

**Секція 11. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.
ЕНЕРГЕТИКА І НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ
(GREENING OF ENERGY SYSTEMS. ENERGY AND THE
ENVIRONMENT. ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES)**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧИХ
ПЛИТОК РІЗНОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Аргун Щасяна Валіковна, докт. техн. наук, професор каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна); leading visiting researcher, Riga Technical University, (Latvia), e-mail: shchasyana@khadi.kharkov.ua, ORCID: [0000-0001-6098-8661](https://orcid.org/0000-0001-6098-8661)

Гнатов Андрій Вікторович, докт. техн. наук, зав. каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна),

e-mail: kalifus@khadi.kharkov.ua, ORCID: [0000-0003-0932-8849](https://orcid.org/0000-0003-0932-8849)

Сохін Павло Андрійович, аспірант каф. Автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Україна), e-mail: info@elektrocar.com.ua, ORCID: [0000-0002-2823-2239](https://orcid.org/0000-0002-2823-2239)

Hnatova Hanna, Special Scientist, KIOS Research and innovation Center of excellence, University of Cyprus (Cyprus), e-mail: hannahnatova@gmail.com

Kunicina Nadezhda, doctor of Technical Sciences, professor, Institute of Industrial Electronics and Electrical Engineering, Faculty of Computer Science, Information Technology and Energy, Riga Technical University, (Latvia), e-mail: Nadezda.Kunicina@rtu.lv

У останні роки у світі спостерігається значний інтерес до досліджень і розробок у сфері використання відновлюваних джерел енергії, зокрема, розробки новаторських методів генерації електроенергії. Один із перспективних напрямків цього дослідження – використання енергогенеруючих плиток, які здатні перетворювати механічну енергію в електричну [1–3]. Ефективність таких систем в значній мірі залежить від конструкції мультиплікаторів, що використовуються для підсилення згенерованої енергії. Таким чином, актуальним завданням є подальше вдосконалення цих систем. Тому метою цього дослідження є аналіз енергогенеруючих плит з косозубими та прямозубими мультиплікаторами і проведення порівняльного аналізу цих конструкцій для визначення найбільш ефективного типу мультиплікатора з точки зору здатності генерувати електроенергію.

Енергогенеруюча плитка з косозубими шестернями.

Енергогенеруюча плитка (ЕП), укомплектована косозубими шестернями у своєму мультиплікаторі, є пристроєм, здатним містити різні електромеханічні

модулі для виробництва електроенергії. Ці модулі можуть включати в себе кілька електроприводів, оснащених кроковими двигунами (КД), або кілька електродвигунів, вмонтованих у єдиний електромеханічний блок.

Важливою складовою дослідження є визначення того, яка кількість електродвигунів, розміщених у електромеханічному блоку ЕП, впливає на кількість генерованої електроенергії.

В електромеханічному блоці ЕП присутні два крокові двигуни, які підключені паралельно до електричного навантаження, тобто вони працюють за паралельною схемою для одного навантаження. У дослідженнях, проведених на розробленій ЕП, особлива увага приділяється аналізу електричних характеристик, генерованих кроковими двигунами.

Експериментальне вивчення електромеханічного блоку цієї плитки було здійснено з метою оцінки ефективності використання одного чи двох крокових двигунів у її конструкції. Головна ціль цих експериментів полягала у встановленні доцільності використання двох КД в електромеханічному блоку та вимірюванні кількості електроенергії, що виробляється плиткою при одноразовому натисканні на неї.

В рамках експериментального дослідження були проведені наступні етапи:

- аналіз функціонування електромеханічного блоку енергогенеруючої плитки при з'єднанні з одним кроковим двигуном;
- вивчення роботи електромеханічного блоку при синхронному підключенні двох крокових двигунів.

Для обох сценаріїв було встановлено значення опору навантаження $R=18\Omega$, що дозволило на підставі зібраних даних про напругу та струм провести розрахунок потужності, що розсіюється на опорі.

З метою забезпечення високої точності результатів, експериментальні випробування були структуровані у 100 серій, кожна з яких містила 30 активацій енергогенеруючої плитки. У дослідженні брало участь 10 осіб із масою тіла в діапазоні від 50 до 90 кг. Частота та швидкість рухів були налаштовані для відтворення звичайного ритму ходьби зі швидкістю 5 км/год.

