

МОДЕЛЬ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА З ПОСТІЙНИМ МАГНІТОМ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗАПАСУ ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Аль-Амморі А.Н., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

Іщенко Р.М., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Дехтяр М.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, marinariy14@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5503-1889

MODEL OF A LINE GENERATOR WITH A PERMANENT MAGNET FOR INCREASING OF POWER RESERVE OF ELECTRIC CAR

Al-Ammouri A.N., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

Ishchenko R.M., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Dekhtyar M.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, marinariy14@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5503-1889

Постановка проблеми.

Протягом останнього століття стало зрозуміло, що природні ресурси нашої планети є вичерпними. Крім того, значне погіршення екологічної ситуації призвело до пошуку альтернативних джерел енергії, зокрема, альтернативних видів автомобільного палива. Відповідно, наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення технічних характеристик електромобілів, які в якості палива використовують електричну енергію, на даний час є актуальними. Основними технічними характеристиками електромобілів, які забезпечують їх конкурентоспроможність з автомобілями, є запас ходу (мінімум 300-400 км) і час перезарядки на електрозаправках (менше однієї години) [1, 2]. Зрозуміло, що достатній запас ходу електромобілів може бути досягнутий наявністю акумуляторів великої ємності [3]. Крім того, для підвищення запасу ходу електромобілів розробляються і впроваджуються різні енергозберігаючі та рекуперативні технології, зокрема, системи регенеративного гальмування, амортизатори рекуперації та ін. Однак, під час практичного використання запропонованих систем збору енергії виникають суттєві проблеми, пов'язані зі складністю конструкції вказаних систем та їх установкою на реальному електромобілі. Відповідно, розробка конструкційно простої і водночас ефективної технології збору енергії, зокрема, від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У вітчизняній і закордонній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду різних методів і засобів збільшення запасу ходу електромобілів та автомобілів з комбінованою енергоустановкою. Зокрема, у роботі [4] запропоновано метод підвищення запасу ходу електромобіля шляхом використання ефективного круїз-контролю, який, враховуючи дорожню обстановку, забезпечує рух транспортного засобу з оптимальною швидкістю. Авторами роботи [5] розроблено систему збору енергії від механічних коливань електромобіля, основним елементом якої є однофазний лінійний генератор. Ефективність запропонованої системи перевірено як за допомогою математичного моделювання, так і експериментально. У роботі [6] запропоновано математичну модель електричного амортизатора, в якому розглянуто можливість перетворення кінетичної енергії коливань елемента підвіски електромобіля в електричну. У роботі [7] представлено результати математичного моделювання генераторів лінійного та зворотно-поступального типів з електромагнітним збудженням. Розглянуто переваги та недоліки таких генераторів.

Таким чином, з огляду науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання використання енергії вертикальних механічних коливань електромобіля для збільшення запасу ходу вказаного транспортного засобу недостатньо досліджене, що актуалізує мету представленої роботи.

Формування цілей статті.

Враховуючи вищезазначене, мета статті полягає у розробці моделі лінійного генератора з постійним магнітом, який би відрізнявся простотою конструкції та з достатньою ефективністю перетворював енергію вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Усі транспортні засоби здійснюють вертикальні механічні коливання в процесі свого руху. Згладжування вказаних коливань відбувається завдяки ресорам, пружинам та амортизаторам. Як відомо з курсу загальної фізики, під час переміщення постійного магніту всередині котушки індуктивності, в обмотці котушки виникає електричний струм, який називається індукційним. Розглянуте явище виникнення індукційного струму називається електромагнітною індукцією [8, с. 216]. Саме на явищі електромагнітної індукції базується принцип роботи однофазного лінійного генератора з постійним магнітом.

Таким чином, якщо на елементах задньої пружинної підвіски електромобіля розташувати два таких генератора, відповідно біля правого і лівого амортизаторів, то можна отримувати додаткову електричну енергію від вертикальних механічних коливань електромобіля під час його руху. Оскільки передня підвіска передньопривідного електромобіля більш завантажена, ніж задня, то розташування на її елементах лінійних генераторів не розглядалося. Конструкцію зазначеного генератора представлено на рис. 1.

