

УДК 531.8

**АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕОРИИ РАБОТЫ
«РАЗНЕСЕННЫХ» МАХОВИКОВ**

Виктор Владимирович Кобзев¹

студент

kobzonv@yandex.ru

Владимир Юрьевич Ланцев¹

доктор технических наук, доцент

Lan-vladimir@yandex.ru

Михаил Андреевич Рязанов²

студент

mikheyev@mgau.ru

¹Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

²Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина

г. Тамбов, Россия

Аннотация. В работе представлены принципы работы маховичного накопителя, который основан на сообщении маховику кинетической энергии от некоторого источника, а затем использование энергии вращающегося маховика на привод исполнительного механизма. Рассмотрены некоторые теоретические моменты работы маховичных систем, а также значение кинетической энергии маховика в зависимости от угловой скорости.

Ключевые слова: рекуперация энергии, накопление энергии, маховик, кинетическая энергия, разнесенные маховики.

Оборудование с использованием маховичных технологий известно давно. Однако они мало распространены и маховики используются в основном в тех случаях, когда требуется выравнивание частоты вращения приводов при небольшом колебании нагрузки и создания некоторого инерционного момента при выполнении кратковременной работы с большим усилием.

Применение маховичных технологий в механизмах общего назначения практически не наблюдается. Использование маховиков актуально в механизмах имеющих определенную цикличность или периодичность в работе. Принцип работы механизмов с использованием маховиков заключается в накоплении энергии в маховике от электродвигателя меньшей мощности, необходимой для работы механизма, а затем использование «заряженного» маховика как источник энергии.

Все выше сказанное подтверждает актуальность исследований, которые дадут рекомендации, обеспечивающие надлежащую работоспособность технических решений.

Использование маховиков для накопления энергии в случае переменной во времени нагрузки для уменьшения необходимой мощности привода было экономически невыгодно. Известно, что потребляемая энергия в момент запуска электродвигателя в несколько раз превышает потребляемую энергию при работе при номинальных оборотах [4]. Требуется длительный разгон и соответственно длительное время запуска электродвигателя.

Решением данной проблемы является применение частотно-регулируемого электропривода. Данное устройство позволяет плавно изменять номинальную частоту вращения электродвигателя, тем самым разгон маховика может осуществляться в «номинальном» режиме работы электродвигателя [2, 3].

Как правило, частотные преобразователи настраиваются таким образом, чтобы электродвигатель выдавал постоянный крутящий момент.

Принцип работы маховичного накопителя основан на сообщении маховику кинетической энергии от некоторого источника, а затем

использование энергии вращающегося маховика на привод исполнительного механизма. Особенностью использования приводных систем с маховичным накопителем является то, что мощность привода источника может быть меньше мощности развиваемой маховиком при отдаче энергии при периодическом режиме работы.

Рассмотрим некоторые теоретические моменты работы маховичных систем.

Значение кинетической энергии маховика в зависимости от угловой скорости в относительных единицах представлено на графике (рисунок 1). Данная зависимость имеет квадратичный характер.

