v}_{\zeta} = -g \cdot \cos \alpha + A_y \cdot \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y),$$

$$\dot{\xi} = v_{\zeta},$$

$$\dot{v}_{\xi} = g \cdot \sin \alpha + A_x \cdot \omega_x^2 \cos(\omega_x t + \varphi_x),$$

$$\dot{\xi} = v_{\xi},$$

$$\Phi_x = m \cdot \omega_x^2 \cdot A_x \cdot \sin(\omega_x t + \varphi_x),$$

$$\Phi_y = m \cdot \omega_y^2 \cdot A_y \cdot \sin(\omega_y t + \varphi_y).$$

- Состояния частицы на поверхности:

$$A_y \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y) > g \cos \alpha,$$

если $|(g \cos \alpha - A_y \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y))| f > |g \sin \alpha + A_x \omega_x^2 \sin(\omega_x t + \varphi_x)|$, то $v_{\xi} = 0$,

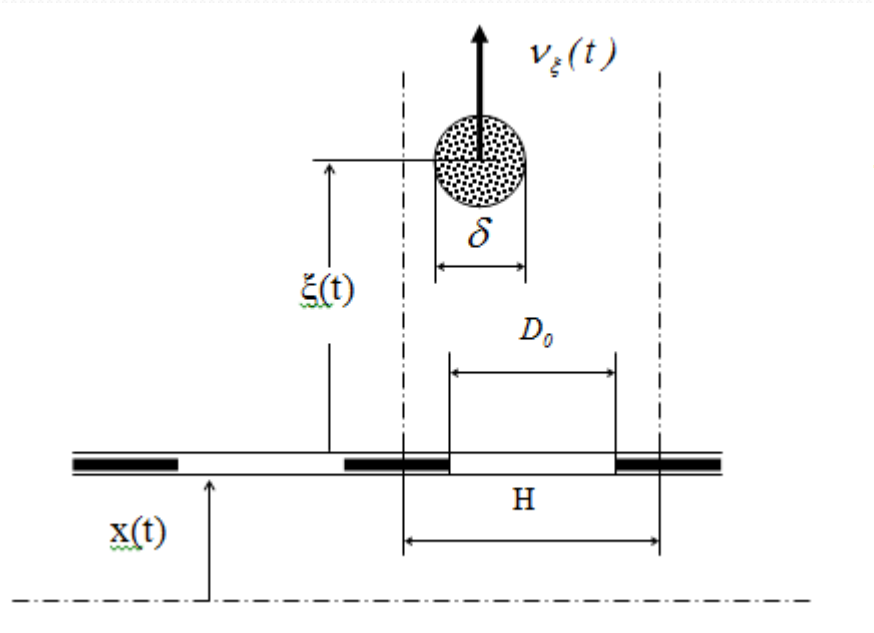
$$A_y \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y) < g \cos \alpha,$$

если $|(g \cos \alpha - A_y \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y))| f < |g \sin \alpha + A_x \omega_x^2 \sin(\omega_x t + \varphi_x)|$, то

$$\dot{v}_{\xi} = g \sin \alpha + A_x \omega_x^2 \sin(\omega_x t + \varphi_x) - f(g \cos \alpha - A_y \omega_y^2 \sin(\omega_y t + \varphi_y)),$$