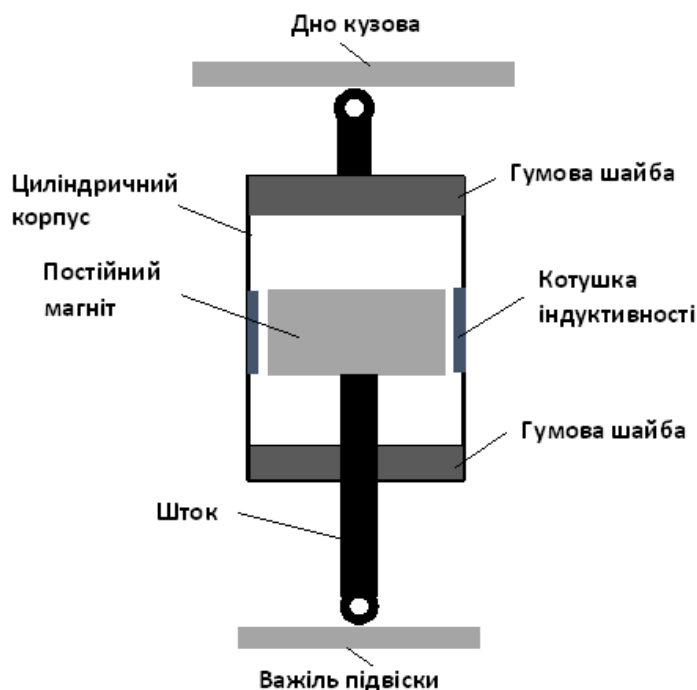


Рисунок 1 – Конструкція лінійного генератора з постійним магнітом
Figure 1 – Design of a line generator with a permanent magnet

Як видно з рис. 1, у циліндричному корпусі закріплено котушку індуктивності, всередині якої може рухатися постійний магніт, приєднаний до штоку. Верхня частина циліндричного корпусу може бути прикріплена до дна кузова електромобіля, а шток з магнітом може бути прикріплений до важеля підвіски електромобіля, зокрема, до нижнього кронштейну амортизатора. Щоб магніт під час коливань не вийшов за межі циліндричного корпусу, у верхній і нижній частинах корпусу встановлено обмежувальні елементи у вигляді гумових прокладок у формі шайб. Отже, під час руху електромобіля магніт і котушка будуть переміщуватися один відносно одного, що призведе до виникнення індукційного струму в котушці. При цьому можна створити послідовний резонансний контур, якщо котушки індуктивності з'єднати між собою послідовно, а до них послідовно приєднати конденсатор. Після цього через випрямляч електричний струм буде проходити до акумулятора.

Для теоретичного розрахунку потужності електричного струму, яку можуть надавати розглянуті лінійні генератори під час руху електромобіля, необхідно підібрати котушку

індуктивності та постійний магніт, які б мали оптимальні параметри, а також визначити частоту коливань постійного магніту всередині котушки.

Враховуючи потребу в котушці великої індуктивності, було вирішено, що котушка буде багатошаровою, оскільки одношарова котушка з необхідними розмірами не могла забезпечити достатнє значення індуктивності. У багатьох програмах для розрахунку індуктивності багатошарової котушки використовується емпірична формула Вілера [9, с. 67]:

$$L = 31,6 \cdot \frac{N^2 \cdot r^2}{6 \cdot r + 9 \cdot l + 10 \cdot c}, \quad (1)$$

де L – індуктивність, мГн;

N – кількість витків котушки;

r – середній радіус обмотки котушки, м;

l – довжина обмотки, м;

c – товщина обмотки, м.

Отже з використанням відповідної програми розрахунку, отримано наступні параметри багатошарової котушки: $L = 10$ мГн; $N = 357$; $r = 44,4$ мм; $l = 50$ мм; $c = 8,8$ мм; кількість шарів обмотки – 8; діаметр каркасу – 80 мм; діаметр котушки – 97,6 мм.

Під час розрахунку параметрів котушки індуктивності в якості обмотки було використано мідний дріт ПЕВ-2-1,0 (ПЕВ – провід емальований високоміцний). Діаметр самого мідного дроту становив 1 мм, товщина емалієвої ізоляції складала 0,1 мм.

