

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Маринова С.В. Алгоритм анализа данных для моделирования графика нагрузки электропотребления промышленного предприятия с целью снижения размера оплаты электроэнергии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2025. № 3 (27). С. 36–47.

**DATA ANALYSIS ALGORITHM FOR GRAPH MODELING
ELECTRICITY CONSUMPTION OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE
WITH THE AIM OF REDUCING ELECTRICITY COSTS*****S.V. Marinova****Tver State Technical University (Tver)*

Abstract. The article notes that shifting some of the industrial enterprise's electricity consumption from hours of maximum and peak load to other time ranges can provide economic benefits by leveling the load schedule. It emphasizes that redistributing energy consumption to level the schedule not only reduces the costs of industrial enterprises for production, but also allows electricity providers to optimize the generation and transportation of energy resources.

Keywords: energy efficiency, forecasting, modeling of consumption, energy consumption, electrical load graph.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

MARINOVA Svetlana Vasilevna – Senior Lecturer of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: tgtu_kafedra_ese@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Marinova S.V. Data analysis algorithm for graph modeling electricity consumption of an industrial enterprise with the aim of reducing electricity costs // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 36–47.

УДК 531.652**ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ АККУМУЛЯТОР*****В.Д. Павлов****Владимирский электромеханический завод (г. Владимир)*

© Павлов В.Д., 2025

Аннотация. В статье отмечено, что кратковременные пиковые нагрузки машин и механизмов создают необходимость в аккумулировании механической энергии для ее последующего импульсного использования. Это вполне актуально, например, для

аэродромных тягачей на стартовом этапе буксировки тяжелых самолетов. Применение аккумулятора механической энергии позволит уменьшить мощность двигателя тягача. Аккумулятор механической энергии может быть выполнен в виде электрической машины постоянного тока или вентильной, на валу которой закреплен супермаховик. При подключении электрической машины к источнику питания возникает нестационарный процесс, описываемый двумя дифференциальными уравнениями: одним – для механических величин, другим – для электрических. Аккумулятор механической энергии можно трактовать как искусственный электрический конденсатор, который запасает и отдает не энергию электрического поля, а кинетическую энергию вращения супермаховика.

Ключевые слова: тягач, нагрузка, буксировка, прицеп, аккумулятор, энергия, электрическая машина.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-47-53

ВВЕДЕНИЕ

Накопители кинетической энергии широко применяются в области техники. В первую очередь это маховики и супермаховики. Известны успешные проекты реализации последних даже в легковых автомобилях для утилизации энергии торможения и использования ее в целях последующего ускорения. Основная проблема подобного применения заключается в сложности и громоздкости устройств для трансформации и передачи механической энергии. Предлагаемое техническое решение лишено этих недостатков. Его использование оправдано в машинах с неравномерной нагрузкой (например, в тракторах и тягачах) [1–3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Аккумулятор механической энергии может быть выполнен в виде электрической машины постоянного тока или вентильной, на валу которой закреплен супермаховик.

Когда машина подключается к источнику питания, возникает нестационарный процесс, описываемый следующими выражениями [4–6]:

$$\begin{cases} J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + k \frac{d\varphi}{dt} = B2lw \frac{D}{2} i; \\ B2lw \frac{D}{2} \frac{d\varphi}{dt} + Ri = U, \end{cases}$$

где J – момент инерции супермаховика в совокупности с собственным моментом инерции электрической машины; φ – угловое положение ротора; k – коэффициент вязкого трения; B – значение магнитной индукции [7, 8]; $2l$ – рабочая длина витка якорной обмотки; w – число витков якорной обмотки; D – диаметр якоря; R – активное сопротивление электрической цепи; U – напряжение источника питания.

Для компактности вводится обозначение

$$B2lwD = Y. \quad (1)$$

Очевидные начальные условия следующие:

$$\varphi(0) = \varphi_0; \quad \frac{d\varphi}{dt}(0) = \omega_0. \quad (2)$$

Из второго выражения системы уравнений вытекает, что

$$\begin{aligned}\frac{d\varphi}{dt} &= -\frac{R}{Y}i + \frac{U}{Y}; \\ \frac{d^2\varphi}{dt^2} &= -\frac{R}{Y}\frac{di}{dt}.\end{aligned}\quad (3)$$

