



МЕХАНИЧЕСКАЯ РЕАКТИВНАЯ ИНЕРЦИОННАЯ МОЩНОСТЬ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В статье рассматривается механическая реактивная мощность, которая может возникать в машинах, рабочие органы которых совершают гармонические колебания. Приводится методика расчета и пример определения значений реактивной мощности в механической системе. Установлено, что при решении задач, связанных с повышением энергоэффективности машин, необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную.

Массивный, колебания, инерционная мощность, реактивная мощность, привод.

Для решения вопросов, связанных с повышением энергоэффективности машин и механизмов, рабочие органы которых совершают гармонические или почти гармонические колебания [1, 2], необходимо учитывать все составляющие их мощности, включая механическую реактивную инерционную [3, 4], под которой понимается производная работы, совершаемой приводом, для сообщения массивным объектам кинетической энергии [5, 6].

Механическая реактивная инерционная мощность является аналогом электрической реактивной (емкостной) мощности. В отличие от механической активной мощности, которая развивается при выполнении полезной работы или рассеивается в виде тепловых потерь, другими словами, является *необратимой*, механическая реактивная инерционная мощность – *обратимая* (отсюда происходит приставка «ре»), одно из значений которой – реставрация).

Механическая реактивная инерционная мощность развивается при сообщении инертному телу кинетической энергии (при этом мощность положительна). Обратимость в этом случае означает, что запасенная кинетическая энергия может (обратно) трансформироваться в механическую работу (при этом мощность отрицательна).

Пусть массивный объект (узел, деталь, заготовка) совершает гармонические колебания

$$x = l \sin \omega t,$$

где X – его координата, м; l – амплитуда колебаний [7].

Скорость объекта (м/с) равна

$$v = \dot{x} = l\omega \cos \omega t.$$

Мгновенное значение кинетической энергии (Дж) объекта, совершающего колебания, имеет вид:

$$w = \frac{mv^2}{2} = \frac{ml^2\omega^2 \cos^2 \omega t}{2},$$

где m – масса, кг.

Мгновенное значение инерционной мощности (Вт), обусловленной массой объекта, определяется выражением

$$q = \frac{dw}{dt} = -l^2 m \omega^3 \cos \omega t \sin \omega t = -\frac{l^2 m \omega^3}{2} \sin 2\omega t. \quad (1)$$

На рисунке представлены графики перемещения, скорости и мгновенной инерционной мощности.

Величина (1) (гармонически) изменяется со временем. Поэтому использовать ее для характеристики процесса или системы затруднительно. Для этой цели, так же как и в электротехнике, используется амплитуда мгновенного значения

$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2},$$

которую и принято называть механической реактивной инерционной мощностью (в отличие от мгновенной механической реактивной инерционной мощности (1)).

Пример. Пусть у вибрационного сепаратора сыпучих материалов $l = 7,5 \cdot 10^{-3}$ м; $m = 92$ кг; $n = 8$ Hz ($\omega = 2\pi n$), диссипативная мощность, включающая полезную и потери, $P = 44$ Вт. Эти данные позволяют рассчитать механическую реактивную инерционную мощность, развиваемую в механизме

$$Q = \frac{l^2 m \omega^3}{2} = \frac{(7,5)^2 \cdot 10^{-6} \cdot 92 \cdot 2^3 \pi^3 \cdot 8^3}{2} \approx 328 \text{ Вт}.$$