В якості магнітного осердя було використано неодимовий ($NdFeB$) постійний магніт (марка матеріалу $N42$) циліндричної форми з осьюою намагніченістю [10]. Враховуючи розміри котушки (а саме – діаметр каркасу і довжину обмотки), було підібрано магніт наступних розмірів: діаметр циліндру – 70 мм, його висота – 50 мм. Залишкова магнітна індукція вказаного магніту становить 1,3 Тл. Однак, таке значення залишкової магнітної індукції може бути отримане лише під час дослідження магнітного матеріалу в замкненому колі. У даній роботі під час розрахунків вважалося, що магнітна індукція вказаного неодимового магніту дорівнює 0,65 Тл, тобто половині від вказаної залишкової магнітної індукції.

Частоту коливань неодимового магніту всередині котушки під час руху електромобіля було визначено з наступних міркувань. Враховуючи, що висота магніту 50 мм, а довжина обмотки котушки індуктивності також 50 мм, магніту достатньо зміщуватися вгору і вниз відносно котушки під час вертикальних коливань на $x = 50$ мм. Тобто, амплітуда коливань магніту дорівнює 50 мм. За час, що дорівнює одному періоду коливань, як відомо з курсу загальної фізики, магніт проходить відстань $4 \cdot x$. Тоді справедлива рівність $4 \cdot x = v \cdot T$, де v – швидкість руху магніту. Враховуючи, що період коливань T обернено пропорційний до частоти коливань f , отримуємо формулу для розрахунку частоти коливань магніту:

$$f = \frac{v}{4 \cdot x}. \quad (2)$$

Було припущено, що швидкість руху магніту всередині котушки дорівнює швидкості руху поршня в гідравлічному амортизаторі (0,25 м/с і 0,5 м/с – використано середнє і максимальне значення) [5, с. 9]. Отже, частота коливань магніту, розрахована за формулою (2), становила 1,25 Гц і 2,5 Гц за умови швидкості руху магніту 0,25 м/с і 0,5 м/с відповідно. Отримані значення частоти коливань магніту всередині котушки знаходяться у межах значень власної частоти коливань підресореної маси легкового автомобіля.

Таким чином, під час коливань магніту всередині котушки індуктивності з відповідною частотою, магнітний потік Φ , що пронизує котушку індуктивності змінюється з часом за гармонічним законом [8, с. 205]:

$$\Phi = B \cdot S_k \cdot N \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0), \quad (3)$$

де B – магнітна індукція ($B = 0,65$ Тл);

S_k – усереднена площа витка котушки індуктивності;

N – кількість витків ($N=357$);

ω – циклічна частота коливань магніту;

φ_0 – початкова фаза коливань.

За законом електромагнітної індукції Фарадея, в котушці індуктивності виникає електрорушійна сила (ЕРС) електромагнітної індукції:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \cdot B \cdot S_k \cdot N \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0). \quad (4)$$

Як видно з формули (4), максимальне значення (амплітуда) ЕРС індукції дорівнює:

$$\varepsilon_0 = \omega \cdot B \cdot S_k \cdot N. \quad (5)$$

Враховуючи, що $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, $S_k = \pi \cdot r^2$, де $r = 44,4$ мм – середній радіус обмотки котушки, максимальне значення ЕРС індукції отримаємо у вигляді:

$$\varepsilon_0 = 2 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot N \cdot B \cdot f. \quad (6)$$

Тоді потужність електричного струму [8, с. 181], що з'являється у колі за рахунок використання вертикальних механічних коливань електромобіля, визначається за формулою:

$$P = \frac{n \cdot \varepsilon_0^2}{2 \cdot R}, \quad (7)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних котушок індуктивності ($n=2$);

R – електричний опір котушки індуктивності:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot N}{\sigma \cdot S}, \quad (8)$$

де $\sigma = 5,96 \cdot 10^7$ См/м – питома електропровідність мідного дроту;

$S = 7,85 \cdot 10^{-7}$ м² – площа поперечного перерізу мідного дроту, діаметр якого 1 мм.

Отже, з врахуванням формул (6) і (8), потужність електричного струму буде дорівнювати:

$$P(f) = n \cdot \pi^3 \cdot r^3 \cdot N \cdot \sigma \cdot S \cdot B^2 \cdot f^2. \quad (9)$$

Як видно зі співвідношення (9), під час розрахунку потужності електричного струму ключовою змінною величиною є частота коливань (f) магніту всередині котушки індуктивності. Інші величини, що входять до співвідношення (9), не змінюються з часом.

