

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ВИБРОМАШИН ДЛЯ ПРОСЕИВАНИЯ МУКИ И САХАРА

И.П. Попов, В.Г. Чумаков, А.В. Ильтяков

*Отмечено, что в существующих технологических вибрационных сортировальных машинах для просеивания муки и сахара часто используют два массивных рабочих органа, колебания которых вместе с сыпучим материалом осуществляются в противофазе, что приводит к развитию существенной непроизводительной реактивной механической или инерционной мощности. Смещение фаз колебаний массивных рабочих органов на 90 ° приводит к полной самонейтрализации самой реактивной мощности. Этим обстоятельством положительное влияние смещения фаз колебаний не ограничивается.*

*Цель исследования состоит в установлении влияния смещения на 90 ° фаз колебаний массивных рабочих органов на производительную (активную) мощность, развиваемую виброприводом при просеивании муки и сахара. Задача исследования заключается в аналитическом представлении энергетического аспекта вибрационных явлений. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности вибрационных сортировальных машин. Показано, что нагрузка сортировальной вибрационной машины при штатных колебаниях массивных рабочих органов (смещение фаз – 180 °) по существу является импульсной. Нагрузка машины со смещением фаз колебаний рабочих органов на 90 ° существенно равномернее. Пиковая суммарная мощность во втором варианте меньше, чем в первом в  $\sqrt{2}$  (это около 30 %). Таким образом, смещение фаз колебаний массивных рабочих органов вибрационных сортировальных машин на 90 ° помимо полной самонейтрализации непроизводительной реактивной механической (инерционной) мощности приводит к снижению в 4,8 раза неравномерности производительной (активной) мощности при просеивании муки и сахара с одновременным уменьшением ее пикового значения почти на 30 %.*

*Ключевые слова: мука, сахар, просеивание, вибропривод, колебания, фаза, смещение, колебания, фаза, смещение, самонейтрализация, реактивная, активная мощность.*

### ВВЕДЕНИЕ

В существующих вибрационных сортировальных машинах для просеивания муки и сахара [1–3] часто используют два массивных рабочих органа, колебания которых вместе с сыпучим материалом осуществляются в противофазе, что приводит к развитию существенной непроизводительной реактивной механической мощности [4–6]. Смещение фаз колебаний на 90 ° приводит к полной самонейтрализации этой мощности [7]. Этим положительное влияние смещения фаз колебаний не ограничивается.

Цель исследования состоит в установлении влияния смещения на девяносто градусов фаз колебаний массивных рабочих органов на производительную (активную) мощность при сортировке муки и сахара.

Задача заключается в аналитическом представлении энергетического аспекта вибрационных явлений [7–10].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения энергоэффективности вибрационных сортировальных машин для просеивания муки и сахара.

### ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ (АКТИВНАЯ) МОЩНОСТЬ ПРИ ШТАТНЫХ КОЛЕБАНИЯХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ (СМЕЩЕНИЕ ФАЗ – 180 °)

Выражение для мощности в этом случае имеет вид:

$$P_{z\pi} = 2P_{z\max} |\cos \omega \cdot t|,$$

где  $P_{z\max}$  – амплитуда активной (тепловой) мощности для одного рабочего органа. На рисунке 1 представлен график этой мощности.

Пиковая суммарная мощность для этого случая равна

$$P_{z\pi\max} = 2P_{z\max}.$$

### ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ (АКТИВНАЯ) МОЩНОСТЬ ПРИ СМЕЩЕНИИ ФАЗ НА 90 °

Выражение для мощности в этом случае имеет вид:

$$P_{z\pi/2} = P_{z\max} (|\cos \omega \cdot t| + |\sin \omega \cdot t|) = \\ = \sqrt{2}P_{z\max} \sin \left[ \left( \omega \cdot \tau + \frac{\pi}{4} \right) + n \frac{\pi}{2} \right] =$$

$$= \sqrt{2}P_{z\max} \sin \left[ \omega \cdot \tau + (1 + 2n) \frac{\pi}{4} \right],$$

$$\left( t = \tau + n \frac{\pi}{2}, 0 \leq \omega \cdot \tau \leq \frac{\pi}{2}, n \in \mathbb{N} \right).$$

Пиковая суммарная мощность для этого случая равна

$$P_{z(\pi/2)\max} = \sqrt{2}P_{z\max}.$$

На рисунке 2 представлен график этой мощности.