$$\dot{\xi} = v_{\xi},$$

Вертикальные колебания горизонтальной поверхности сита

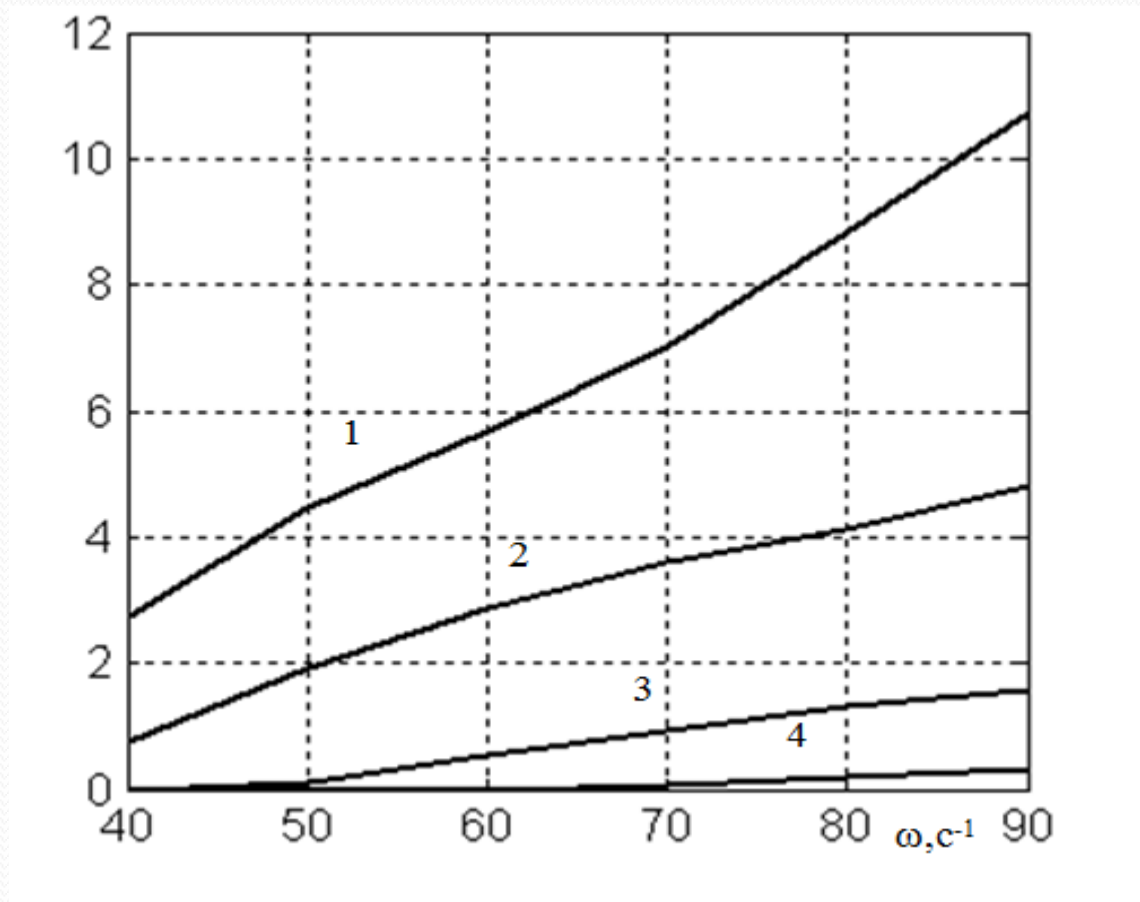


$$\dot{v}_{\xi} = -g + A_s \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi),$$

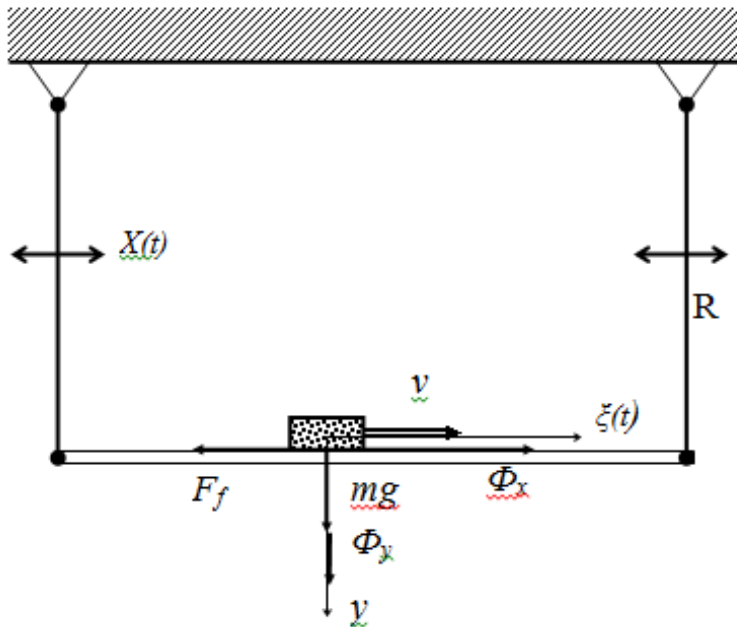
$$\dot{\xi} = v_{\xi},$$

Рис. 3 Расчетная схема движения частицы над вертикально колеблющейся поверхностью

- Влияние частоты колебаний грохота на амплитуду движения частиц над его поверхностью при различных амплитудах (1- $A=1,5$ см, 2 - $A=1$ см, 3- $A=0,5$ см, 4- $A=0,25$ см).