У нашій недавній роботі [11, с. 5] було отримано співвідношення для розрахунку потужності електродвигуна електромобіля, що необхідна для його рівномірного руху із заданою швидкістю:

$$P(v) = \frac{1}{\eta_{mp}} \left(m \cdot g \cdot f_k \cdot v + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^3}{2} \right), \quad (10)$$

де η_{mp} – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії електромобіля;

m – маса електромобіля;

g – прискорення вільного падіння;

f_k – коефіцієнт опору коченню;

v – швидкість руху електромобіля;

ρ – густина повітря;

C_x – коефіцієнт опору повітря, що визначається окремо для кожного типу кузова транспортного засобу;

S – лобова площа електромобіля, тобто площа проєкції електромобіля на площину, перпендикулярну до його повздовжньої осі.

Як видно зі співвідношення (10), під час розрахунку потужності електродвигуна електромобіля ключовою змінною величиною є швидкість руху (v) електромобіля. Інші величини, що входять до співвідношення (10), не змінюються з часом. Необхідно відзначити, що перший доданок у співвідношенні (10) описує потужність електродвигуна, що витрачається на подолання сили опору коченню, а другий – на подолання сили опору повітря під час рівномірного руху електромобіля. Розрахунки проводилися для поширеного у нашій країні електромобіля Nissan Leaf [12]. Технічні характеристики вказаного електромобіля та фізичні сталі, що використовувалися під час розрахунку потужності, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf та фізичні сталі
Table 1 – Technical characteristics of the electric car Nissan Leaf and physical constants

Легковий електромобіль Nissan Leaf	
Тип кузова електромобіля	5-дв. хетчбек (5 місць)
Максимальна потужність електродвигуна	$P_{max} = 80$ кВт (109 к. с.)
ККД трансмісії електромобіля	$\eta_{mp} = 0,92$
Маса електромобіля	$m = 1800$ кг
Коефіцієнт опору повітря	$C_x = 0,29$
Лобова площа електромобіля	$S = 1,62$ м ²
Прискорення вільного падіння	$g = 9,81$ м/с ²
Густина повітря	$\rho = 1,23$ кг/м ³

Коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля $K(f, v)$ можна знайти як відношення потужності електричного струму $P(f)$, що з'являється під час вертикальних механічних коливань електромобіля в процесі його руху за рахунок використання запропонованих лінійних генераторів, до витрат потужності на переміщення електромобіля із заданою швидкістю $P(v)$:

$$K(f, v) = \frac{P(f)}{P(v)}. \quad (11)$$

З врахуванням формул (9) і (10), коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля буде дорівнювати:

$$K(f, v) = \frac{\eta_{mp} \cdot n \cdot \pi^3 \cdot r^3 \cdot N \cdot \sigma \cdot S \cdot B^2 \cdot f^2}{v \cdot (m \cdot g \cdot f_k + 0.5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2)}. \quad (12)$$

Як видно зі співвідношення (12), під час розрахунку коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля ключовими змінними величинами є частота коливань (f) магніту всередині котушки індуктивності та швидкість руху (v) електромобіля.

На рис. 2 у вигляді діаграми представлено залежність значень коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля (у відсотках) від швидкості руху електромобіля. Розрахунок виконано за формулою (12) для двох значень частоти коливань магніту (1,25 Гц і 2,5 Гц). Як видно з рис. 2, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Відповідно, використання запропонованих лінійних генераторів з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм виявляється більш ефективним на швидкостях руху від 30 км/год до 60 км/год. Саме такий діапазон швидкостей руху електромобіля відмінно задовольняє потребу в переміщенні у міських умовах.

Як видно з формули (12), а також з рис. 2, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням частоти коливань магніту всередині котушки індуктивності. У свою чергу, частота коливань магніту залежить від швидкості руху електромобіля, його завантаженості та якості дорожнього покриття. При чому частота коливань магніту збільшується, коли якість дорожнього покриття погіршується. Тобто, чим більше буде нерівностей і ямок на дорозі, тим більшою буде частота вертикальних механічних коливань електромобіля і, відповідно, частота

коливань магніту всередині котушки індуктивності, що призводить до зростання коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля.

