

МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (УКРАЇНА)
ГУМАНІСТИЧНО-ПРИРОДНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. ЯНА ДЛУГОША
В МІСТІ ЧЕНСТОХОВІ (ПОЛЬЩА)

ISSN (print) 2617-0833
ISSN (online) 2617-0841

Міжнародний науковий журнал
«ОСВІТА І НАУКА»

ПРИРОДНИЧІ ТА ТЕХНІЧНІ НАУКИ
ГУМАНІТАРНІ ТА СУСПІЛЬНІ НАУКИ
ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

Виходить два рази на рік

Випуск 2(33) 2022

МУКАЧЕВО-ЧЕНСТОХОВА

**Міжнародний науковий журнал
«ОСВІТА І НАУКА»**

Заснований у 2006 році. Виходить двічі на рік.

Співзасновники та видавці журналу

*Мукачівський державний університет (Україна)
Гуманістично-природничий університет ім. Яна
Длугоша в місті Ченстохові (Польща)*

*У 2018 році перереєстрований, Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу
масової інформації КВ №23077-12917ПП*

*Рекомендовано до друку та поширення через мережу Інтернет
Науково-технічною радою (Протокол №10 від 19.12.2022 р.)*

Головний редактор:

Щербан Тетяна Дмитрівна – доктор психологічних наук, професор, Заслужений працівник освіти України (Мукачево, Україна)

Заступники головного редактора:

Jerzy Piwowarski – Dr. hab., Prof. AJD (Ченстохова, Польща)

Гоблик Володимир Васильович – доктор економічних наук, професор (Мукачево, Україна)

Відповідальний секретар: *Мовчан Катерина Миколаївна* (Мукачево, Україна)

СКЛАД РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Розділ "Природничі та технічні науки"

Відповідальний редактор: *Козарь Оксана Петрівна* – доктор технічних наук, професор (Мукачево, Україна)

Члени редакційної колегії:

Злотенко Б.М. – д-р т. н., професор (Київ, Україна)

Блецкан Д.І. – д-р фіз.-мат. н., професор (Ужгород, Україна)

Boguslaw Wozniak – Dr. Eng., Prof. (Лодзь, Польща)

Шаблій О. І. – д-р геогр. н., професор (Львів, Україна)

Yuriy Povstenko – Prof. Dr. hab. (Ченстохова, Польща)

Ravol Lizak – Prof. Ing, PhD (Ружонберог, Словацька Республіка)

Кабацій В.М. – к. фіз.-мат. н., доцент (Мукачево, Україна)

Ігнатишин М.І. – к. т. н., доцент (Мукачево, Україна)

Смочко Н.М. – д-р. геогр. н, доцент (Мукачево, Україна)

Розділ "Гуманітарні та суспільні науки"

Відповідальний редактор: *Теличко Наталія Вікторівна* – доктор педагогічних наук, професор (Мукачево, Україна)

Члени редакційної колегії:

Попович Н.М. – д-р пед. н., професор (Мукачево, Україна)

Шандор Ф.Ф. – д-р філос. н., професор (Ужгород, Україна)

Оросова Рената – д-р філософії (Словацька Республіка)

Саболч Єва – д-р філософії, професор (Угорщина)

Beata Urbanowicz – Prof. hab. Dr., професор (Ченстохова, Польща)
Marzena Bogus – Dr. (Ченстохов, Польща)
Daniela Kukla – Dr., Prof. (Ченстохова, Польща)
Maryla Renat – Dr. (Ченстохова, Польща)
Максименко С.Д. – д-р психол. н, професор (Київ, Україна)
Ямчук Т.Ю. – к. психол. н. (Мукачево, Україна)
Швардак М.В. – д-р. пед. н., доцент (Мукачево, Україна)
Прокопович Л.С. – к. філол. н., доцент (Мукачево, Україна)
Малець О.О. – д-р і.н., доцент (Мукачево, Україна)
Морська Л.І. – д-р пед. н., професор (Львів, Україна)

Розділ "Економічні науки"

Відповідальний редактор: *Реслер Марина Василівна* – доктор економічних наук, професор (Мукачево, Україна)

Члени редакційної колегії:

