УДК 629.341 DOI:10.30977/BUL.2219-5548.2018.81.0.29

ВИБІР СХЕМИ ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧОЇ СХОДИНКИ

Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Дзюбенко О.А., ХНАДУ

Анотація. *На цей час нагальною є проблема енергозбереження та енергоефективності. Одним зі шляхів її вирішення є впровадження різного роду систем та пристроїв, які виконують функцію енергозбереження і здатні самі генерувати певну кількість енергії. Проведено дослідження схемотехнічних рішень енергогенеруючої сходинки, що перетворює кінетичну енергію в електричну. Виконано експериментальну апробацію вибраного рішення. Показано, що одна сходинка здатна згенерувати 6,8 кВт·год потужності електроенергії при 10 тис. натискань на неї.*

Ключові слова: *енергогенеруюча сходинка, перетворення електричної енергії, альтернативне джерело енергії, енергозбереження, енергоефективні технології.*

Вступ

Питання енергоефективності та збереження електроенергії на цей час набули неабиякої актуальності. Одним зі шляхів їх вирішення є впровадження різного роду систем та пристроїв, які не тільки виконують функцію енергозбереження, а ще і здатні генерувати певну кількість енергії для подальшого її використання [1, 2].

У даній роботі представлено дослідження щодо проблеми енергозбереження та енергоефективності в місцях, де є велика прохідність людей. За основну ідею роботи покладено методи та способи перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну енергію. Пропонується розглянути декілька схемних рішень щодо конструкції енергогенеруючої сходинки, дослідити їх принцип дії та обрати найбільш ефективне рішення. Застосування подібного роду пристроїв та систем перетворення кінетичної енергії в електричну дозволить згенерувати необхідну кількість електроенергії, яка забезпечить систему електроживлення додатковими малопотужними джерелами живлення. Це дозволить більш ефективно проводити розподіл електроенергії за потужністю, провести збалансування системи електроживлення за потужністю споживання та впровадити сучасні енергоефективні заходи щодо збереження електроенергії [3].

Аналіз публікацій

Велика частина робіт, що представлена у науково-технічній періодиці стосовно теми даної роботи, присвячена питанням розробки та дослідження систем та пристроїв принцип дії яких оснований на п'єзоелектричному ефекті [4–8]. У цих роботах розглядаються різні конструкції пристроїв, досліджуються процеси збору електричної енергії під час їх роботи, наводиться обґрунтування використання п'єзоелектричних перетворювачів. До недоліків цих систем та пристроїв можна віднести їх малу надійність, що зумовлено використанням п'єзокераміки, і досить високу ціну. Також слід зазначити, що такі пристрої розраховані на значну натискну силу та можуть бути встановлені лише на автомобільних дорогах [6, 8].

Розробка «Solar Roadway Panel», запропонована винахідниками із США, перетворює енергію сонця в електричну, встановлюється на звичайних автомобільних дорогах загального користування та, об'єднуючись у систему «Розумна дорога», являє собою альтернативне та децентралізоване джерело живлення [9, 10]. У порівнянні з рішеннями, що пропонуються в цій роботі, «Solar Roadway Panel» потребують сонячного освітлення та можуть бути встановлені лише на відкритому просторі. Також слід зазначити, що для впровадження цієї розробки необхідне повне переобладнання як самої дороги, так і всієї інфраструктури.

У статті [11] розглядається можливість отримання електричної енергії шляхом її перетворення з енергії звукових хвиль та шляхом використання п'єзоелектричних елементів, а в роботі [12] пропонується поєднати процеси перетворення механічної енергії в електричну з її накопиченням. Але автори цих робіт не вказують експлуатаційних та технічних характеристик їх розробок.