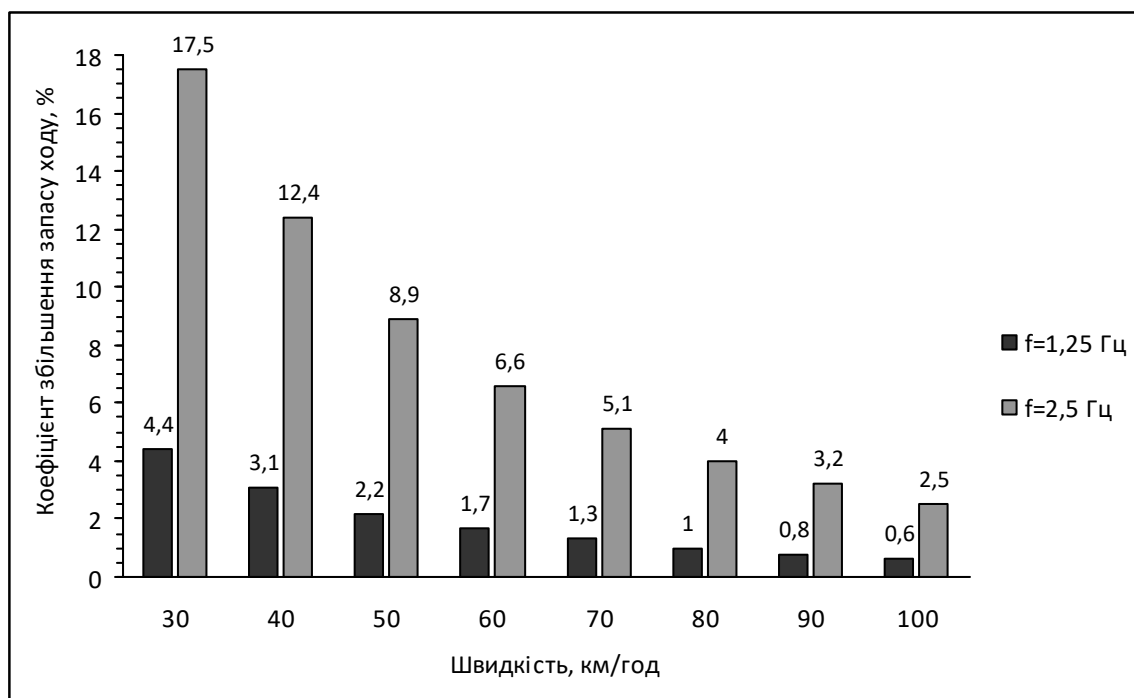


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта збільшення запасу ходу від швидкості електромобіля
Figure 2 – Dependence of the coefficient of increase in power reserve on the speed of the electric car

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Таким чином, у роботі запропоновано модель лінійного генератора з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху, в електричний струм. Запропонована модель лінійного генератора відзначається простотою конструкції у порівнянні з існуючими аналогами. Отримано співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії вертикальних механічних коливань вказаного транспортного засобу. Ключовими змінними величинами у вказаному співвідношенні є частота коливань магніту всередині котушки індуктивності та швидкість руху електромобіля.

Виконано розрахунок коефіцієнту збільшення запасу ходу для електромобіля Nissan Leaf у діапазоні швидкостей від 30 км/год до 100 км/год для двох значень частоти коливань магніту 1,25 Гц і 2,5 Гц. Виявлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Отже, найбільш ефективно використання запропонованих лінійних генераторів спостерігається в діапазоні швидкостей від 30 км/год до 60 км/год, що відмінно задовольняє потребу в переміщенні у міських умовах. Крім того, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням частоти коливань магніту всередині котушки індуктивності. Вказана частота коливань магніту зростає зі збільшенням нерівностей і ямок на дорожньому покритті.

В подальшому планується створення дослідного зразка для експериментального дослідження вказаного методу отримання електричної енергії від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Electric vehicles: a review of network modelling and future research needs / J. Wentao, Y. Yadan, K. Inhi, S. Majid // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2016. – Vol. 8 (1). – P. 1-8. DOI: 10.1177/1687814015627981.
2. The market for electric vehicles: indirect network effects and policy design / S. Li, L. Tong, J. Xing, Y. Zhou // *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. – 2017. – Vol. 4, № 1. – P. 89-133.