При подстановке в первое выражение системы уравнений получаем:

$$\begin{aligned}-\frac{JR}{Y}\frac{di}{dt} - \frac{kR}{Y}i + \frac{kU}{Y} &= Yi; \\ \frac{di}{dt} + \left(\frac{Y^2}{JR} + \frac{k}{J}\right)i &= \frac{k}{J}\frac{U}{R}.\end{aligned}$$

Для компактности вводятся обозначения:

$$\begin{aligned}\frac{Y^2}{JR} + \frac{k}{J} &= A; \\ \frac{k}{J}\frac{U}{R} &= B.\end{aligned}$$

В соответствии с этим

$$\frac{di}{dt} + Ai = B. \quad (4)$$

Общее решение этого уравнения имеет вид

$$i_1 = C_1 e^{-At}.$$

Частное решение – $i_2 = C_2$.

Из этого в сочетании с выражением (4) следует:

$$0 + AC_2 = B; \quad C_2 = \frac{B}{A}.$$

Ток в цепи имеет вид

$$i = i_1 + i_2 = C_1 e^{-At} + \frac{B}{A}. \quad (5)$$

Если иметь в виду выражения (2) и (3), то

$$i(0) = \frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R}.$$

Из этого в сочетании с выражением (5) следует, что

$$\begin{aligned}C_1 &= \frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R} - \frac{B}{A}; \\ i &= \left(\frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R} - \frac{B}{A}\right)e^{-At} + \frac{B}{A}; \\ i &= \left(\frac{U - Y\omega_0}{R} - \frac{U}{Y^2/k + R}\right)e^{-t/\tau} + \frac{U}{Y^2/k + R} = \\ &= \left(\frac{U - E_0}{R} - \frac{U}{R_k + R}\right)e^{-t/\tau} + \frac{U}{R_k + R}.\end{aligned}\quad (6)$$

Здесь $E_0 = Y\omega_0$.

$$\begin{aligned}\frac{1}{\tau} &= \frac{1}{R} \frac{1}{J/Y^2} + \frac{1}{J/k} = \frac{1}{R} \frac{1}{J/Y^2} + \frac{1}{(J/Y^2)(Y^2/k)} = \\ &= \frac{1}{RC_J} + \frac{1}{R_k C_J} = \frac{1}{\tau_e} + \frac{1}{\tau_m}.\end{aligned}\quad (7)$$

Если $k = 0$, $R_k = \infty$, то

$$i = \frac{U - E_0}{R} e^{-t/\tau}; \quad (8)$$

$$\tau = \frac{RJ}{Y^2} = RC_J. \quad (9)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выражения (8), (9) повторяют соотношения для зарядки электрического конденсатора.

Если соединить между собой концы якорной обмотки, то $i = \frac{-E_0}{R} e^{-t/\tau}$. Это выражение повторяет соотношение для разрядки электрического конденсатора.

Из формул (6)–(9) следует, что для электрической цепи рассматриваемый аккумулятор механической энергии неотличим от электрического конденсатора.

Таким образом, в данном случае можно вести речь об искусственной электрической емкости [9, 10], которая выглядит как $C_J = \frac{J}{Y^2}$.

Кроме того, возникает искусственное электрическое сопротивление (которое не связано с удельным сопротивлением, длиной и площадью сечения проводников) $R_k = \frac{Y^2}{k}$.

Аккумулятор механической энергии накапливает энергию

$$W = \frac{C_J U^2}{2} = \frac{JU^2}{2Y^2} = \frac{J\omega^2}{2}.$$

Эквивалентная электрическая схема аккумулятора механической энергии представлена на рис. 1.

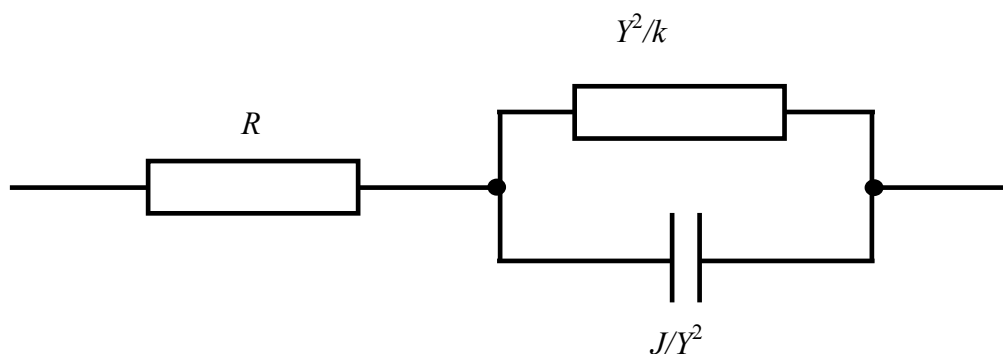


Рис. 1. Электрическая схема аккумулятора механической энергии

На рис. 2 показан график тока зарядки/разрядки искусственной электрической емкости.