Поданий аналіз показує, що проблема перетворення різних видів енергії в електричну є актуальною та нагальною, про що свідчить велика кількість досліджень у цьому напрямі.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є дослідження схем технічних рішень щодо розробки енергогенеруючої сходинки, що перетворює кінетичну енергію в електричну, та експериментальна апробація обраного рішення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз літературних джерел щодо методів та способів перетворення різних видів енергії в електричну;

– проаналізувати схеми технічних рішень енергогенеруючої сходинки, що перетворює кінетичну енергію в електричну;

– дослідити переваги та недоліки наявних схем технічних рішень щодо розробки енергогенеруючої сходинки;

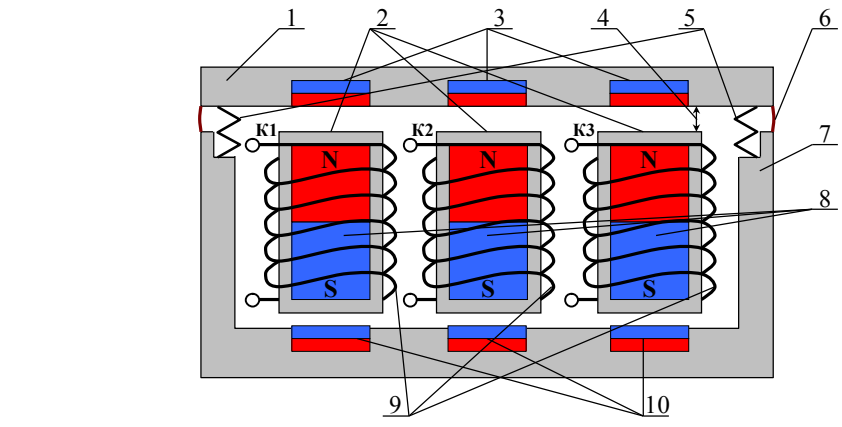
– провести експериментальні дослідження обраної схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинки.

Енергогенеруюча сходинка з лінійним електрогенератором

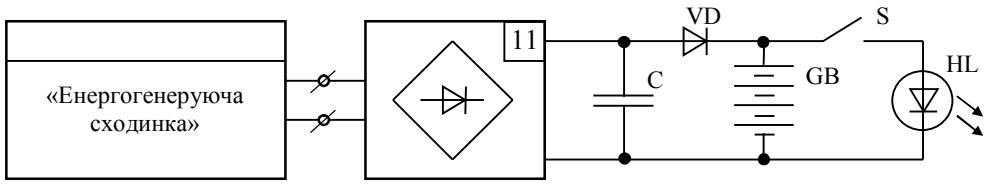
Найбільш простим та очевидним рішенням представляється конструкція енергогенеруючої сходинки, що основана на принципі дії лінійного електрогенератора. Суть запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями (рис. 1) [3, 13].

Енергогенеруюча сходинка з лінійним електрогенератором (рис. 1) має корпус, в якому співвісно розміщені ротор і статор, з можливістю їх відносного поступального переміщення в одній площині. При цьому статор виготовлений у вигляді обмотки, що охоплює ротор. Ротор виконаний із суцільних неодимових магнітів, а як демпферні пружини використовуються плоскі неодимові магніти, що орієнтовані однаковими полюсами до полюсів ротора. Однакові кінці обмоток статора з'єднані між собою та виходять до електричного випрямляча, який випрямляє змінний струм та заряджає ємнісний науопичувач – іоністор. Останній через діод заряджає акумуляторну батарею, що через вимикач підключається до навантаження, наприклад, для низьковольтного живлення.

Розглянемо принцип роботи енергогенеруючої сходинки з лінійним електрогенератором. Коли людина наступає на пристрій, його натискна кришка 1, що з'єднана герметичним з'єднанням з корпусом 6, починає рухатися вниз і тим самим забезпечує роботу пристрою – лінійного електрогенератора (рис. 1, а).



а



б

Рис. 1. Енергогенеруюча сходинка з лінійним електрогенератором: а – конструкція; б – схема електрична принципова: 1 – натискна кришка; 2 – статор; 3 – неодимові магніти в натискній кришці; 4 – робочий хід натискної кришки; 5 – пружини; 6 – герметичне з'єднання кришки з корпусом; 7 – корпус; 8 – неодимові магніти ротора; 9 – обмотки котушок статора (К1–К3); 10 – неодимові магніти в корпусі; 11 – електричний випрямляч; С – ємнісний накопичувач; VD – діод; GB – акумуляторна батарея; S – вимикач; HL – світлодіодне навантаження