Отношение диссипативной мощности к реактивной составляет

$$\frac{P}{Q} = \frac{44}{328} \approx 0,13.$$

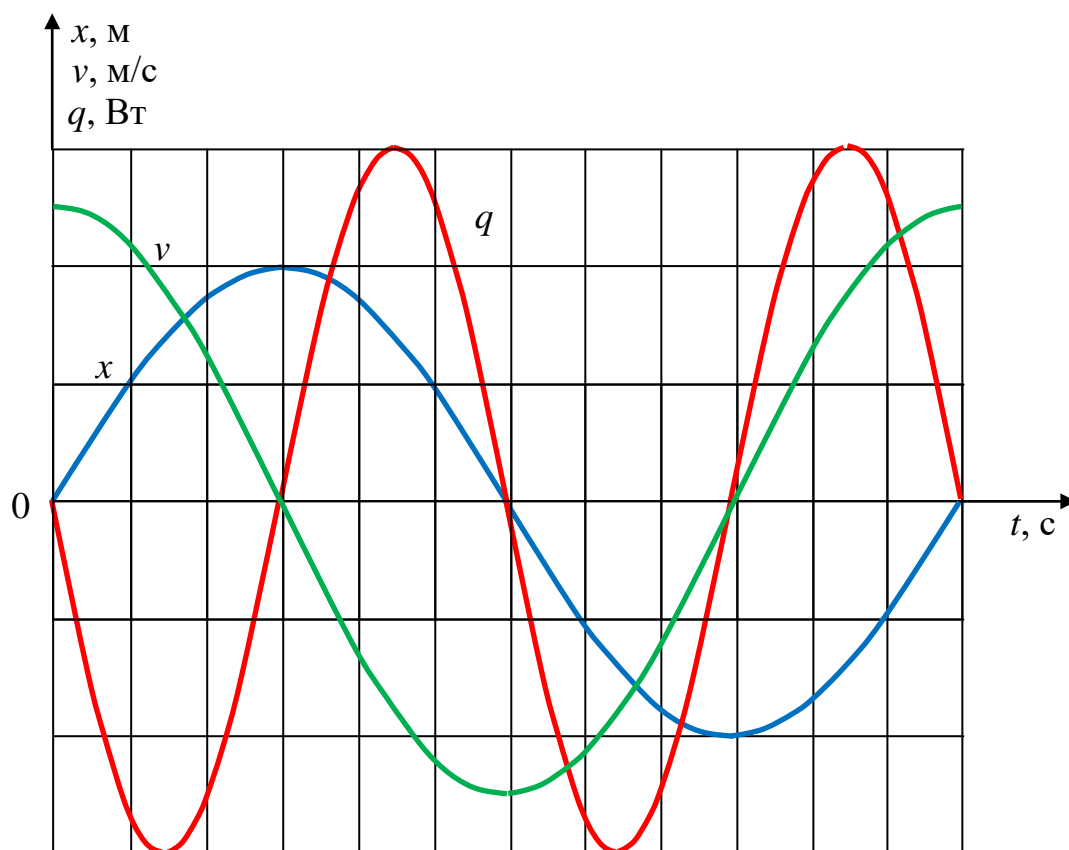


Рис. Мгновенная инерционная мощность:

x – координата массивного объекта, v – скорость, q – мгновенная инерционная мощность, t – время

Несмотря на то, что механическая реактивная инерционная мощность не является диссипативной [8], следует стремиться к ее минимизации, поскольку в соответствии с законом сохранения энергии она приводит к дополнительным потерям в объеме примерно 10 % ее величины.

Буквально в последнее время в связи с разработкой колебательных систем, состоящих из однородных элементов [9–12], появилась возможность решения вышеназванной проблемы вплоть до полной нейтрализации механической реактивной инерционной мощности.

Литература

1. Коробчук, М. В. Обзор современных вибрационных смесителей сыпучих материалов и тенденции их развития / М. В. Коробчук, А. Н. Веригин // Южно-Сибирский научный вестник. – 2020. – № 4 (32). – С. 32–45.
2. Локтионова, О. Г. Математическое моделирование вибрационных машин для переработки сыпучих материалов / О. Г. Локтионова, С. Ф. Яцун, Л. В. Лукин // Известия Курского государственного технического университета. – 1997. – № 1. – С. 11–20.
3. Попов, И. П. Диссипативная, реактивная и полная мощности виброприводов машин / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 3 (5). – С. 72–74.

4. Попов, И. П. Исследование вынужденных колебаний механических систем. Часть 1 / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 4 (6). – С. 21–25.

5. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.

6. Попов, И. П. Применение искусственной массы для балансировки механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2021. – № 1 (11). – С. 19–21.

7. Павлов, В. Д. Математические модели резонансных и антирезонансных процессов. – DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-17-27 // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 1 (49). – С. 17–27.

8. Попов, И. П. Производительная мощность при сортировке сыпучих материалов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 1 (7). – С. 70–72.

9. Popov, I. P. Free harmonic oscillations in systems with homogeneous elements / I. P. Popov. – DOI 10.1016/j.jappmathmech.2012.09.005 // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2012. – Vol. 76, Iss. 4. – P. 393–395.

10. Попов, И. П. Построение вибрационных сортировальных машин по схеме мультиинертного ос-

циллятора / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 3 (9). – С. 14–17.

11. Попов, И. П. Инертная колебательная система из двух грузов для вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государствен-

ного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 2 (8). – С. 10–12.

12. Попов, И. П. Использование инертного триплетного маятника в вибрационных сортировальных машинах / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2020. – № 3 (9). – С. 11–13.

I.P. Popov

Kurgan State University

MECHANICAL REACTIVE INERTIAL POWER IN MECHANICAL SYSTEMS

The article discusses the mechanical reactive power that can occur in machines, the working bodies of which perform harmonic oscillations. The method of calculation and an example of determining the values of reactive power in a mechanical system are presented. It has been established that when solving problems associated with increasing the energy efficiency of machines, it is necessary to take into account all components of their power, including mechanical reactive inertial power.

Massive, oscillations, inertial power, reactive power, drive.