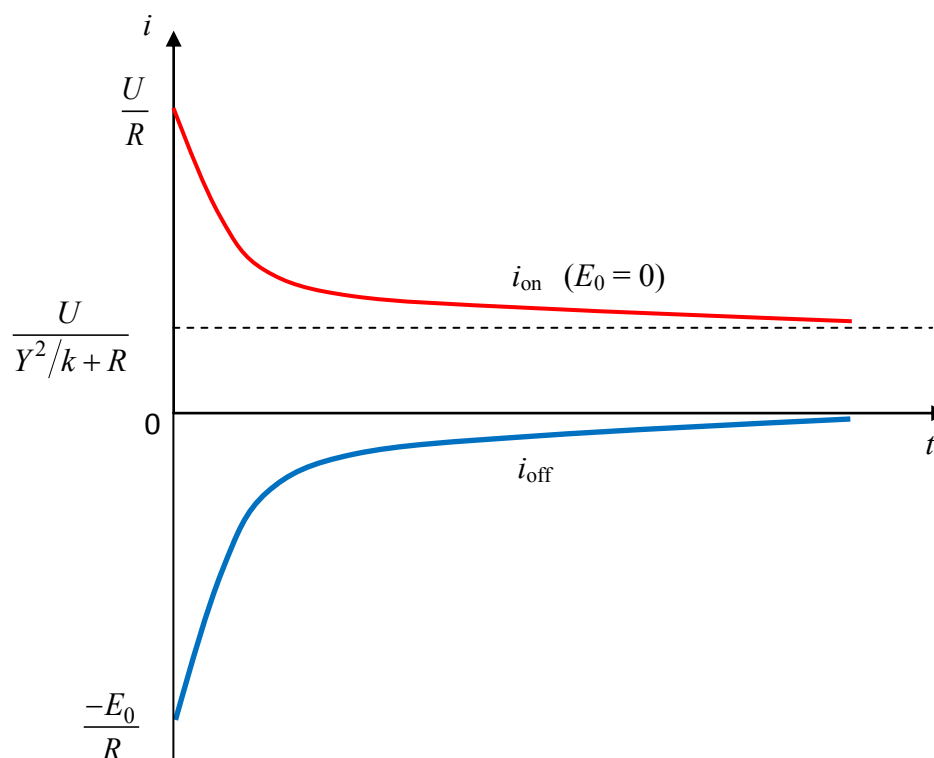


Рис. 2. Характер тока при зарядке и разрядке искусственной электрической емкости

В связи с изложенным аккумулятор механической энергии можно трактовать как искусственный электрический конденсатор, который запасает не энергию электрического поля, а кинетическую энергию вращения супермаховика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Есть конструкции супермаховиков, способные запастись существенный объем кинетической энергии. Изучалась даже возможность их установки на легковом транспорте. В этом смысле массивные тягачи имеют бесспорное преимущество, поскольку увеличение веса для них не только не проблематично, но и желательно в некоторых случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.Д. Решение задачи трогания многозвенного транспортного средства методами теоретической механики // *Вестник НФ БГТУ: мехмат.* 2022. Т. 2. № 4 (08). С. 4–14. DOI: 10.51639/2713-0657_2022_2_4_4
2. Павлов В.Д. Начальная динамика тягача с массивными буксируемыми объектами // *Справочник. Инженерный журнал с приложением.* 2023. № 4. С. 31–37. DOI: 10.14489/hb.2023.04.pp.031-037