Завдяки тому, що неодимові магніти в натискній кришці 3 орієнтовані однаковими полюсами до полюсів магнітів ротора 8, вони через магнітне поле відштовхують ротор й тим самим змушують його вертикально зміщуватися вниз, поки не буде пройдено весь робочий хід натискної кришки 4. У крайньому нижньому положенні, коли натискна кришка 1 лежить на корпусі 7, на неодимові магніти ротора 8 буде діяти максимальне магнітне зусилля від неодимових магнітів у корпусі 10, які також орієнтовані однаковими полюсами до полюсів неодимових магнітів ротора 8 та будуть відштовхувати ротор угору. Таким чином неодимові магніти в натискній кришці 3 та неодимові магніти в корпусі 10 використовуються як демпферні пружини. Маючи механічну інерцію, ротор буде коливатися між неодимовими магнітами в натискній кришці 3 та неодимовими магнітами в корпусі 10, як між демпферними пружинами. При зніманні ноги з пристрою генерування електричної енергії, пружини 5 повертають натискну кришку 1 в початкове положення, що збільшує проміжок робочого ходу натискної кришки 4, тим самим створюючи умови для переміщення неодимових магнітів ротора 8 угору, бо сила магнітного тиску від неодимових магнітів у корпусі 10 стає більшою, ніж від неодимових магнітів у натискній кришці 3.

Зворотно-поступальний рух ротора наводить в обмотках котушок статора (К1…К3) 9 змінний електричний струм. Обмотки статора 2 з'єднані між собою та підключені до електричного випрямляча 11 (рис. 1, б), із затискачів якого заряджається ємнісний накопичувач С – іоністор та через діод VD – акумуляторна батарея GB. Вимикач S включає світлодіодне навантаження HL до електричного кола акумуляторної батареї GB.

Особливістю запропонованого пристрою генерування електричної енергії (з лінійним електрогенератором) є і те, що він має малі ваго-габаритні показники та може легко встановлюватися в місцях з великою кількістю пішоходів та щільністю людського потоку.

Енергогенеруюча сходинка з лінійним електрогенератором та п'єзокерамікою

Даний пристрій перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну оснований на попередній схемі (рис. 1). Його відмінність полягає в тому, що в натискну кришку пристрою вбудовано п'єзокерамічні елементи, електричний сигнал з яких при натисканні також заряджає ємнісний накопичувач та акумуляторну батарею.

На рис. 2 показано конструкцію енергогенеруючої сходинки з лінійним електрогенератором та п'єзокерамікою [14].

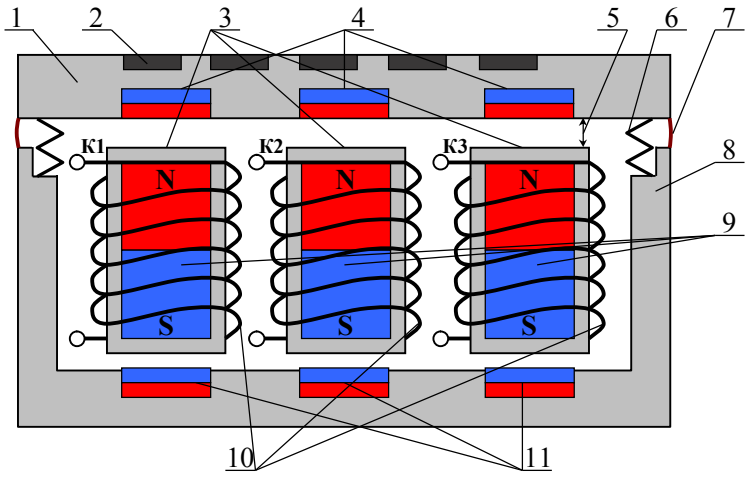


Рис. 2. Конструкція енергогенеруючої сходинки з лінійним електрогенератором та п'єзокерамікою: 1 – натискна кришка; 2 – п'єзоелектричні елементи; 3 – статор; 4 – неодимові магніти в натискній кришці; 5 – робочий хід натискної кришки; 6 – пружини; 7 – герметичне з'єднання кришки з корпусом; 8 – корпус; 9 – неодимові магніти ротора; 10 – обмотки котушок статора (К1–К3); 11 – неодимові магніти в корпусі