3. Castelvechi D. Electric cars and batteries: how will the world produce enough? / D. Castelvechi // *Nature*. – 2021. – Vol. 596. – P. 336-339. DOI: 10.1038/d41586-021-02222-1.
4. Madhusudhanan A.K. A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control / A.K. Madhusudhanan // *European Journal of Control*. – 2019. – Vol. 48. – P. 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006.
5. An energy-harvesting system using MPPT at shock absorber for electric vehicles / L. Jinkyu, Ch. Yondo, K. Jiwon, P. Byounggun // *Energies*. – 2021. – № 14. – P. 2552 (14). DOI:10.3390/en14092552.
6. Eriksson S. Design of permanent-magnet linear generators with constant-torque-angle control for wave power / S. Eriksson // *Energies*. – 2019. – № 12. – P. 1312 (19). DOI:10.3390/en12071312.
7. Menzhinski A.B. Developing and the analysis of mathematical models of generators of linear and reciprocating types with electromagnetic excitation / A.B. Menzhinski, A.N. Malashin, Yu.V. Suhodolov // *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* – 2018. – Vol. 61, № 2. – P. 118-128. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-118-12.
8. Фізика і транспорт: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, Ю.П. Гололобов, І.Р. Зачек, В.М. Габа, І.С. Мороз. – Львів: Українська академія друкарства, 2014. – 328 с.
9. Bykovsky A.A. Calculation of the own electric capacitance of the inductor and determination of the optimal form factor of the oscillator coil / A.A. Bykovsky // *East European Scientific Journal*. – 2019. – № 8 (48). – P. 64-71.
10. Characteristics of neodymium magnets [Electronic resource] // *E-magnets*. – 2022. – Access mode: <https://e-magnetsuk.com/introduction-to-neodymium-magnets/characteristics-of-ndfeb-magnets/>.
11. Аль-Амморі А.Н. Розрахунок балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, І.М. Верховецька // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал*. – 2022. – Вип. 1 (51). – С. 3-10. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-003-010.
12. Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf [Електронний ресурс] // *Info Car*. – 2022. – Режим доступу: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html.

REFERENCES

1. Wentao, J., Yadan, Y., Inhi, K., Majid, S. (2016). Electric vehicles: a review of network modelling and future research needs. *Advances in Mechanical Engineering*, 8 (1), 1-8. DOI: 10.1177/1687814015627981 [in English].
2. Li, S., Tong, L., Xing, J., Zhou, Y. (2017). The market for electric vehicles: indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4, 89-133 [in English].
3. Castelvechi, D. (2021). Electric cars and batteries: how will the world produce enough? *Nature*, 596, 336-339. DOI: 10.1038/d41586-021-02222-1 [in English].
4. Madhusudhanan, A.K. (2019). A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control. *European Journal of Control*, 48, 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006 [in English].
5. Jinkyu, L., Yondo, Ch., Jiwon, K., Byounggun, P. (2021). An energy-harvesting system using MPPT at shock absorber for electric vehicles. *Energies*, 14, 2552 (14). DOI:10.3390/en14092552 [in English].
6. Eriksson, S. (2019). Design of permanent-magnet linear generators with constant-torque-angle control for wave power. *Energies*, 12, 1312 (19). DOI:10.3390/en12071312 [in English].
7. Menzhinski, A.B., Malashin, A.N., Suhodolov, Yu.V. (2018). Developing and the analysis of mathematical models of generators of linear and reciprocating types with electromagnetic excitation. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.*, 61 (2), 118-128. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-118-12 [in English].
8. Dmytrychenko, M.F., Gololobov, Yu.P., Zachek, I.R., Haba, V.M., Moroz, I.Ye. (2014). *Fizyka i transport. Navchalnyy posibnyk*. [Physics and transport. Tutorial]. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva. 328 p. [in Ukrainian].
9. Bykovsky, A.A. (2019). Calculation of the own electric capacitance of the inductor and determination of the optimal form factor of the oscillator coil. *East European Scientific Journal*, 8 (48), 64-71 [in English].
10. Characteristics of neodymium magnets. (2022). *E-magnets*. [Electronic resource]. Access mode: <https://e-magnetsuk.com/introduction-to-neodymium-magnets/characteristics-of-ndfeb-magnets/> [in English].

11. Al-Ammouri, A.N., Ishchenko, R.M., Verkhovetska, I.M. (2022). Rozrakhunok balansu potuzhnosti elektromobilya pid chas rivnomirnogo rukhu [Calculation of power balance of electric car during uniform movement]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky". Naukovyy zhurnal – Bulletin of the National Transport university. "Technical Sciences" series. Scientific journal, 1 (51), 3-10. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-003-010 [in Ukrainian].