Движение частицы по продольно колеблющейся поверхности



$$\frac{dv}{dt} = 0, \text{ если } v=0 \text{ и } f \cdot (g + (A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi))^2 / R) > A \cdot \omega^2 \sin(\omega \cdot t + \varphi)$$

$$\frac{dv}{dt} = -f \cdot \left(g + \frac{(A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi))^2}{R} \right) \frac{v}{|v|} + A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi), \text{ если } v \neq 0,$$

$$\frac{dx}{dt} = v,$$

Рис.3 Расчетная схема процесса с продольными колебаниями сита

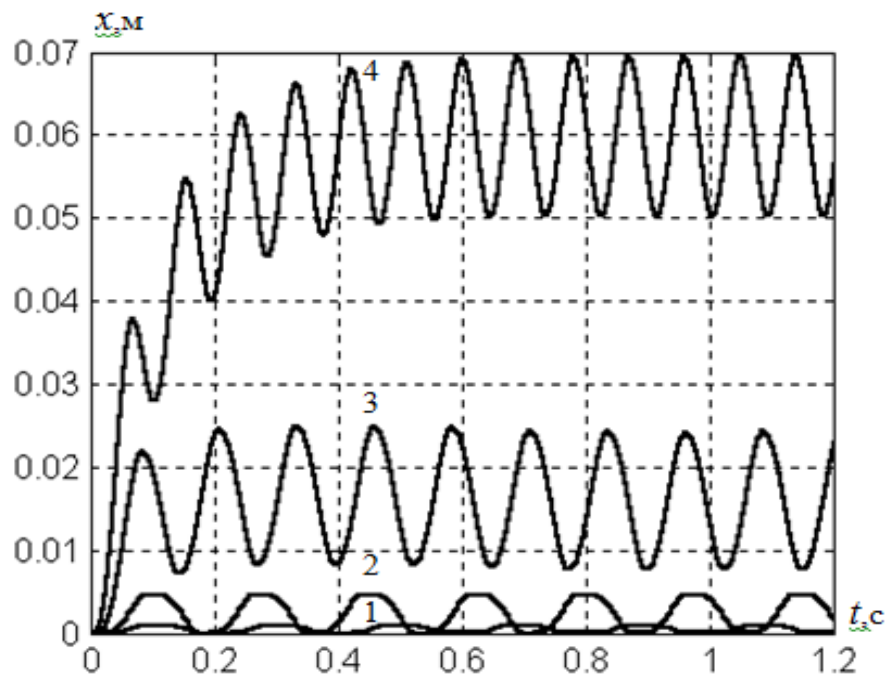


Рис.4 Закон движения частицы при различных частотах колебаний:
1 - $\omega = 32 \text{ c}^{-1}$, 2 - 34 c^{-1} , 3 - 40 c^{-1} , 4 - 70 c^{-1}