Пап В. В. – д-р екон. н., професор (Мукачево, Україна)
Боднар М.І. – д-р екон. н., професор (Київ, Україна)
Задорожний Зеновій-Михайло В. – д-р екон. н., професор (Тернопіль, Україна)
Куцик П.О. – к. екон. н., професор (Львів, Україна)
Maia Margvelashvili – PhD. prof. (Тбілісі, Грузія)
Peter Šoltés – PhD. doc. Senior research fellow (Братіслава, Словачька Республіка)
Gozora V.A. – PhD. Prof. (Братіслава, Словачька Республіка)
Jan Hron – Prof. Ing, DrSc. dr. h.c. (Прага, Чеська Республіка)
Teresa Martyniuk – PhD. Prof. (Сопот, Польська Республіка)
Robert Magda – PhD. Prof. (Геделле, Угорська Республіка)
Ровт Алекс – к. екон.н. (США)
Пітюлич М.І. – д-р екон. н., професор (Ужгород, Україна)
Дем'ян Я.Ю. – к. екон. н., доцент (Мукачево, Україна)
Лизанець А.Г. – к. екон. н., доцент (Мукачево, Україна)
Лінтур І.В. – к. екон. н., доцент (Мукачево, Україна)

М 58

Міжнародний науковий журнал «ОСВІТА І НАУКА» / ред. кол.: Т.Д. Щербан (гол.ред.); заст. гол. ред.: Jerzy Piwowski; В.В. Гоблик. – Мукачево-Ченстохова: РВВ МДУ; Гуманістично-природничий університет ім. Яна Длугоша в місті Ченстохові, 2022. – Вип. 2(33). – 340с.

УДК 37:001(051)-027.543-028.42"540*6"

Міжнародний науковий журнал «ОСВІТА І НАУКА» зареєстровано та проіндексовано в таких міжнародних наукометричних базах даних: *Index Copernicus (ICV 2021 = 80,1)*, *ResearchBib*, *SJIF/Inno-Space (Марокко)*, *CiteFactor*, *Infobase Index (Індія)*, *DRJI (Індія)*, *Turkish Education Index*, *Global Impact Factor*, *Eurasian Scientific Journal Index*, зареєстрований в *Google Scholar*.

©Мукачівський державний університет, 2022
© Гуманістично-природничий університет ім. Яна Длугоша в місті Ченстохові (Польща), 2022

УДК 539.43:620.17(045)

**РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ПРИ РОЗРАХУНКУ КІНЕТИЧНИХ
АКУМУЛЯТОРІВ ЕНЕРГІЇ**

Ігнатишин М.І., Михайлишин М.С., Туряниця І. І.

**RESOURCE SAVING WHEN CALCULATING KINETIC ENERGY
ACCUMULATORS**

Ihnatyshyn Mykola, Mykhailyshyn Mykhailo, Turianytsia Ivan

Розглянуто розрахунок оптимальної форми перерізу кінетичного акумулятора енергії, що дозволяють охопити найбільш широке коло споживачів автономних електростанцій. Вказується на актуальність питань, пов'язаних з акумулюванням та зберіганням енергії в екологічному аспекті. Як один з варіантів, перспективними розглядаються акумулятори кінетичної енергії (маховики).

Ключові слова: акумулятор кінетичної енергії, маховик.

Questions related to the accumulation of energy, storage and increase in its density are quite relevant from the point of view of ecology, since the accumulated energy is necessary in almost any machine and system where energy consumption and transformation takes place. Accumulated energy is much cheaper, and its use is environmentally safe. The calculation of the optimal shape of the cross-section of the kinetic energy accumulator, which allows covering the widest range of consumers of autonomous power plants, is considered. The relevance of issues related to the accumulation and storage of energy in the ecological aspect is indicated. As one of the options, kinetic energy accumulators (flywheels) are considered promising.

Keywords: kinetic energy accumulator, flywheel.

Перспективність використання акумуляторів кінетичної енергії (маховиків) в екологічному аспекті розглядалась в [1-3]. В цих роботах було показано, що використання нових конструкційних матеріалів (волокнистих композитів) в конструкціях роторів маховиків суттєво підвищить їх питомі енергетичні характеристики, а це, в свою чергу, зробить їх використання з метою акумулювання та зберігання енергії перспективним.

Маховичний накопичувач енергії – механічної енергії, в якому енергія накопичується і зберігається у вигляді маховика, що обертається, або його перспективного виконання – супермаховика, а виділяється у вигляді механічної енергії обертання. Таким чином, зберігається вид енергії без її перетворення, що є невід'ємною вимогою до накопичувачів енергії.

Найчастіше маховичний накопичувач енергії поєднується із пристроями перетворення виду енергії – гідравлічними, пневматичними, електричними

машинами, утворюючи систему накопичення енергії. Найбільшого поширення набули системи накопичення енергії з електричними оборотними машинами (двигун – генератор). Для зарядки маховичного накопичувача енергії електрична машина працює в режимі двигуна, споживає електричну енергію від зовнішнього джерела і розганяє маховик (супермаховик), а при розрядці електрична машина працює вже в режимі генератора, виділяючи електричну енергію, при цьому уповільнюючи маховик (супермаховик).