12. Tekhnichni kharakterystyky elektromobilya Nissan Leaf [Technical characteristics of electric car Nissan Leaf]. (2022). Info Car. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Аль-Амморі А.Н. Модель лінійного генератора з постійним магнітом для збільшення запасу ходу електромобіля / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, М.М. Дехтяр // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті запропоновано модель лінійного генератора з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Мета роботи – розробка моделі лінійного генератора з постійним магнітом, який би відрізнявся простотою конструкції та з достатньою ефективністю перетворював енергію вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Методи дослідження – для досягнення мети роботи використовувалися наступні методи: аналіз, синтез, систематизація, узагальнення, формулювання висновків.

У роботі отримано співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії вертикальних механічних коливань вказаного транспортного засобу. Виконано розрахунок коефіцієнту збільшення запасу ходу для електромобіля Nissan Leaf у діапазоні швидкостей від 30 км/год до 100 км/год для двох значень частоти коливань магніту 1,25 Гц і 2,5 Гц. Виявлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу.

Результати статті можуть бути використані під час розробки і впровадження енергозберігаючих та рекуперативних технологій, спрямованих на підвищення запасу ходу електромобілів. Також результати роботи можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки фахівців транспортної галузі.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – створення дослідного зразка для експериментального дослідження вказаного методу отримання електричної енергії від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛІНІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ, ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ МАГНІТУ, ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ, ЗАПАС ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.

ABSTRACT

Al-Ammouri A.N., Ishchenko R.M., Dekhtyar M.M. Model of a line generator with a permanent magnet for increasing of power reserve of electric car. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

In this paper a model of a line generator with a permanent magnet for converting the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current is proposed.

The object of the study – process of converting the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current.

Purpose of the study – development a model of a line generator with a permanent magnet, which would be distinguished by its simplicity of construction and with sufficient efficiency convert the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current.

Methods of the study – for the purpose of the study, the following methods were used: analysis, synthesis, systematization, generalization, formulation of conclusions.

In this work, a ratio was obtained for determining the coefficient of increasing of power reserve of electric car due to the use of the energy of vertical mechanical oscillations of the indicated vehicle. The calculation of the coefficient of increasing of power reserve for the Nissan Leaf electric car in the range of speeds from 30 km/h to 100 km/h for two values of the magnet oscillation frequency of 1.25 Hz and 2.5 Hz

was performed. It was found that the coefficient of increasing of power reserve of electric car decreases with the increase in the speed of the indicated vehicle.

The results of the article can be used in the development and implementation of energy-saving and recuperative technologies aimed at increasing the power reserve of electric car. Also, the results of the work can be introduced into the educational process during the teaching of disciplines of the cycle of professional training of specialists in the transport industry.

Forecast assumptions about the object of study – creation of a prototype for experimental research of the specified method of obtaining electrical energy from vertical mechanical oscillations of electric car that occur during its movement.

KEY WORDS: LINE GENERATOR, PHENOMENON OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION, FREQUENCY OF OSCILLATIONS OF MAGNET, POWER OF ELECTRIC CURRENT, POWER RESERVE OF ELECTRIC CAR.

АВТОРИ:

Аль-Амморі Алі Нурддинович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. +380442846709, +380983556786, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Іщенко Руслан Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Дехтяр Марина Михайлівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: marinariy14@gmail.com, тел. +380442846709, +380974872747, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 212, orcid.org/0000-0002-5503-1889.

AUTHORS:

Al-Ammouri Ali N., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, head of department of Information analysis and information security, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. +380442846709, +380983556786, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Ishchenko Ruslan M., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380673187955, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Dekhtyar Maryna M., candidate of technical sciences, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: marinariy14@gmail.com, tel. +380442846709, +380974872747, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 212, orcid.org/0000-0002-5503-1889.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Манько Д.Ю., кандидат фізико-математичних наук, Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, старший науковий співробітник, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnychenko O.I., candidate of technical sciences, professor, National Transport University, Head of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

Manko D. Yu., candidate of physical and mathematical sciences, Institute for Information Recording National Academy of Sciences of Ukraine, researcher, Kyiv, Ukraine.