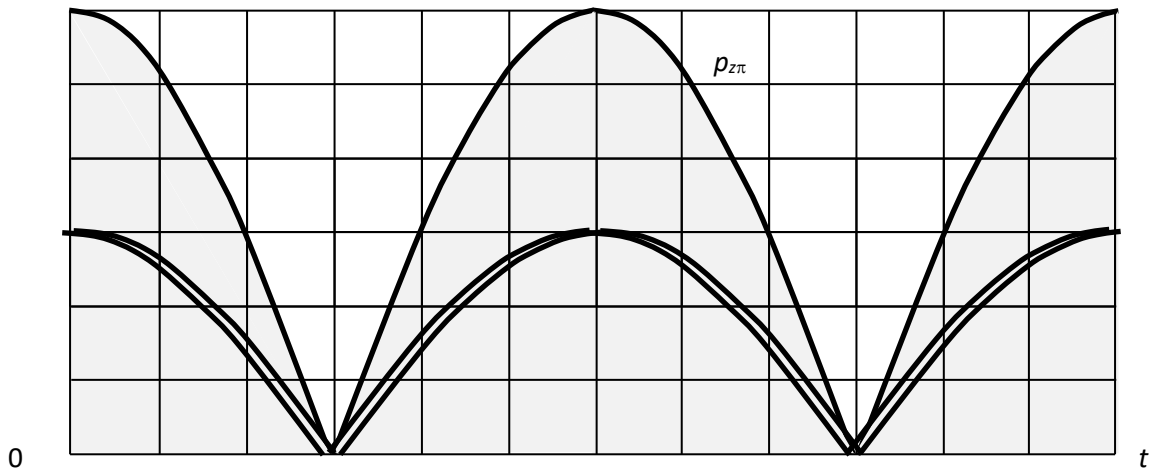


Рисунок 1 – Активная мощность. Смещение фаз – π

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ РАССМОТРЕННЫХ ВАРИАНТОВ

Нагрузка сортировальной вибрационной машины для просеивания муки и сахара при штатных колебаниях рабочих органов (смещение фаз – π) по существу является импульсной. Нагрузка машины со смещением фаз колебаний рабочих органов на π/2, существенно равномернее. Пиковая суммарная мощность во втором варианте меньше в  $\sqrt{2}$  (это около 30 %).

Для штатного варианта коэффициент неравномерности активной (тепловой) мощности определяется по известной формуле:

$$\delta_{\pi} = \frac{P_{z\pi\max} - P_{z\pi\min}}{P_{z\pi\text{mid}}} =$$

$$= \frac{P_{z\pi\max} - P_{z\pi\min}}{(P_{z\pi\max} + P_{z\pi\min})/2} = 2.$$

(Здесь  $P_{z\pi\min} = 0$ ).

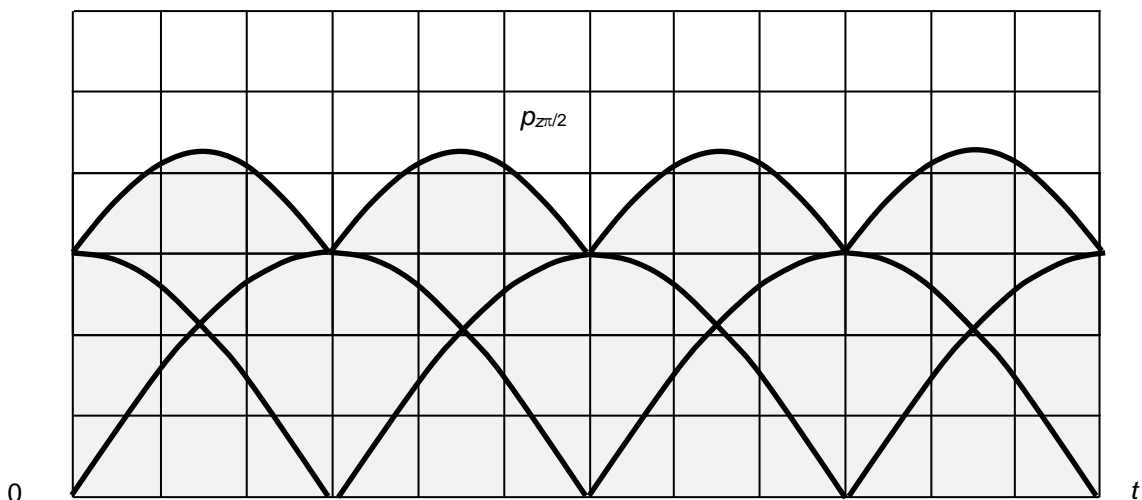


Рисунок 2 – Активная мощность. Смещение фаз – π/2

Для второго варианта:

$$\begin{aligned} \delta_{\pi/2} &= \frac{P_{z(\pi/2)\max} - P_{z(\pi/2)\min}}{\left[ P_{z(\pi/2)\max} + P_{z(\pi/2)\min} \right] / 2} = \\ &= \frac{\sqrt{2} - 1}{(\sqrt{2} + 1) / 2} = \\ &= \frac{(\sqrt{2} - 1)(\sqrt{2} - 1)}{(\sqrt{2} + 1)(\sqrt{2} - 1) / 2} = \\ &= 2(\sqrt{2} - 1)^2 \approx 0,343. \end{aligned}$$

Преимущество второго варианта следует из отношения

$$\frac{\delta_{\pi}}{\delta_{\pi/2}} = \frac{2}{0,343} \approx 5,8.$$

Строго говоря, среднее значение функции, представленной на рисунке 1, не является среднеарифметическим от ее экстремумов

$$P_{z\pi\text{mid}} \neq (P_{z\pi\max} + P_{z\pi\min}) / 2.$$

Поэтому неравномерность мощностей можно уточнить следующим образом.