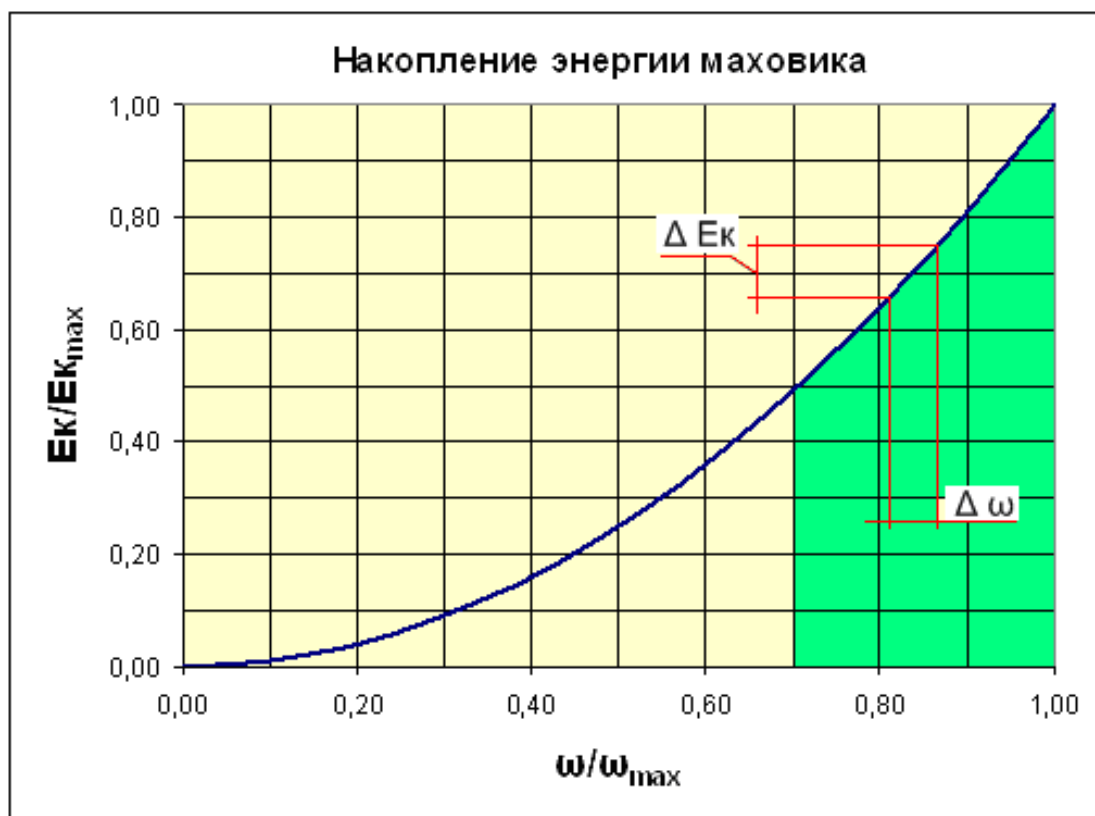


Рисунок 1 – Накопление энергии

Из графика видно, что наибольшая скорость изменения кинетической энергии при накоплении при $\omega/\omega_{max} \rightarrow 1$. При этом, 50 % энергии маховик накапливает примерно за 30 % от общего времени разгона.

Аналогичная картина получается и при работе маховика (отдаче энергии). Таким образом, из данного графика видно, рационально использовать работу маховика в диапазоне угловых скоростей $(0,7 \dots 1,0)\omega_{max}$.

Теоретически работу маховика можно описать уравнением [1, 2, 3]:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = \sum M, \quad (1)$$

где $\frac{d\omega}{dt}$ - угловое ускорение маховика, c^{-2} ; $\sum M = M_{дв} + M_{тА}$ - суммарный момент, действующий на маховик; $M_{дв}$ - момент, развиваемый электродвигателем; $M_{тА}$ - момент сопротивления.

Разгон маховика, как отмечалось ранее, предусматриваем при постоянном моменте электродвигателя, обеспечение которого возможно при использовании инвертора.

Таким образом, при постоянном моменте электродвигателя, сообщаемом маховику во время разгона, угловая скорость будет меняться по закону

$$\omega(t) = \frac{\sum M}{J} t, \quad (2)$$

т.е. по линейной зависимости.

Зависимость угловой скорости маховика при разгоне в относительных единицах приведена на рисунке 2, где ω/ω_{\max} - отношение значения угловой скорости маховика ω в момент времени t к максимальному значению угловой скорости ω_{\max} при полном времени разгона t_{\max} .

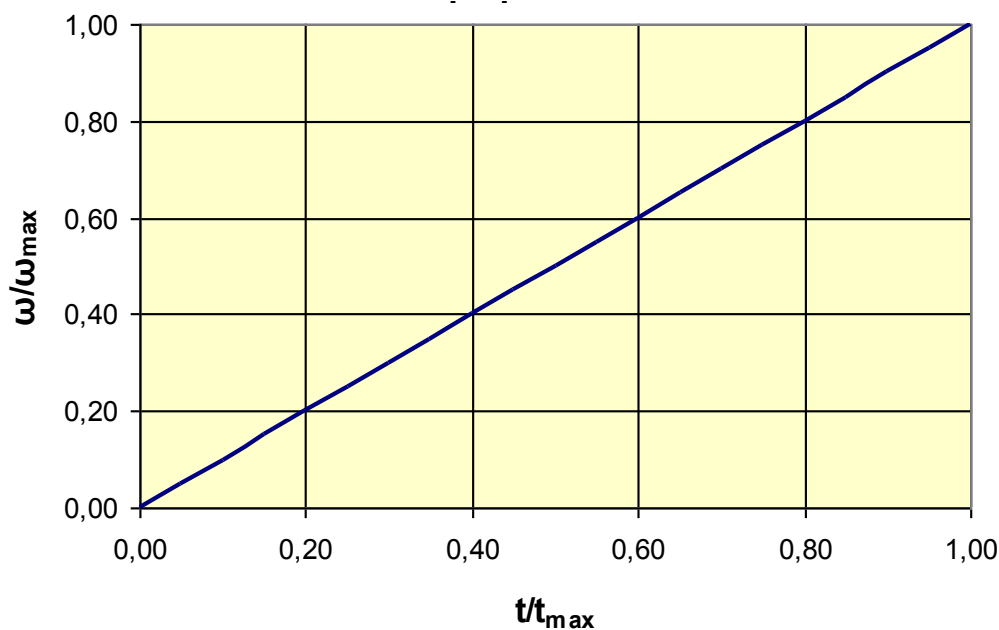


Рисунок 2 – Зависимость угловой скорости маховика при разгоне

Для сокращения времени разгона и повышения эффективности приводной системы разработаны подходы к созданию приводных систем с «разнесенными» маховиками. Данные системы позволяют во время работы одного маховика, осуществлять зарядку другого [1]. Принципиальная схема работы представлена на графике (рисунок 3).

