



### ВЛИЯНИЕ НАКЛОНА РЕШЕТ СОРТИРОВАЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ

В статье приводится пример расчета производительной мощности сортировальной машины в зависимости от наклона решет. В расчете учитывается трение сыпучего материала о решето, которое зависит от давления на поверхность. Это давление определяется двумя силами: гравитационной и инерционной. Поскольку ускорение решет является знакопеременным, сила давления меняется со временем.  $k_v$ -я часть сыпучего материала условно может считаться неподвижной относительно решетного стана и вносить вклад в инерционную нагрузку, а оставшаяся  $(1 - k_v)$ -я часть – подвижной и обеспечивать часть диссипативной нагрузки. Установлено, что угол наклона решет практически не влияет на величину средней диссипативной мощности, но искажает графики силы трения и мощности.

Сортировальная машина, решета, наклон, диссипативная мощность, трение, сыпучий материал.

Сортировальные машины используются в индустрии строительных материалов, горно-рудной промышленности, металлургии, сельском хозяйстве. Машина состоит из корпуса, привода и решет, под действием вибрации которых часть сыпучего материала просеивается, а часть «сходит».

В технологических целях решета сортировальных машин устанавливаются с небольшим наклоном. Известно, что угол наклона влияет на характеристики сортировальной машины, однако закономерности влияния не установлены. В этой связи целью работы является определение влияния наклона решет на диссипативную мощность решетных сортировальных машин [1, 2].

Рассмотрим кинематическую схему движения материала по наклонной плоскости решет.

Диссипативная мощность связана с трением, возникающим в подвижной относительно решет части сыпучего материала [3, 4]. Трение зависит от силы давления сыпучего материала на решета [5–7]. Это давление определяется двумя силами: гравитационной и инерционной. Поскольку ускорение решет является знакопеременным, сила давления меняется со временем. На рисунке 1 показана кинематическая схема движения материала по наклонной плоскости решет.

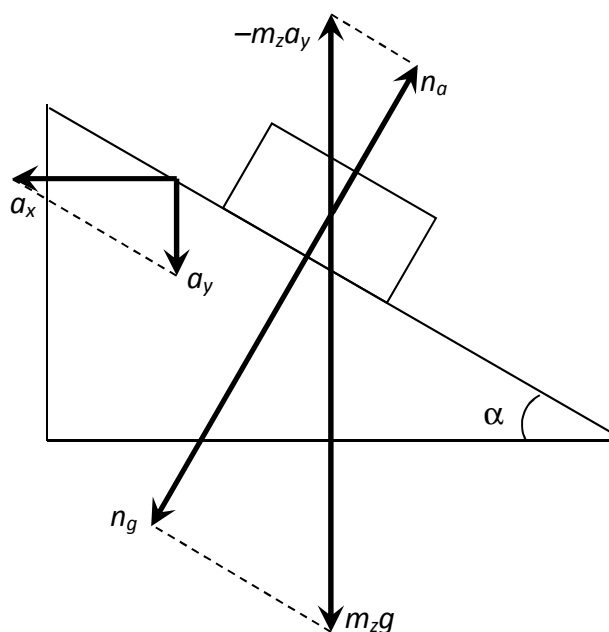


Рис. 1. Сила давления на решето

### Расчет силы давления зернового вороха на решет

Координата, скорость и ускорение решета равны:

$$\begin{aligned}x &= l \sin \omega t, \\v &= \dot{x} = l \omega \cos \omega t, \\a_x &= \ddot{x} = -l \omega^2 \sin \omega t,\end{aligned}$$

где  $l$  – амплитуда колебаний, м.;  $\omega$  – циклическая частота колебаний, рад/с [8, 9]. Вертикальное ускорение опоры (рис. 1) равно

$$a_y = a_x \operatorname{tg} \alpha = -l \omega^2 \sin \omega t \operatorname{tg} \alpha.$$

$k_v$ -я часть сыпучего материала условно может считаться неподвижной относительно решетного стана и вносить вклад в инерционную нагрузку, а оставшаяся  $(1-k_v)$ -я часть – подвижной и обеспечивать часть диссипативной нагрузки [10].

Сила давления  $(1-k_v)$ -й части сыпучего материала на решето равна

$$\begin{aligned}n_z &= n_g - n_a = (1-k_v)m_z g \cos \alpha - (1-k_v)m_z (-a_y) \cos \alpha = \\&= (1-k_v)m_z g \cos \alpha - (1-k_v)m_z l \omega^2 \sin \omega t \operatorname{tg} \alpha \cos \alpha = \\&= (1-k_v)m_z (g \cos \alpha - l \omega^2 \sin \omega t \sin \alpha).\end{aligned}$$

### Расчет диссипативной мощности

Диссипативная мощность, рассеиваемая в сыпучем материале, определяется выражением:

$$\begin{aligned}p &= \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = k n_z \left( -\frac{\mathbf{v}}{v} \right) \cdot \mathbf{v} = \\&= k(1-k_v)m_z \left( -\frac{\mathbf{v}}{v} \right) \cdot \mathbf{v} (g \cos \alpha - l \omega^2 \sin \omega t \sin \alpha) = \\&= k(1-k_v)m_z (g \cos \alpha - l \omega^2 \sin \omega t \sin \alpha) l \omega |\cos \omega t|,\end{aligned}$$

где  $\mathbf{F}$  – сила трения,  $k$  – динамический коэффициент трения, который определяется опытным путем. Сила трения направлена противоположно скорости.