В процесі експерименту кожен крок ініціював генерацію двох імпульсів напруги: перший імпульс реєструвався при натисканні на верхню кришку генератора вниз під дією зовнішнього тиску, а другий – при поверненні кришки до вихідного положення за допомогою пружин.

Аналіз роботи енергогенеруючої плитки з мультиплікатором на основі косозубих зубчатих коліс виявив низьку ефективність генерації електроенергії, що, ймовірно, обумовлено використанням саме такого типу мультиплікатора. Відтак, з метою оптимізації ефективності енергогенерації було спроектовано та розроблено мультиплікатор з прямозубими зубчатими колесами.

Мультиплікатор з прямозубим типом зубчатих коліс.

На основі концепції енергогенеруючої плитки та розробки мультиполікатора із прямозубими зубчатими колесами було створено експериментальний

прототип. Дизайн енергогенеруючої плитки дозволяє проводити детальне дослідження ефективності кожного крокового двигуна окремо, а також їх спільної роботи в паралельному режимі для генерації електроенергії.

Основною метою експериментальної роботи є оцінка доцільності використання двох крокових двигунів у якості генераторів електроенергії в електромашинному вузлі, а також вимірювання кількості електроенергії, генерованої енергогенеруючою плиткою та мультиплікатором з прямозубими зубчатими колесами за один крок.

Задачі та умови експериментального дослідження включають:

- вивчення можливості генерації електроенергії енергогенеруючою плиткою та мультиплікатором з прямозубими зубчатими колесами при інтеграції одного крокового двигуна в електромашинний вузол;
- аналіз здатності до генерації електроенергії при паралельній роботі двох крокових двигунів в електромашинному вузлі.
- оцінка обсягу електроенергії, виробленої енергогенеруючою плиткою та мультиплікатором з прямозубими зубчатими колесами, за один крок в обох напрямках руху.

Опір шунтування залишався незмінним, як і в попередніх випробуваннях, становлячи $R = 18$ Ом. Використання вольтметра V дозволило виміряти напругу на шунтуючому опорі R і, відповідно, розрахувати струм навантаження. На основі цих даних було обчислено електричну потужність, що розсіюється на даному опорі.

Експериментальні умови для випробувань енергогенеруючої плитки та мультиплікатора з прямозубими зубчатими колесами повністю відповідали параметрам, встановленим при аналізі плитки з мультиплікатором косозубого типу.

Аналіз результатів експериментів виявив, що при прямому та зворотному русі одних і тих же осіб енергогенеруюча плитка виробляє різні обсяги електроенергії. Заміна косозубих зубчатих коліс на прямозубі в мультиплікаторі призвела до очікуваного збільшення генерованої потужності.

Результати, отримані під час генерації електроенергії з використанням мультиплікаторів різних типів, були узагальнені у таблиці 1. В цій таблиці також представлено значення коефіцієнта посилення k , що ілюструє, у скільки разів використання енергогенеруючої плитки з двома кроковими двигунами збільшує генерацію електроенергії порівняно з конфігурацією з одним кроковим двигуном.

Таблиця 1 – Середнє значення генерованої потужності ЕП за один крок з різними типами мультиплікаторів

Тип мультиплікатора	Прямий напрямок			Зворотній напрямок		
	Один КД, Вт	Два КД, Вт	k	Один КД, Вт	Два КД, Вт	k
Косозубий	0,35	0,74	2,11	0,24	0,44	1,83
Прямозубий	0,66	1,07	1,62	0,47	0,65	1,38

Аналіз отриманих даних вказує на значні переваги використання пари крокових двигунів у конструкції електромеханічного вузла енергогенеруючої плитки. Різниця у величинах генерованої електроенергії при різних напрямках руху людей на плитці є результатом конструкційних особливостей пристрою. Характерно, що під час прямого руху енергогенеруюча плитка виробляє більше електроенергії, ніж під час зворотного ходу натискної кришки. Водночас, при зворотному русі реєструється підвищена генерація електроенергії, коли кришка пристрою натискається. Ці відмінності можна пояснити як специфікою конструкції енергогенеруючої плитки, так і особливостями механіки людського ходіння.