$$\begin{aligned} P_{z\pi\text{mid}} &= P_{z\pi\max} \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \sin \varphi d\varphi = \\ &= -P_{z\pi\max} \frac{1}{\pi} \cos \varphi \Big|_0^{\pi} = \frac{2}{\pi} P_{z\pi\max}. \\ \delta_{\pi} &= \frac{\pi}{2}. \\ P_{z(\pi/2)\min} &= \frac{P_{z\pi\max}}{2}. \\ P_{z(\pi/2)\text{mid}} &= \frac{P_{z\pi\max}}{2} + \frac{2}{\pi} \left[ P_{z(\pi/2)\max} - \frac{P_{z\pi\max}}{2} \right] = \\ &= \frac{P_{z\pi\max}}{2} + \frac{2}{\pi} \left[ \frac{P_{z\pi\max}}{\sqrt{2}} - \frac{P_{z\pi\max}}{2} \right] = \\ &= P_{z\pi\max} \left( \frac{1}{2} + \frac{2}{\sqrt{2}\pi} - \frac{1}{\pi} \right) = \\ &= P_{z\pi\max} \frac{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}\pi}. \\ \delta_{\pi/2} &= \frac{P_{z(\pi/2)\max} - P_{z(\pi/2)\min}}{P_{z(\pi/2)\text{mid}}} = \\ &= \frac{\frac{P_{z\pi\max}}{\sqrt{2}} - \frac{P_{z\pi\max}}{2}}{\frac{P_{z\pi\max}}{2} \frac{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}}{2\sqrt{2}\pi}} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2 - \sqrt{2}}{2\sqrt{2}} \frac{2\sqrt{2}\pi}{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}} = \\ &= \frac{\pi(2 - \sqrt{2})}{\sqrt{2}\pi + 4 - 2\sqrt{2}} \approx 0,328. \\ \frac{\delta_{\pi}}{\delta_{\pi/2}} &= \frac{\pi}{2} \frac{1}{0,328} \approx 4,8. \end{aligned}$$

Этот результат более точен.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Смещение фаз колебаний массивных рабочих органов вибрационных сортировальных машин для просеивания муки и сахара на 90 ° [7, 8] помимо полной самонейтрализации непроизводительной реактивной механической мощности приводит к снижению в 4,8 раза неравномерности производительной (активной) мощности при просеивании муки и сахара [10] с одновременным уменьшением ее пикового значения почти на 30 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, И.П. Самобалансировка виброприводов машин для просеивания муки и сахара / И.П. Попов, С.Ю. Кубарева // Ползуновский вестник – 2018. – № 4. – С. 68–72. DOI : 10.25712/ASTU.2072-8921.2018.04.014.
2. Попов, И.П. Полная мощность виброприводов машин для просеивания муки и сахара / И.П. Попов // Ползуновский вестник. – 2019. – № 2. – С. 18–21. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.02.004.
3. Попов, И.П. Инертные реактансы вибромаши для просеивания муки и сахара / И.П. Попов, В.Г. Чумаков, А.В. Ильяков // Ползуновский вестник. – 2019. – № 4. – С. 21–23. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2019.04.005.
4. Попов, И.П. Механические аналоги реактивной мощности / И.П. Попов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2015. – № 3 (30). – С. 37–39.
5. Попов, И.П. Комплексная мощность механических колебательных процессов / И.П. Попов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 1. – С. 32–36.
6. Попов, И.П. Условно-ортогональные механические мощности / И.П. Попов // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2019. – № 4 (144). – С. 15–17.
7. Попов, И.П. Антирезонанс – резонанс скоростей / И.П. Попов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2019. – Т 20. – № 6. – С. 362–366. – <https://doi.org/10.17587/mau.20.362-366>.
8. Попов, И.П. О резонансе и антирезонансе / И.П. Попов // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2019. – № 4. – С. 45–48.
9. Попов, И.П. Дифференциальные уравнения двух механических резонансов / И.П. Попов //

Прикладная физика и математика. – 2019. – № 2. – С. 37–40. DOI: 10.25791/pfim.02.2019.599.

10. Попов, И.П. Применение символического (комплексного) метода для расчета сложных механических систем при гармонических воздействиях / И.П. Попов // Прикладная физика и математика. – 2019. – № 4. – С. 14–24. DOI: 10.25791/pfim.04.2019.828.

**Попов Игорь Павлович**, старший преподаватель кафедры «Технических систем в агробизнесе Курганской государственной

сельскохозяйственной академии им. Т.С. Мальцева». E-mail: ip.porow@yandex.ru, 8-951-273-80-87.

**Чумаков Владимир Геннадьевич**, д.т.н., и.о. ректора Курганской государственной сельскохозяйственной академии им. Т.С. Мальцева.

**Ильтяков Александр Владимирович**, к.т.н., депутат Государственной думы РФ.