Маховичний накопичувач енергії на основі супермаховика має один з найвищих питомих потужних показників серед існуючих накопичувачів енергії. А при використанні сучасних високоміцних матеріалів, наприклад, графенових стрічок («паперів») найвищим питомих енергетичним показником з усіх накопичувачів.

Питання, пов'язані з накопиченням енергії, зберіганням та збільшенням її щільності, є досить актуальним з точки зору екології, оскільки акумульована енергія необхідна практично в будь-якій машині і системі, де має місце споживання і перетворення енергії. Акумульована енергія значно дешевша, а її використання екологічно безпечно.

Необхідно знайти оптимальну форму перерізу маховика з умови рівнонапруженості в радіальному та коловому напрямках.

Вихідні дані: $R := 1$ - радіус диска, м; $r_0 := 0.1$ - радіус перерізу тора (обода), м; $h_{\min} := 0.1$ - мінімальна товщина диска, м; $\rho := 7800$ - густина матеріалу (сталі), $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $\sigma_{\max} := 140 \cdot 10^6$ - максимально допустиме напруження, Па; $\mu := 0.3$ - коефіцієнт Пуассона.

Результати розрахунків

S_0 - площа перерізу тора, $S_0 := \pi \cdot r_0^2$; $S_0 = 0.031 \text{ м}^2$; V_0 - об'єм тора, $V_0 := 2 \cdot \pi \cdot (R + r_0) \cdot S_0$; $V_0 = 0.217 \text{ м}^3$; m_0 - маса тора, $m_0 := V_0 \cdot \rho$;

$$m_0 = 1.694 \times 10^3 \text{ кг.}$$

Максимальна кутова швидкість маховика [4] з умови міцності (1),

$$\omega_{\max} := \sqrt{\sigma_{\max} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot h_{\min}}{m_0 \cdot \left(1 + \frac{r_0}{R}\right)}}, \omega_{\max} = 217.295 \text{ с}^{-1} \quad (1)$$

або (2).

$$n_{\max} := \frac{30}{\pi} \cdot \omega_{\max}, n_{\max} = 2.075 \times 10^3 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2)$$

Залежність товщини перерізу маховика від відстані до центру при рівності напружень в радіальному та коловому напрямках (3).

$$h(r) := \begin{cases} h_{\min} \cdot e^{\frac{\rho \cdot \omega_{\max}^2}{2 \cdot \sigma_{\max}} \cdot (R^2 - r^2)} & \text{if } -R < \frac{r}{1.015} < R \\ \text{break} & \end{cases} \quad (3)$$

Маховик складається з диска і обода в виді тора кругового перерізу, рис.1.

Обод маховика має форму тора круглого перерізу.

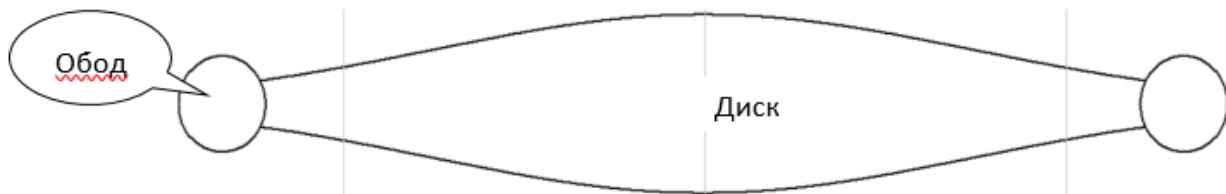


Рис. 1. Ресурсозберігаюча форма перерізу кінетичного акумулятора, маховика.

Переріз тора (4).

$$y_L(r) := \sqrt{r_0^2 - (r - R - r_0)^2}, \quad y_R(r) := \sqrt{r_0^2 - [(r + R) + r_0]^2} \quad (3)$$

$$\text{Об'єм обода } V_{\text{об}} := 2 \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot (R + r_0), \quad V_{\text{об}} = 0.217 \text{ м}^3$$

$$\text{Об'єм маховика } V_{\text{мах}} := 2 \cdot \pi \cdot h_{\min} \cdot \int_0^R e^{\frac{\rho \cdot \omega_{\max}^2}{2 \cdot \sigma_{\max}} \cdot (R^2 - r^2)} \cdot r \, dr, \quad V_{\text{мах}} = 0.651 \text{ м}^3$$

$$\text{Об'єм маховика } V_K := V_{\text{об}} + V_{\text{мах}}, \quad V_K = 0.868 \text{ м}^3$$

