

## САМОБАЛАНСИРОВКА ВИБРОПРИВОДОВ МАШИН ДЛЯ ПРОСЕИВАНИЯ МУКИ И САХАРА

И. П. Попов, С. Ю. Кубарева

*В статье рассматриваются механизмы машин для просеивания муки и сахара, рабочие органы которых совершают линейные колебания с высокой для их массы частотой, что приводит к развитию значительной непроизводительной механической реактивной инерционной мощности, которая может на порядок превосходить производительную (полезную) диссипативную мощность. Нейтрализация инерционной мощности приводит к существенному повышению энергоэффективности механизма. Самонейтрализация инерционной мощности осуществляется в механизмах с постоянным приведенным моментом инерции за счет смещения фаз колебаний рабочих органов, количество которых может быть любым. Для механизма с двумя рабочими органами смещение фаз составляет  $\pi/2$ , а с тремя –  $2\pi/3$ . Практическое использование механизма с постоянным приведенным моментом инерции с двумя массивными рабочими органами затруднено из-за несбалансированности механизма. Степень сбалансированности (или несбалансированности) механизма непосредственно связана со «степенью» центральной симметрии фигуры (звезды), образованной кривошипами. Целью работы является установление условий самобалансировки виброприводов машин для просеивания муки и сахара с постоянным приведенным моментом инерции с четырьмя и тремя рабочими органами. Показано, что «звезды», образованные кривошипами механизмов с постоянным приведенным моментом инерции с числом рабочих органов более двух, обладают центральной симметрией. Такие механизмы сбалансированы. Установлено, что минимальное число рабочих органов, совершающих линейные колебания, в сбалансированном механизме с постоянным приведенным моментом инерции равно трем.*

*Ключевые слова: машина для просеивания муки и сахара, колебания, фаза, инерционная мощность, автобалансировка, центральная симметрия, механизм, момент инерции, кривошип, сила, корпус.*

### ВВЕДЕНИЕ

Существуют механизмы машин для просеивания муки и сахара, рабочие органы которых совершают линейные колебания с высокой для их массы частотой [1–3], что приводит к развитию значительной непроизводительной механической реактивной инерционной мощности [4], которая может на порядок превосходить производительную (полезную) диссипативную мощность. Поэтому нейтрализация инерционной мощности приводит к существенному повышению энергоэффективности механизма [5, 6].

Самонейтрализация инерционной мощности машин для просеивания муки и сахара осуществляется в механизмах с постоянным приведенным моментом инерции за счет смещения фаз колебаний рабочих органов [5, 6], количество которых может быть любым. Например, для механизма с двумя рабочими органами смещение фаз составляет  $\pi/2$  [7, 8], а с тремя –  $2\pi/3$  [9, 10]. На рисунке 1 приведен пример такого механизма.

Энергообмен происходит следующим образом. В некоторый момент времени сито 1 находится в крайнем правом положении, его кинетическая энергия равна нулю. В этот момент сито 2 находится в среднем положении и движется влево с максимальной кинетической энергией. За счет инерции оно принуждает сито 1 ускоряться влево, отдавая ему часть своей энергии. К моменту, когда сито 2 достигнет крайнего левого положения, оно передаст всю свою энергию ситу 1, которое в среднем положении с максимальной скоростью будет двигаться влево. Теперь сита меняются ролями. За счет инерции сито 1 принуждает сито 2 ускоряться вправо, отдавая ему часть своей энергии. Когда сито 1 достигнет крайнего левого положения, оно передаст всю свою энергию ситу 2, которое в среднем положении с максимальной скоростью будет двигаться вправо. Аналогичным образом будут происходить дальнейшие колебания.