После одновременной зарядки двух маховиков (участок 0-1) в работу включается один из них. После отдачи работающим маховиком энергии (участок 1-2), привод переключается на второй заряженный маховик. При этом, во время работы второго маховика (участок 3-5) первый маховик заряжается (участок 2-4).

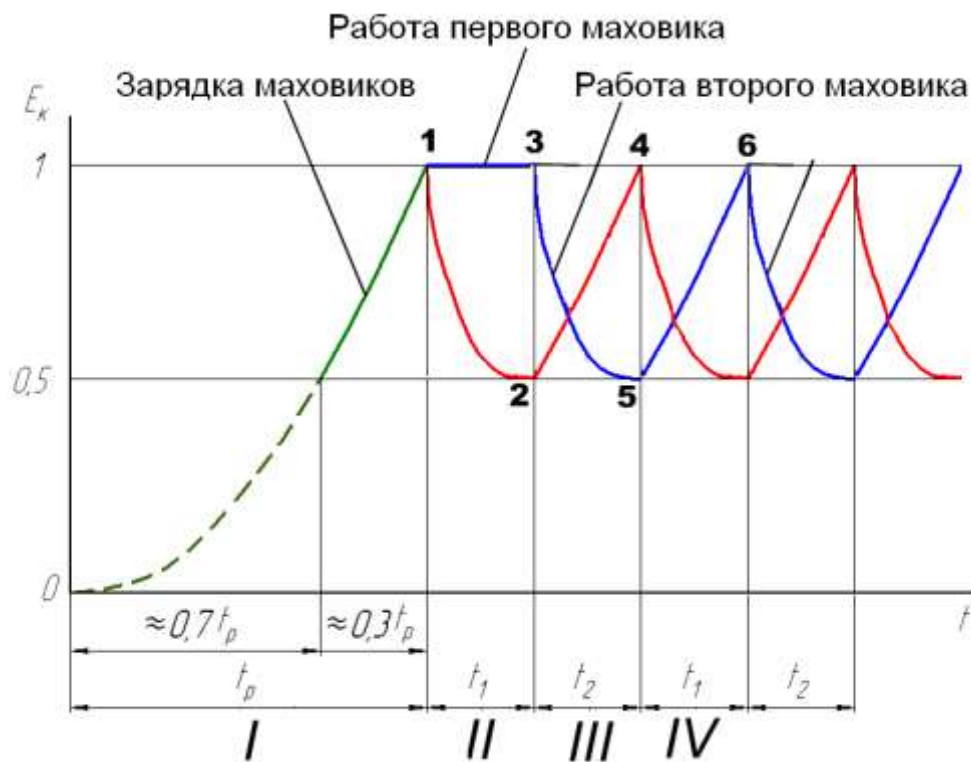


Рисунок 3 – Принцип работы разнесенных маховиков

Существующие конструкции маховичных накопителей (инерционных аккумуляторов), имеют один маховик, «заряжаемый» энергией от внешнего источника. Накопление энергии происходит в период отключения исполнительного механизма от маховика. Маховичный накопитель с разнесенными маховиками позволяет производить постоянную подзарядку одного неработающего маховика.

Список литературы:

1. Баркова, А.А. Маховик как накопитель и аккумулятор энергии // В сборнике: Высокие технологии и инновации в науке. Сборник избранных статей Международной научной конференции, 2020. С. 114-117.
2. Гулиа Н.В. Удивительная механика: В поисках «энергетической капсулы». М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. - 176 с.
3. Кучев Д.Н., Новиков Д.С. Маховик // Молодежная наука в развитии регионов, 2017. Т. 1. С. 276-279.
4. Современные сеялки точного высева как интеллектуальные мехатронные системы / А.А. Завражнов, В.Ю. Ланцев, Б.С. Мишин, И.А. Елизаров, Н.И. Крецу // В сборнике: Цифровизация агропромышленного комплекса. Сборник научных статей II международной научно-практической конференции в 2-х т.. 2020. С. 401-407.

UDC 531.8

ANALYSIS OF RESEARCH ON THE THEORY OF WORKING OF "SEPARATED" FLYWHEELS

Viktor V. Kobzev¹

student

kobzonv@yandex.ru

Vladimir Yu. Lantsev¹

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

Lan-vladimir@yandex.ru

Mikhail A. Ryazanov²

student

mikheyev@mgau.ru

¹Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. The paper presents the principles of operation of the flywheel drive, which is based on the communication of kinetic energy to the flywheel from a certain source, and then the use of the energy of the rotating flywheel to drive the actuator. Some theoretical aspects of the operation of flywheel systems, as well as the value of the kinetic energy of the flywheel depending on the angular velocity, are considered.

Key words: energy recovery, energy storage, flywheel, kinetic energy, spaced flywheels.

Статья поступила в редакцию 29.03.2022; одобрена после рецензирования 11.04.2022; принята к публикации 12.05.2022.

The article was submitted 29.03.2022; approved after reviewing 11.04.2022; accepted for publication 12.05.2022.