$$\text{Момент інерції обода } J_{\text{об}} := \rho \cdot V_{\text{об}} \cdot (R + r_0)^2, \quad J_{\text{об}} = 2.049 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\text{Момент інерції диска } J_{\text{мах}} := 2 \cdot \pi \cdot h_{\text{мін}} \cdot \rho \cdot \int_0^R \frac{\rho \cdot \omega_{\text{мах}}^2}{2 \cdot \sigma_{\text{мах}}} \cdot (R^2 - r^2) \cdot r^3 \text{ dr},$$

$$J_{\text{мах}} = 1.998 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\text{Кінетична енергія маховика } W_K := (J_{\text{об}} + J_{\text{мах}}) \cdot \frac{\omega_{\text{мах}}^2}{2},$$

$$W_K = 9.555 \times 10^7 \text{ Дж}$$

$$\text{Густина кінетичної енергії маховика } \frac{W_K}{V_K} = 1.101 \times 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$$

Для порівняння. Свинцевий акумулятор розміром 17 см×17 см×21 см, ємністю 50 А×год, напругою 12 В, при розряді до 80 % має густину електричної енергії

$$\frac{0.8 \cdot 12 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 60}{0.21 \cdot 0.17 \cdot 0.17} = 2.847 \times 10^8 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}.$$

Бачимо, що густина електричної енергії свинцевого акумулятора більша за густину механічної енергії кінетичного акумулятора в виді маховика, що обертається. Застосування нових матеріалів, наприклад графена, дасть можливість значно підвищити густину енергії кінетичного акумулятора.

Залежність кінетичної енергії маховика від радіуса R, (4)

$$W_K(R) := \left[\rho \cdot V_{\text{об}} \cdot (R + r_0)^2 + 2 \cdot \pi \cdot h_{\text{мін}} \cdot \rho \cdot \int_0^R \frac{\rho \cdot \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h_{\text{мін}}}{m_0 \cdot \left(1 + \frac{r_0}{R} \right)} \right]}{2 \cdot \sigma_{\text{мах}}} \cdot (R^2 - r^2) \cdot r^3 \text{ dr} \right] \cdot \frac{\sigma_{\text{мах}} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot h_{\text{мін}}}{m_0 \cdot \left(1 + \frac{r_0}{R} \right)}}{2} \quad (4)$$

Залежність об'єму маховика від радіуса R, (5)

$$V_K(R) := 2 \cdot \pi^2 \cdot r_0^2 \cdot (R + r_0) + 2 \cdot \pi \cdot h_{\min} \cdot \int_0^R \frac{\rho \cdot \left[\frac{\sigma_{\max} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot h_{\min}}{m_0 \cdot \left(1 + \frac{r_0}{R}\right)}}{2 \cdot \sigma_{\max}} \right] \cdot (R^2 - r^2)}{e} \cdot r \, dr \quad (5)$$

$f(R) := \frac{W_K(R)}{V_K(R)}$ - залежність густини енергії маховика від радіуса, $\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}$, рис.2.

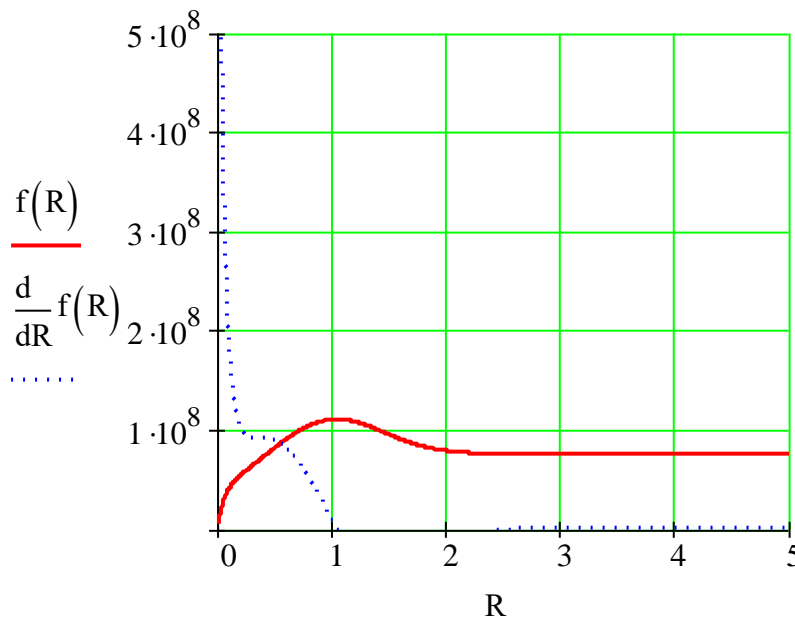


Рис.2. Залежність густини енергії маховика від радіуса.