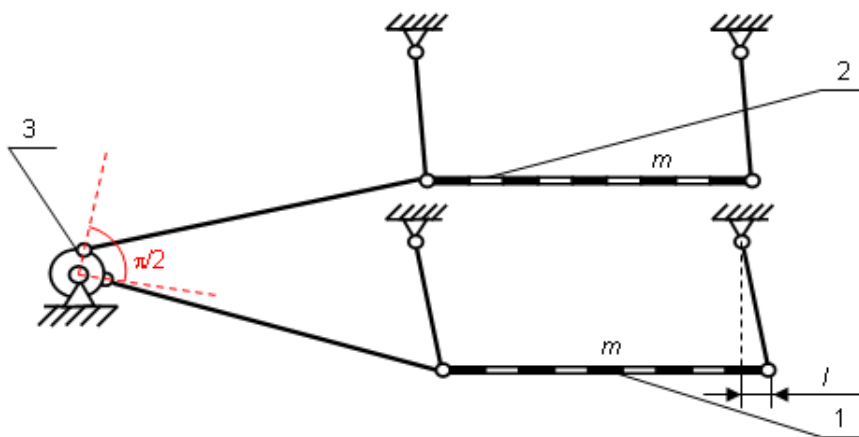
Вместе с тем динамика механизма с постоянным приведенным моментом инерции с двумя массивными рабочими органами имеет преимущественно теоретическую ценность,

## САМОБАЛАНСИРОВКА ВИБРОПРИВОДОВ МАШИН ДЛЯ ПРОСЕИВАНИЯ МУКИ И САХАРА

поскольку его практическое использование затруднено из-за несбалансированности механизма.

На рисунке 2 показаны силы инерции, действующие на кривошпы или эксцентрики

в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с двумя массивными рабочими органами.



1, 2 – шты; 3 – эксцентрики

Рисунок 1 – Кинематическая схема машины для просеивания муки и сахара с постоянным приведенным моментом инерции

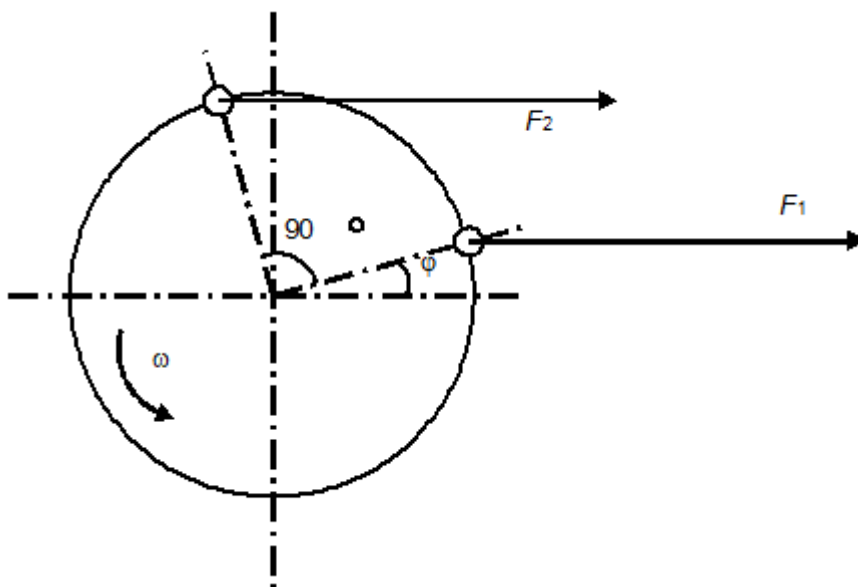


Рисунок 2 – Силы инерции, действующие на кривошпы в механизме с двумя рабочими органами

При этом

$$F_1 = F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi,$$

$$F_2 = F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + \pi/2) = -F_m \sin \varphi.$$

$$F = F_1 + F_2 = F_m \cos \varphi - F_m \sin \varphi \neq 0.$$

То есть механизм не сбалансирован. Суммарная сила передается на опоры приводного вала и на корпус машины, вызывая значительную вибрацию.

Совершенно очевидно, что степень сбалансированности (или несбалансированности) механизма непосредственно связана со «степенью» центральной симметрии фигуры (звезды), образованной кривошпыми.

Двухлучевая «звезда» на рисунке 2 несимметрична.

«Звезды» в механизмах с постоянным приведенным моментом инерции с числом

рабочих органов более двух обладают центральной симметрией.