Висновки

На основі аналізу даних, отриманих в ході експериментальних досліджень, було встановлено, що інтеграція двох крокових двигунів у електромашинний вузол енергогенеруючої плитки сприяє значному зростанню виробленої електроенергії. Використання косозубих шестерень у мультиплікаторі дозволило збільшити генерацію електроенергії на 47,3% у прямому напрямку та на 54,5% у зворотному, тоді як прямозубі шестерні підвищили ці показники до 61,7% і 72,3% відповідно. В середньому, один крок на ЕП забезпечує генерацію 0,74 Вт електроенергії з косозубими шестернями і 1,07 Вт електроенергії з прямозубими шестернями у прямому напрямку. У зворотному напрямку ці значення становлять 0,44 Вт і 0,65 Вт відповідно.

Такі результати дозволяють визначити потенційну користь від впровадження ЕП у місцях з високою концентрацією людського потоку, таких як транспортні вузли чи громадські простори. Знаючи інтенсивність руху людей, можна розрахувати очікувану кількість електроенергії, що буде вироблена протягом певного періоду часу. Це, у свою чергу, дозволяє планувати не обхідну кількість таких пристроїв для забезпечення потреб у електроенергії окремих об'єктів транспортної інфраструктури, сприяючи таким чином сталому розвитку та ефективному використанню ресурсів.

З огляду на результати досліджень, можна визначити різноманітні застосування енергогенеруючих плиток у сучасному світі. Ці плитки можуть бути використані у місцях з високою пішохідною активністю, таких як вокзали, аеропорти, торгові центри, спортивні арени, університети та школи. Окрім того, вони можуть слугувати важливим елементом для створення "розумних" міст, де енергія людських рухів перетворюється на електрику, що використовується для освітлення, заряджання мобільних пристроїв та живлення малих електронних приладів. Інтеграція такої технології може також знайти застосування у проєктах смарт-енергетики, екологічного транспорту та інших ініціативах зеленої енергетики.

Література

1. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S. C., Bogdan, D., & Dzyubenko, O. (2019). *Development of an energy generating platform for converting kinetic energy into*

*electrical energy using the kinematic synthesis of a three-stage multiplier. 2019-
Octob, 403–408.*

2. Hnatov, A., Ribickis, L., Hnatova, H., Arhun, S., Kunicina, N., Merkurjevs, J., Dziubenko, O., Patlins, A., Zabasta, A., & Kunicins, K. (2020). Study of the Operation of the Energy Generating Platform on the Basis of a Multiplier with Spur Gears. *2020 6th IEEE International Energy Conference (ENERGYCon)*, 231–237. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCon48941.2020.9236460>

3. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., & Dzyubenko, O. (2019). Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*, 40, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.063>

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОНАСОСНОЇ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯ АКУМУЛЬОВАНОЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ГРУНТІ

Безродний Михайло Костянтинович, докт. техн. наук, професор
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
e-mail: m.bezrodny@kpi.ua, ORCID: 0000-0003-0793-7317

Причула Наталя Олександрівна, канд. техн. наук, доцент,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
e-mail: prytula.natalia@iit.kpi.ua, ORCID: 0000-0002-3500-5165

Тесленко Олександр Іванович, канд. техн. наук,
старший дослідник, Інституту загальної енергетики НАН України,
e-mail: teslenko1961@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3772-5991

Сліжевський Кирило Дмитрович, студент,
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,
e-mail: kirillslizevskij@gmail.com, ORCID: 0009-0000-5127-3971

Енергозбереження нині займає одне з найголовніших місць у національних економічних концепціях та програмах багатьох країн світу [1,2].

Використання теплових насосів (ТН) для здійснення переходу до екологічно чистих та відновлюваних джерел енергії є ефективним та перспективним методом зменшення споживання паливно-енергетичних ресурсів для опалення будівель. Енергія, яку можна отримати з ґрунту, представляє собою універсальне джерело низькопотенційної теплоти. Це пояснюється тим, що на глибині понад 5 метрів температура ґрунту залишається стабільною протягом року та відповідає середньорічній температурі атмосферного повітря, яка в Україні становить 8...12 °С.