Розглянемо принцип роботи енергогенеруючої сходинки з лінійним електрогенератором та п'єзокерамікою. Принцип роботи цього пристрою є ідентичним попередньому схемотехнічному рішенню (рис. 1), але має одну відмінність, яка проявляється в тому, що перетворення кінетичної енергії в електричну відбувається по двох каналах. При натисканні на натискну кришку 1, додатково до процесу, що описаний по схемі рис. 1, вбудовані в ній п'єзоелектричні елементи 2 генерують імпульс електричної енергії, яка через електричний випрямляч 11 (рис. 1, б) накопичується в ємнісному накопичувачі С. Отже, дана конструкція дозволяє більш ефективно виконувати перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну.

Енергогенеруюча сходинка з електричною машиною обертального типу

Цей пристрій за принципом дії відноситься до електричних генераторів, що перетворюють кінетичну та механічну енергію обертання в електричну. Суть запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями (рис. 3) [15].

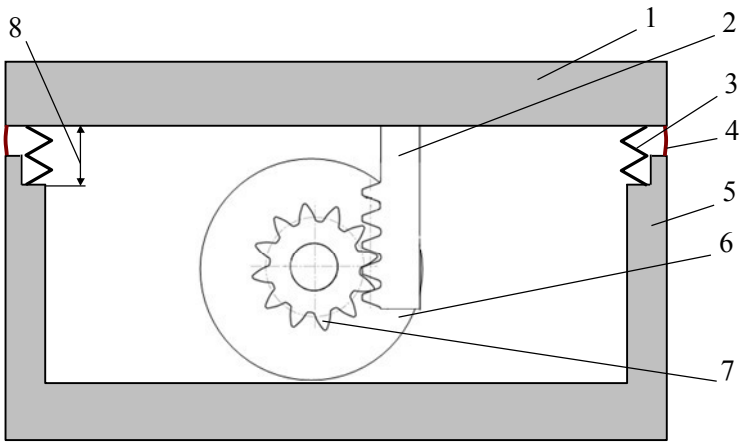


Рис. 3. Конструкція енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу: 1 – натискна кришка; 2 – рейка приводу електрогенератора; 3 – пружини; 4 – герметичне з'єднання кришки з корпусом; 5 – корпус; 6 – електрична машина (електрогенератор); 7 – шестерня приводу електрогенератора; 8 – робочий хід натискної кришки

Вказаний пристрій, як і два попередніх, має корпус з натискною кришкою, всередині якого співвісно розміщені ротор і статор, з можливістю ротора обертатися в магнітному полі статора. Однакові кінці обмоток статора з'єднані між собою та виходять до електричного випрямляча, який випрямляє змінний струм та заряджає ємнісний накопичувач – іоністор, який через діод заряджає акумуляторну батарею. Остання, через вимикач, підключається до навантаження. Ротор електрогенератора виконано у вигляді ротора електричної машини з неодимовими магнітами, що обертається відносно своєї осі від дії рейки приводу електрогенератора, яка жорстко з'єднана з натискною кришкою.

Розглянемо принцип роботи енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу. При виконанні натискання на енергогенеруючу сходинку з електричною машиною обертального типу, її натискна кришка 1, що з'єднана герметичним з'єднанням кришки з корпусом 4, починає рухатися вниз (рис. 3), тим самим переміщує рейку приводу електрогенератора 2, яка своїми зубцями зчеплена з шестернею приводу електрогенератора 7. Рейка приводу електрогенератора 2 переміщується вниз на весь робочий хід натискної кришки 8, поки натискна кришка 1 не ляже на корпус 5, і тим самим обертає шестерню приводу електрогенератора 7, яка жорстко кріпиться на валу ротора електрогенератора 6. Ротор електрогенератора виконано у вигляді ротора електричної машини з неодимовими магнітами, що обертається відносно своєї осі та наводить ЕРС в обмотках статора електрогенератора 6. Коли завершується натискна дія (наприклад, знімається ного з натискної кришки 1) пружини 3 повертають натискну кришку 1 в початкове положення, а ротор електрогенератора під дією рейки приводу електрогенератора 2 через шестерню приводу електрогенератора 7 починає обертатися у зворотному напрямку, що наводить ЕРС в обмотках статора з від'ємним значенням. Обмотки статора елек-

трогенератора підключені до електричного випрямляча 11 (рис. 1, б). При наведенні ЕРС по обмотках починає протікати змінний електричний струм, після його випрямлення на електричному випрямлячі 11, він заряджає ємнісний накопичувач С – іоністор та через діод VD акумуляторну батарею GB. Вимикач S вмикає електроживлення до навантаження HL.