Диссипативная энергия, рассеиваемая в сыпучем материале за полупериод колебаний, равна

$$\begin{aligned}A_\pi &= \int_{-\pi/2}^{\pi/2} p dt = \\&= k(1-k_v)m_z l \omega \left( g \cos \alpha \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos \omega t dt - l \omega^2 \sin \alpha \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sin \omega t \cos \omega t dt \right) = \\&= k(1-k_v)m_z l \omega \left( \frac{g}{\omega} \cos \alpha \sin \omega t \Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} - l \omega \sin \alpha \frac{1}{2} \sin^2 \omega t \Big|_{-\pi/2}^{\pi/2} \right) = \\&= 2k(1-k_v)m_z l g \cos \alpha.\end{aligned}$$

Средняя диссипативная мощность равна

$$P = 2nA_\pi = 4nk(1-k_v)m_z l g \cos \alpha.$$

График диссипативной мощности представлен на рисунке 2.

**Пример.** Пусть  $\alpha = 7^\circ$ ,  $l = 7,5 \cdot 10^{-3}$  м, частота колебаний  $n = 8$  Гц,  $m_z = 40$  кг;  $k_v = 0,3$ ;  $k = 0,6$ . Средняя диссипативная мощность равна

$$\begin{aligned}P &= 4nk(1-k_v)m_z l g \cos \alpha = \\&= 2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,6(1-0,3)40 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 0,99 \approx 39 \text{ Вт}.\end{aligned}$$

Таким образом, поскольку  $\cos 7^\circ \approx 0,993$ , угол наклона решета практически не влияет на величину средней диссипативной мощности, но искажает графики силы трения и мощности.

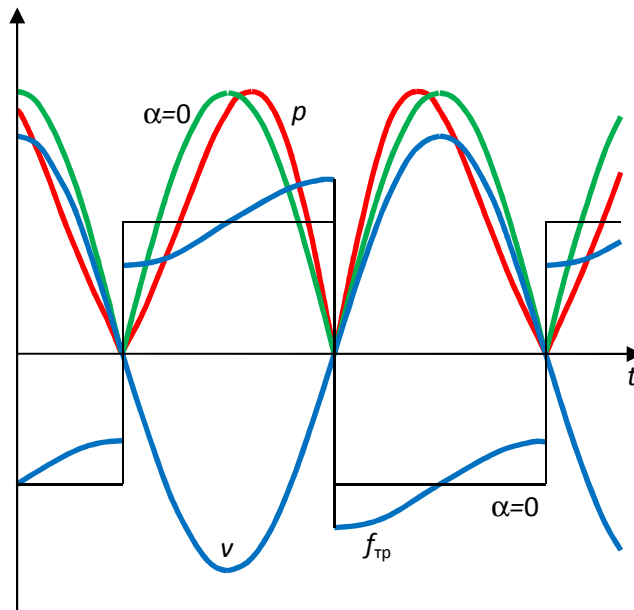


Рис. 2. Диссипативная мощность сортировальной машины

## Литература

1. Попов, И. П. Условно-ортогональные механические мощности / И. П. Попов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2019. – № 4 (144). – С. 15–17.
2. Павлов, В. Д. О неоднозначности механической мощности / В. Д. Павлов // Advanced Engineering Research. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 24–29. – URL: <https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-1-24-29> (дата обращения: 29.08.2022). – Текст : электронный.
3. Попов, И. П. Производительная мощность при сортировке сыпучих материалов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1 (7). – С. 70–72.
4. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.
5. Осипов, Ю. Р. Исследование кинетики смешивания древесных сыпучих материалов при изготовлении строительных материалов / Ю. Р. Осипов, К. С. Лукин // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 4 (6). – С. 70–73.
6. Степыко, Т. В. Модернизация системы сортировки и транспортировки агломерата в доменный цех в условиях АО «Уральская сталь» / Т. В. Степыко, А. В. Штах // Наука и производство Урала. – 2017. – № 13. – С. 31–33.
7. Сухов, С. И. Неизнашиваемые механические уплотнения Flowserve bulkite™ для порошковых и сыпучих материалов / С. И. Сухов // Горная промышленность. – 2017. – № 5 (135). – С. 42.
8. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем. Часть 1 / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2019. – № 4 (6). – С. 21–25.
9. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем. Часть 2 / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2020. – № 1 (7). – С. 27–32.
10. Попов, И. П. Определение динамических свойств сыпучего материала / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2021. – № 2 (12). – С. 23–27.

*I.P. Popov*  
*Kurgan State University*

## **SORTING MACHINE SIEVES TILT INFLUENCE ON PRODUCTION CAPACITY**

The article provides an example of calculating the productive capacity of a sorting machine depending on the tilt of the sieves. The calculation takes into account the friction of bulk material on the sieve which depends on the pressure on the surface. This pressure is determined by two forces: gravitational and inertial. Since the sieve acceleration is sign-variable, the pressure force changes with time. The  $k_v$ -part of the bulk material can conventionally be considered immovable relative to the sieve body and contribute to the inertial load, and the remaining  $(1 - k_v)$ -part can be considered movable and provide part of the dissipative load. It has been established that the angle of tilt of the sieves has practically no effect on the value of the average dissipative power but distorts the graphs of the friction force and power.

Sorting machine, sieves, tilt, dissipative power, friction, bulk material.