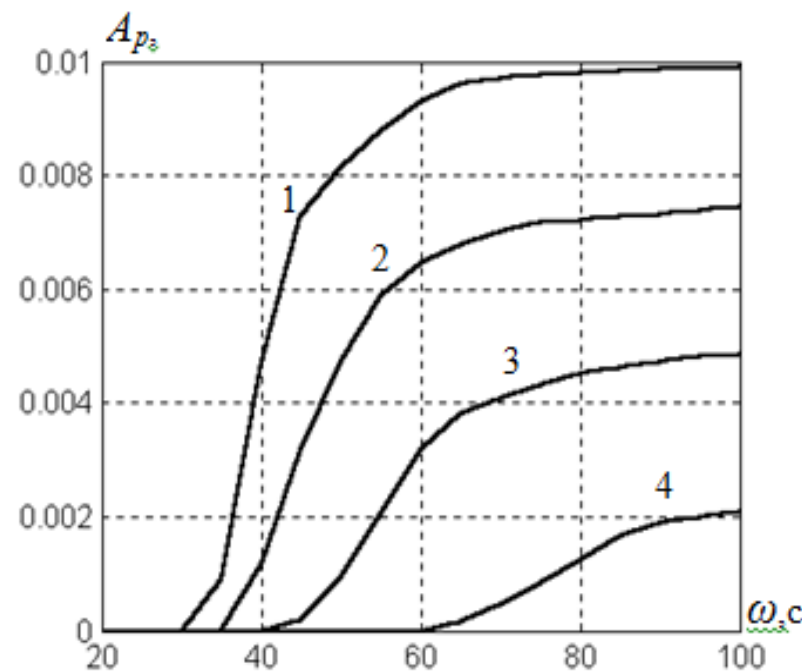
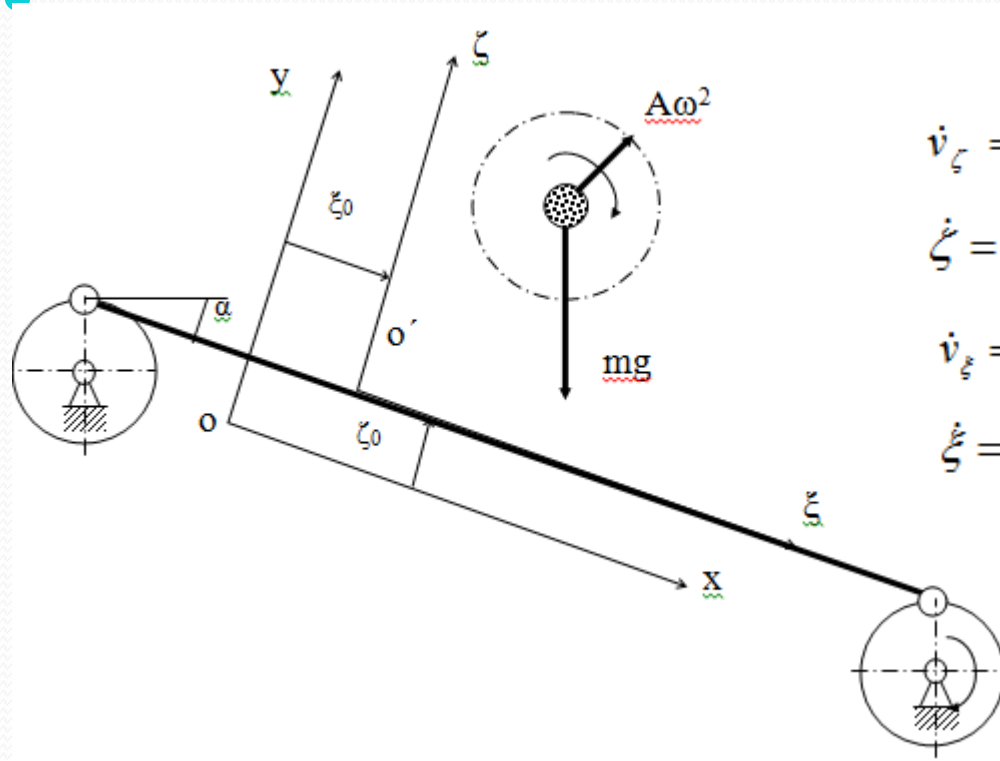


Рис. 5 Зависимость амплитуды движения частицы от частоты при различных амплитудах колебаний поверхности:
1 - $A = 0,01 \text{ м}$, 2 - $0,0075 \text{ м}$,
3 - $0,0075 \text{ м}$, 4 - $0,0025 \text{ м}$,

Движение частиц при круговых колебаниях наклонной поверхности виброхота



$$\dot{v}_{\zeta} = -g \cdot \cos \alpha + A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi),$$

$$\dot{\zeta} = v_{\zeta},$$

$$\dot{v}_{\xi} = g \cdot \sin \alpha + A \cdot \omega^2 \cdot \cos(\omega t + \varphi),$$