3. Павлов В.Д.. Тягово-цепное устройство для преодоления силы трения покоя // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2023. № 2. С. 51–57. DOI: 10.36652/0202-3350-2023-24-2-51-57
4. Павлов В.Д. Немеханический момент инерции в системе ориентирования космического аппарата // *Прикладная физика и математика*. 2022. № 3. С. 3–5. DOI: 10.25791/pfim.03.2022.1227
5. Павлов В.Д. Маховик с электромагнитным моментом инерции // *Справочник. Инженерный журнал с приложением*. 2022. № 9 (306). С. 53–55. DOI: 10.14489/hb.2022.09.pp.053-055
6. Попов И.П. Электромеханический маховик с искусственным (емкостным) моментом инерции // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2021. № 1 (9). С. 58–63. DOI: 10.46573/2658-7459-2021-1-58-63
7. Павлов В.Д. Магнитный поток и его квантование // *Известия Уфимского научного центра РАН*. 2020. № 4. С. 25–28. DOI: 10.31040/2222-8349-2020-0-4-25-28
8. Павлов В.Д. Интерпретация результатов измерения кванта магнитного потока // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 1 (25). С. 61–67. DOI: 10.46573/2658-7459-2025-1-61-67
9. Павлов В.Д. Управляемая искусственная упругость в мехатронных системах // *Автоматизированные технологии и производства*. 2022. № 1 (25). С. 20–22.
10. Попов И.П. Приоритет электродинамики над механикой на примере второго закона Ньютона // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2024. № 3 (23). С. 62–69. DOI: 10.46573/2658-7459-2024-3-62-69

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ПАВЛОВ Валентин Дмитриевич – кандидат технических наук, начальник научно-информационного отдела, Владимирский электромеханический завод, 600901, Россия, г. Владимир, ул. Ноябрьская, д. 127. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Павлов В.Д. Электромеханический аккумулятор // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2025. № 3 (27). С. 47–53.

ELECTROMECHANICAL BATTERY

V.D. Pavlov

Vladimir Electromechanical Plant (Vladimir)

Abstract. The article notes that short-term peak loads on machines and mechanisms create the need to accumulate mechanical energy for subsequent impulse use. This is quite relevant, for example, for airfield tractors at the starting stage of towing heavy aircraft. The use of a mechanical energy accumulator will reduce the power of the tractor engine. The mechanical

energy accumulator can be made in the form of a direct current or valve electric machine, on the shaft of which a super flywheel is fixed. When connecting an electric machine to a power source, a non-stationary process occurs, described by two differential equations: one for mechanical quantities, the other for electrical ones. The mechanical energy accumulator can be interpreted as an artificial electric capacitor that stores and gives off not the energy of the electric field, but the kinetic energy of the super flywheel rotation.

Keywords: tractor, load, towing, trailer, battery, energy, electric machine.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

PAVLOV Valentin Dmitrievich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific and Information Department, Vladimir Electromechanical Plant, 127, Noyabrskaya street, Vladimir, 600901, Russia. E-mail: pavlov.val.75@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Pavlov V.D. Electromechanical battery // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2025. No. 3 (27), pp. 47–53.

УДК 537.611

СВОЙСТВА МАГНИТНЫХ МОНОПОЛЕЙ И СИЛОВЫЕ ЛИНИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

И.П. Попов

Курганский государственный университет (г. Курган)

© Попов И.П., 2025

Аннотация. В статье изложено дополнение к ранее установленному факту, что магнитные заряды $\mu = q\mathbf{v}$, $\mu_e = -e\mathbf{v}$, $d\mu = Id\mathbf{l}$ создают потенциальное сферическое магнитное поле, которое удовлетворяет теореме Гаусса. Указано, что силовые линии магнитного поля исключительно радиальные, т.е. начинаются на одном магнитном заряде и заканчиваются на другом. Между соосными магнитными зарядами $\mu = q\mathbf{v}$, $\mu_e = -e\mathbf{v}$, $d\mu = Id\mathbf{l}$ действуют силы, как и между параллельными. Отмечено, что теория магнитных монополей и зарядов лучше удовлетворяет экспериментальным данным, чем классическая электродинамика. Это касается осевого взаимодействия и третьего закона Ньютона.

Ключевые слова: магнитный монополь, магнитный заряд, магнитное поле, силовые линии, дивергенция, электродинамика, осевое взаимодействие.

DOI: 10.46573/2658-7459-2025-3-53-60

ВВЕДЕНИЕ

Представление магнитных монополей Дирака, Хофта – Полякова, Уруцкоева и других не вызывает сомнения.

Представление магнитных монополей в виде [1]

$$\mu = q\mathbf{v}; \quad (1)$$