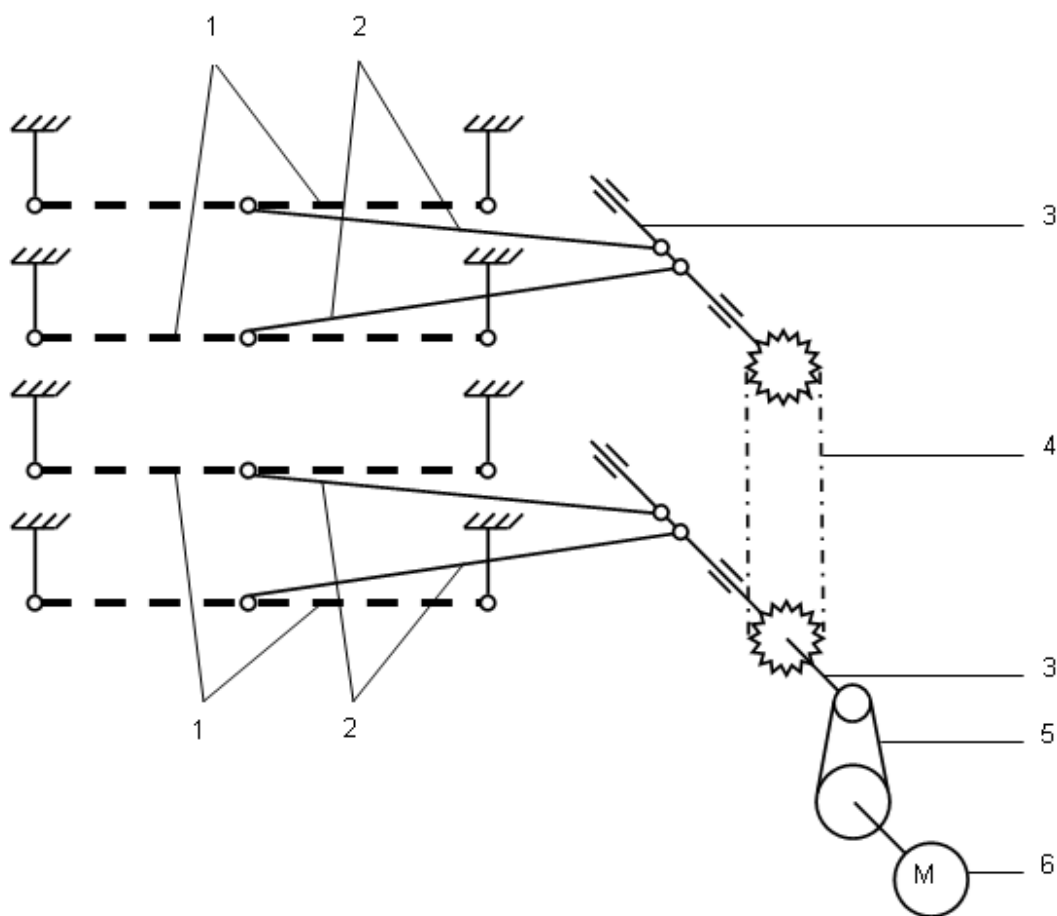
**Целью работы** является установление условий самобалансировки виброприводов машин для просеивания муки и сахара с постоянным приведенным моментом инерции с четырьмя и тремя рабочими органами.

**Задачи исследования** состоят в определении сил, действующих на корпус механизма.

**Актуальность** настоящего исследования обусловлена необходимостью определения минимально возможного числа рабочих органов (сит), при котором выполняется автобалансировка механизма с постоянным приведенным моментом инерции.

**АВТОБАЛАНСИРОВКА МЕХАНИЗМА С ПОСТОЯННЫМ ПРИВЕДЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ С ЧЕТЫРЬМА МАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ**

Примечательным примером такого механизма является сортировальная машина ОЗС-50 с четырьмя массивными рабочими органами. Ее достоинством является возможность модернизации таким образом, чтобы приведенный момент инерции стал постоянным. Для этого нет необходимости в трудоемком изготовлении эксцентриковых валов со смещением эксцентриков на  $\pi/2$ . Кинематическая схема машины (рисунок 3) позволяет, не изменяя конструкцию эксцентриковых валов 3, обеспечить смещение фазы колебаний любой пары массивных рабочих органов 1 на  $\pi/2$  за счет относительного разворота эксцентриковых валов 3 на 90 градусов. Это выполняется при размыкании цепной передачи 4. При этом оба массивных рабочих органа верхней пары и оба рабочих органа нижней пары продолжают работать в противофазе, что обеспечивает динамическую уравновешенность машины.