$$\dot{\xi} = v_{\xi},$$

Рис. 6 Расчетная схема процесса при круговых колебаниях наклонной поверхности

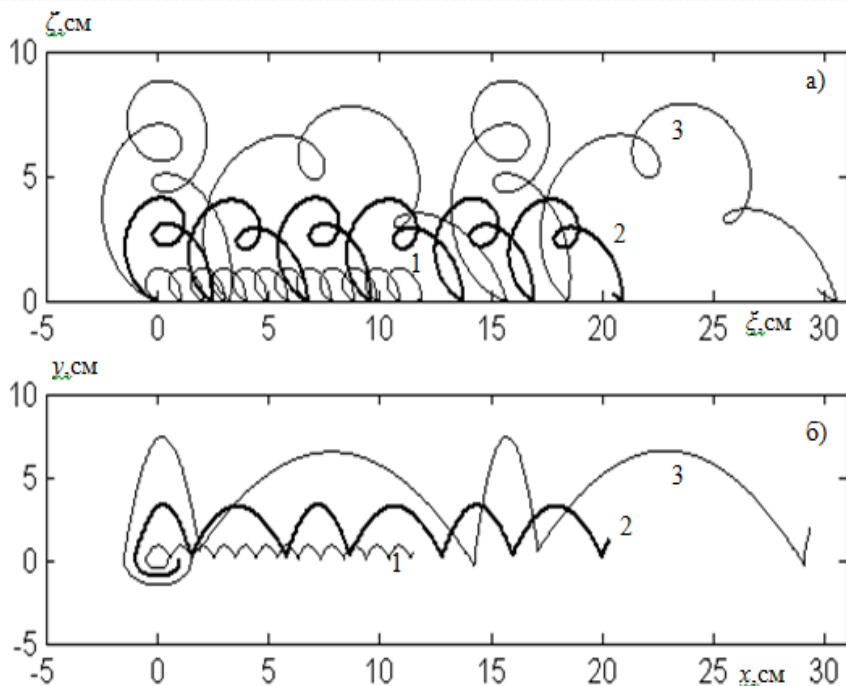


Рис.7 Расчетные траектории движения частицы в подвижной (а) и неподвижной (б) системах координат ($\omega=80\text{с}^{-1}$; 1 – $A=0,5\text{см}$; 2 – $1,0\text{ см}$; 3 – $1,5\text{см}$).

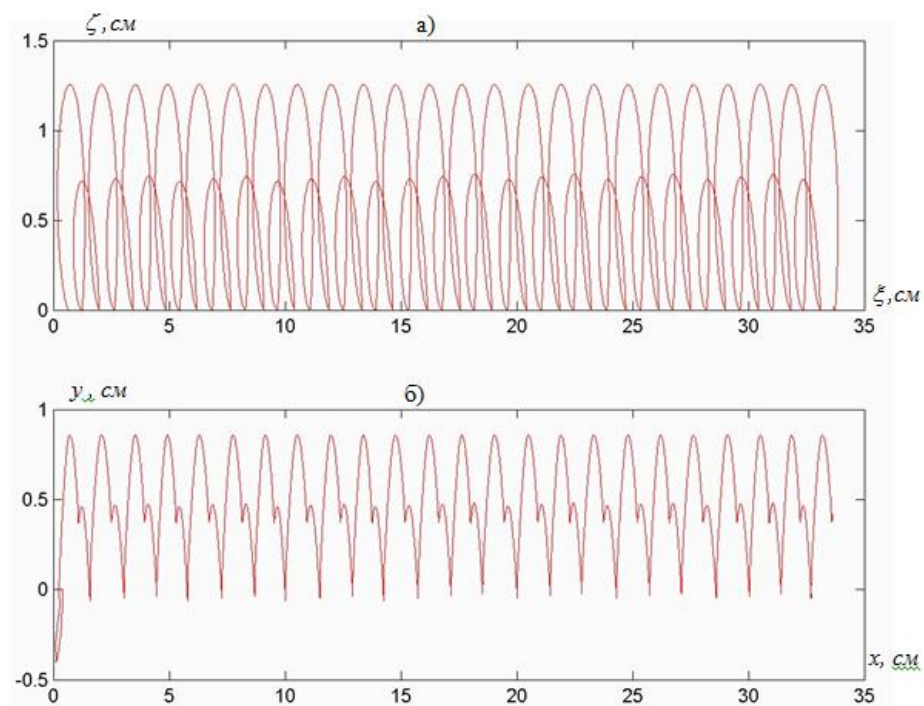


Рис.8 Расчетные траектории движения частицы в подвижной (а) и неподвижной (б) системах координат ($\omega=100\text{с}^{-1}$; $A=0,4\text{см}$; $=0$).