Максимальна товщина диска $h(0) = 0.373$ м.

Для порівняння кінетичного акумулятора з ресурсозберігаючим профілем розрахуємо параметри кінетичного акумулятора, маховика, в формі циліндра товщина і радіус якого рівні габаритним розмірам профілю, рис. 1. Тобто $h = h(0) = 0.373$ м, $R = R + 2 \cdot r_0 = 1.2$ м.

$$V = \pi \cdot (R + 2 \cdot r_0)^2 \cdot h(0) = 1.686 \text{ м}^3$$

Об'єм маховика з профілем, рис.1 $V_K := V_{\text{об}} + V_{\text{мах}}, \quad V_K = 0.868 \text{ м}^3$.

Економія матеріалу, сталі в даному випадку $\frac{1.686 - 0.868}{1.686} \cdot 100 = 48.517 \%$

Напруження, що виникають в циліндрі товщиною 0,373 м, радіусом 1,2 м при кутовій швидкості $\omega_{\max} = 217.295 \text{ c}^{-1}$ буде

$\sigma_r := \rho \cdot \omega_{\max}^2 \cdot \frac{2 \cdot 3 + \mu}{8} \cdot (R + 2 \cdot r_0)^2$, $\sigma_r = 2.188 \times 10^8$ Па, а максимально допустиме

$\sigma_{\max} = 1.4 \times 10^8$ Па.

Отже, щоб маховик в формі циліндра не розірвало необхідно зменшити його кутову швидкість на 20%.

Запропонована форма перерізу маховика економить 48 % матеріалу, при значному зростанні густини енергії кінетичного акумулятора. Подальше дослідження передбачає збільшення густини енергії кінематичного акумулятора шляхом вибору матеріалу, оптимізації форми, конструкції маховика та окремих деталей.

Список використаних джерел

1. Можаровський М.М. Екологічні перспективи та деякі проблеми використання акумуляторів кінетичної енергії / М.М. Можаровський // Вісник ДААУ. – 1998. – № 2. – С. 55–65.
2. Можаровський М.М. До питання акумулювання та зберігання енергії як одного з варіантів покращання екологічного стану навколишнього середовища / М.М. Можаровський // Вісник ДААУ. – 1999. – № 1–2. – С. 105–117.
3. Sychenko V. Povyshenie energeticheskoy effektivnosti v evolyucioniruyushih sistemah elektrosnabzheniya / V. G. Sychenko [i dr.] // Vestnik Nacionalnogo tehniceskogo universiteta "Harkovskij politehniceskij institut": [sb. nauch. tr.]. – Harkov, 2017. – Vyp. 27 (1249): Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika. Silovaya elektronika i energoeffektivnost: temat. vyp. – S. 177-181.
4. Бабко Є.М. Основи розрахунків конструктивних елементів обладнання: курс лекцій / Є.М. Бабко, М.М. Даценко, І.В. Житнецький. – К.: НУХТ, 2007. – 56 с.

References

1. Mozharovskyi, M.M. 1998. "Ekolohichni perspektyvy ta deiaki problemy vykorystannia akumuliatoriv kinetychnoi enerhii [Environmental perspectives and some problems of using kinetic energy batteries]". *Herald of DAAU* 2: 55–65.
2. Mozharovskyi, M.M. 1999. "Do pytannia akumulivuvannia ta zberihannia enerhii yak odnogo z variantiv pokrashchannia ekolohichnogo stanu navkolyshnogo seredovishcha [On the issue of energy accumulation and storage as one of the options for improving the ecological state of the environment]". *Herald of DAAU* 1–2: 105–117.
3. Sychenko, V. and others. 2017. "Povyshenie energeticheskoy effektivnosti v evolyucioniruyushih sistemah elektrosnabzheniya [Increasing Energy Efficiency in Evolving Power Systems]". *Vestnik Nacionalnogo tehniceskogo universiteta "Harkovskij politehniceskij institut". Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika. Silovaya elektronika i energoeffektivnost* 27(1249): 177-181.



МУКАЧІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

89600, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 26

тел./факс +380-3131-21109

Веб-сайт університету: www.msu.edu.ua

E-mail: info@msu.edu.ua, pr@mail.msu.edu.ua

Веб-сайт Інституційного репозитарію Наукової бібліотеки МДУ: <http://dspace.msu.edu.ua:8080>

Веб-сайт Наукової бібліотеки МДУ: <http://msu.edu.ua/library/>