1 – массивные рабочие органы; 2 – шатуны; 3 – эксцентриковые валы; 4 – цепная передача; 5 – клиноременная передача; 6 – электродвигатель

Рисунок 3 – Кинематическая схема ОЗС-50

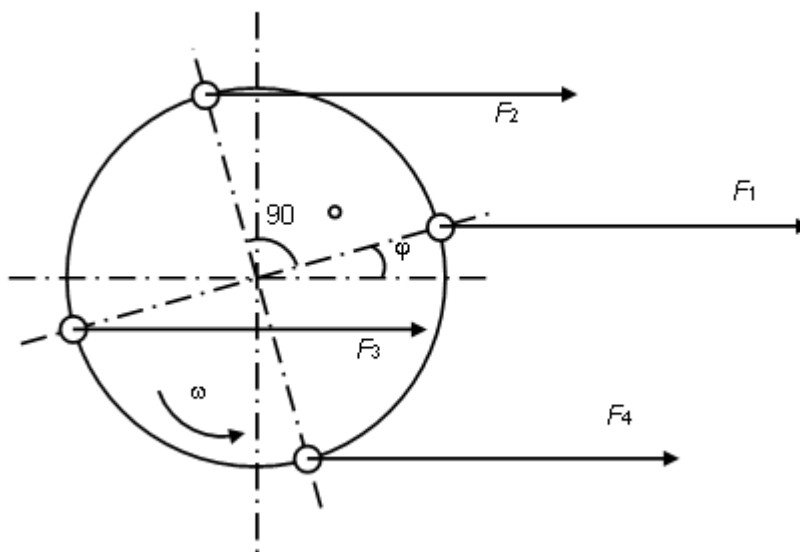


Рисунок 4 – Силы инерции, действующие на кривошпы в механизме с четырьмя рабочими органами

На рисунке 4 показаны силы инерции, действующие на кривошпы (эксцентрики) в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с четырьмя рабочими органами.

«Звезда», образованная кривошпыми, обладает центральной симметрией.

При этом

$$\begin{aligned}
 F_1 &= F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi, \\
 F_2 &= F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + \pi/2) = -F_m \sin \varphi, \\
 F_3 &= F_m \cos \varphi_3 = F_m \cos(\varphi + \pi) = -F_m \cos \varphi, \\
 F_4 &= F_m \cos \varphi_4 = F_m \cos(\varphi + 3\pi/2) = F_m \sin \varphi. \\
 F &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 =
 \end{aligned}$$

$$= F_m \cos \varphi - F_m \sin \varphi - F_m \cos \varphi + F_m \sin \varphi = 0.$$

То есть механизм сбалансирован.

#### АВТОБАЛАНСИРОВКА МЕХАНИЗМА С ПОСТОЯННЫМ ПРИВЕДЕННЫМ МОМЕНТОМ ИНЕРЦИИ С ТРЕМЯ МАССИВНЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

На рисунке 5 показаны силы инерции, действующие на кривошпы в механизме с постоянным приведенным моментом инерции с тремя рабочими органами.

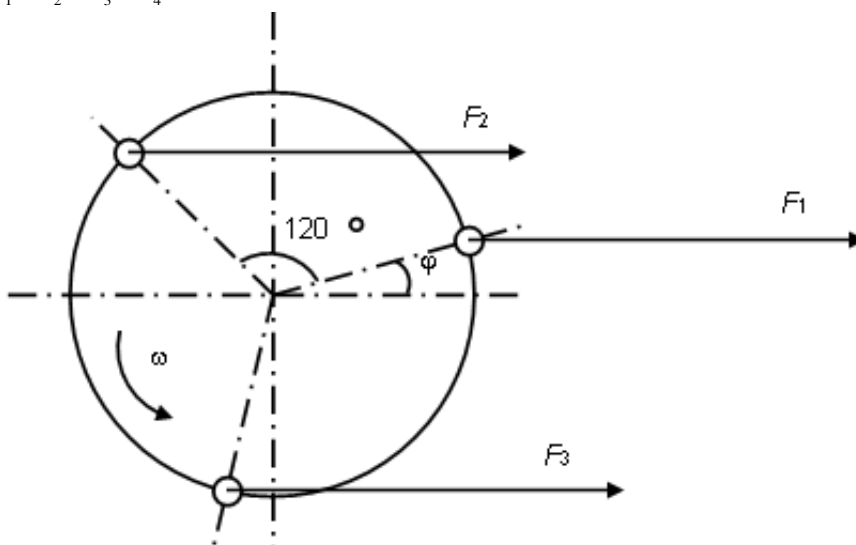


Рисунок 5 – Силы инерции, действующие на кривошпы в механизме с тремя рабочими органами

«Звезда», образованная кривошипами, обладает центральной симметрией.