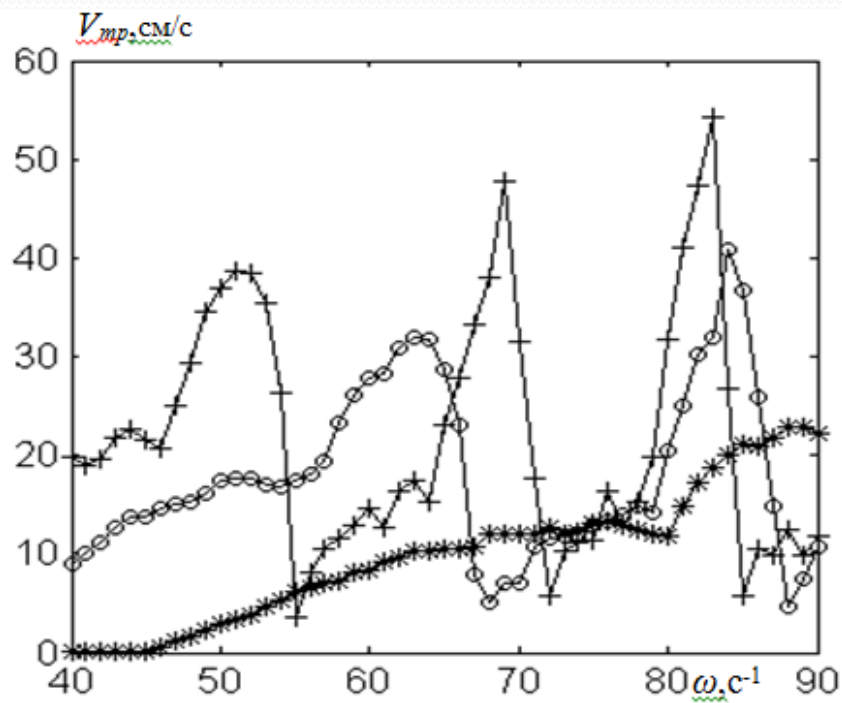


Рис. 9 Влияние параметров колебаний на среднюю скорость движения частиц по ситам (* - $A=0,5\text{ см}$; o - $1,0\text{ см}$; $+$ - $1,5\text{ см}$).

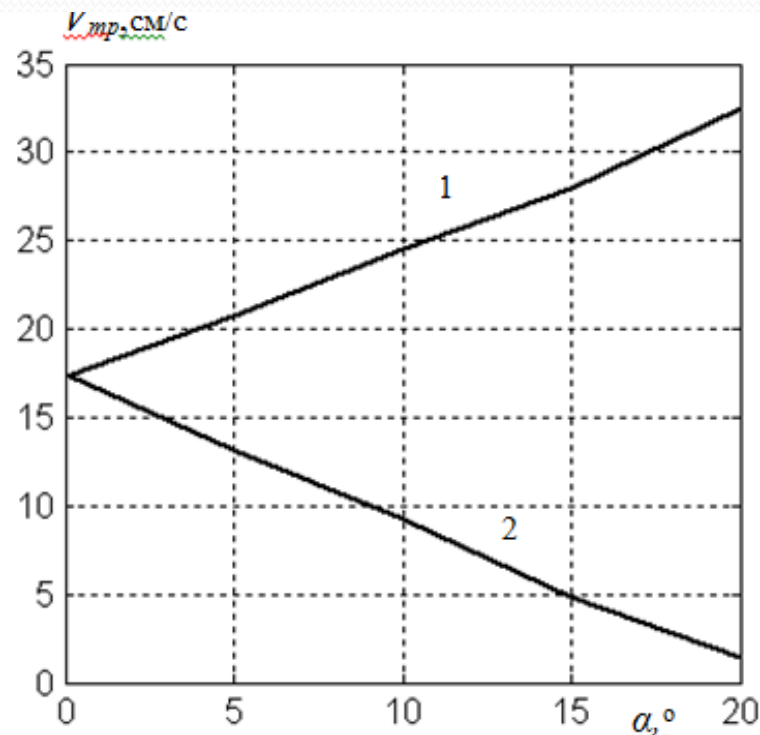


Рис. 10 Влияние угла наклона сита на среднюю скорость движения частиц ($\omega=50\text{ с}^{-1}$; $A=1\text{ см}$; 1 – прямое вращение вибропривода; 2 – реверсивное вращение вибропривода).

Виброгροхот

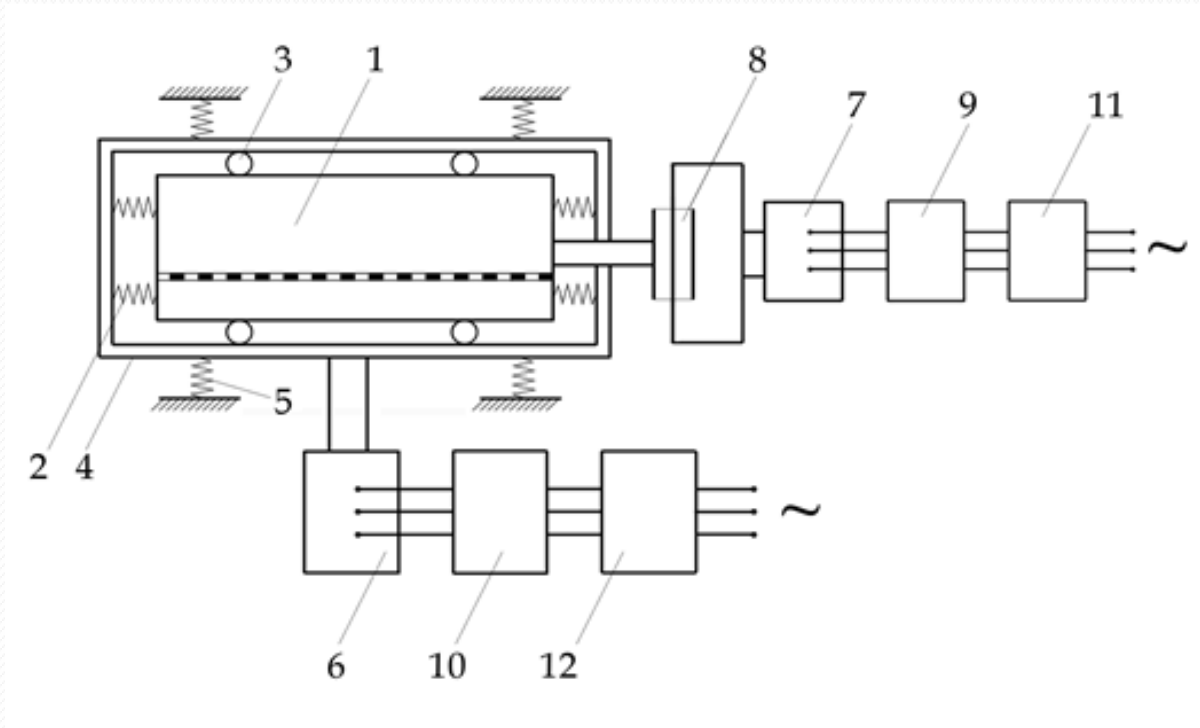


Рис. 11 Вибрационный грохот, реализующий различные траектории сита (1-короб; 2-упругие элементы; 3- кинематическая пара; 4- подвижная рама; 5- упругие элементы; 6,7-вибропривод, 8-скользящая кинематическая пара; 9,10-преобразователь частоты; 11,12-фазовращатель.)

Экономическая часть

- Метод определения срока окупаемости: $T=8$ мес.
- Метод определения расчетной ставки рентабельности: $Рент=236.1\%$
- Метод расчета чистого дисконтированного дохода: $NPV=2272000$ руб.

Безопасность проекта



Выводы

- Предложенная расчетная модель движения сыпучей среды по просеивающей поверхности виброгрохота, где среда представлена изолированной частицей, позволяет определить среднюю скорость транспортирования материала по ситам при различных режимах колебаний.
- Высокая чувствительность средней скорости транспортирования сыпучего материала по просеивающей поверхности к параметрам колебаний грохота предъявляет строгие требования к поддержанию этих параметров при эксплуатации.