При этом

$$\begin{aligned} F_1 &= F_m \cos \varphi_1 = F_m \cos \varphi, \\ F_2 &= F_m \cos \varphi_2 = F_m \cos(\varphi + 2\pi/3), \\ F_3 &= F_m \cos \varphi_3 = F_m \cos(\varphi + 4\pi/3). \\ F &= F_1 + F_2 + F_3 = \\ &= F_m \cos \varphi_1 + F_m \cos \varphi_2 + F_m \cos \varphi_3 = \\ &= F_m \cos \varphi_1 + F_m 2 \cos \frac{\varphi_2 + \varphi_3}{2} \cos \frac{\varphi_2 - \varphi_3}{2} = \\ &= F_m \cos \varphi + F_m 2 \cos(\varphi + \pi) \cos(-\pi/3) = 0. \end{aligned}$$

То есть механизм сбалансирован.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

«Звезды», образованные кривошипами механизмов с постоянным приведенным моментом инерции с числом рабочих органов более двух, обладают центральной симметрией. Такие механизмы сбалансированы.

Минимальное число рабочих органов (сит – в машинах для просеивания муки и сахара), совершающих линейные колебания, в сбалансированном механизме с постоянным приведенным моментом инерции равно трем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов, И. П. Редукция мощности привода решетных сортировальных машин / Попов И. П., Чумаков В. Г., Терентьев А. Д. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2015. – № 2(219). – С. 175–181.

2. Машина для просеивания муки и сахара / Попов И. П., Чумаков В. Г., Левитский В. Ю., Родинов С. С., Чумакова Л. Я., Родионова С. И. // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. ст. по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской области (19 марта 2018 г.) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2018. – С. 532–534.

3. Энергоэффективность машины для просеивания муки и сахара, обладающей механизмом с постоянным приведенным моментом инерции / Попов И. П., Чумаков В. Г., Левитский В. Ю., Родинов С. С., Чумакова Л. Я., Родионова С. И. // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. ст. по материалам международной научно-практической конференции, по-

священной 75-летию Курганской области (19 марта 2018 г.) – Курган: Изд-во Курганской ГСХА, 2018. – С. 535–537.

4. Попов, И. П. Механические аналоги реактивной мощности / Попов И. П. // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2015. – № 3(30). – С. 37–39.

5. Попов, И. П. Свободные гармонические колебания в системах с однородными элементами / Попов И. П. // Прикладная математика и механика. – 2012. – Том 76. Вып. 4. – С. 546–549.

6. Попов, И. П. Синтез инертно-инертного осциллятора / Попов И. П. // Прикладная математика и вопросы управления. – 2017. – № 1. – С. 7–13.

7. Патент 2601891 RU, МПК6 F 16 F 15/24. Устройство для уравнивания инерционных сил / И. П. Попов, В. Г. Чумаков, М. В. Давыдова, Д. П. Попов, С. Ю. Кубарева (Россия). № 2015100567/11; заявл. 12.01.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 31.

8. Попов, И. П. Колебательные системы с однородными элементами / Попов И. П. // Инженерная физика. – 2013. – № 3. – С. 52–56.

9. Попов, И. П. Моделирование биинертного осциллятора / Попов И. П. // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. / под общ. ред. В.С. Мхитаряна. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – С. 188–192.

10. Патент 2575763 RU, МПК6 В 06 В 1/12. Способ для получения механических колебаний / И. П. Попов (Россия). № 2015100584/28; заявл. 12.01.2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.

11. Попов, И. П. Колебательные системы, состоящие только из инертных или только упругих элементов, и возникновение в них свободных гармонических колебаний / Попов И. П. // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2013. – № 1(21). – С. 95–103.

12. Попов, И. П. Свободные механические гармонические колебания со смещенными фазами / Попов И. П., Шамарин Е. О. // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2013. – № 2(29). – С. 39–48.

**Попов Игорь Павлович**, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Курганского государственного университета. E-mail: ip.porow@yandex.ru, 8-909-145-11-74.

**Кубарева Светлана Юрьевна**, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Курганского государственного университета.