Таким чином, запропонована конструкція енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу дозволяє збільшити ефективність перетворення енергії від натискання в електричну за рахунок використання електромеханічного перетворювача енергії на базі електричної машини з обертальним ротором. При цьому габаритні показники пристрою залишаються такими ж, як і у попередніх конструкціях.

Енергогенеруюча сходинка з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором

Як і в попередньому випадку (рис. 3), цей пристрій за принципом дії відноситься до електричних генераторів, що перетворюють кінетичну та механічну енергію обертання в електричну, (рис. 4) [16].

Пропонується електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з електрогенератором, що має корпус з натискною кришкою, в якому співвісно розміщені ротор і статор, з можливістю їх переміщення один відносно одного (рис. 4, а). При цьому однакові кінці обмоток статора з'єднані між собою та виходять до електричного випрямляча, вихідні затискачі якого під'єднані до ємнісного накопичувача – іоністора. Останній через діод заряджає акумуляторну батарею, що через вимикач підключається до навантаження (рис. 4, б). Ротор електрогенератора обертається відносно своєї осі під дією рейки приводу електрогенератора через циліндричний мультиплікатор, що підвищує кутову швидкість обертання.

Розглянемо принцип роботи енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором. Принцип дії запропонованого пристрою пояснюється схематичними кресленнями (рис. 4) [16]. При натисканні на електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором, його натискна кришка 1 (рис. 4, а), що з'єднана герметичним сполученням кришки з корпусом 4, починає рухатися вниз під дією сили натискання, тим самим переміщуючи рейку приводу електрогенератора 2, яка своїми зубцями зчеплена з шестернею приводу електрогенератора 8.

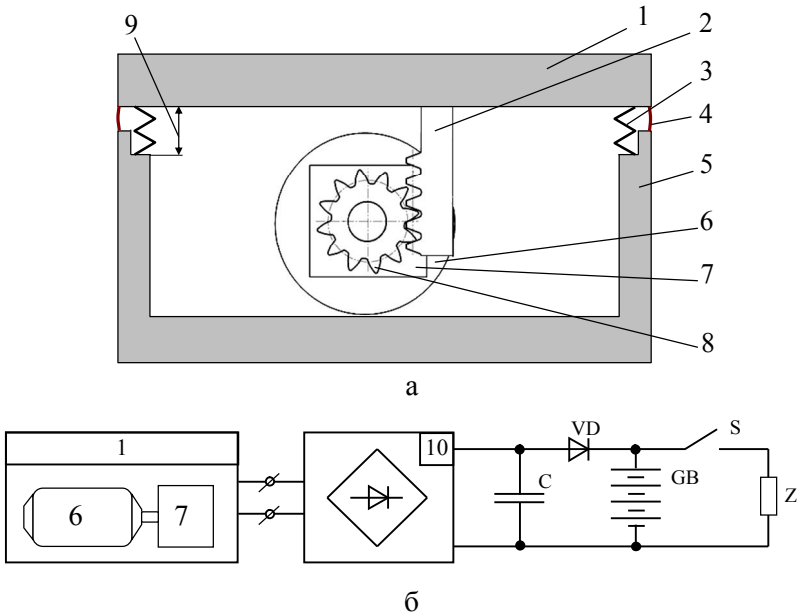


Рис. 4. Конструкція енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором: а – конструкція пристрою; б – схема електрична принципова пристрою: 1 – натискна кришка; 2 – рейка приводу електрогенератора; 3 – пружини; 4 – герметичне з'єднання кришки з корпусом; 5 – корпус; 6 – електрична машина (електрогенератор); 7 – мультиплікатор; 8 – шестерня приводу електрогенератора; 9 – робочий хід натискної кришки;10 – електричний випрямляч; С – ємнісний накопичувач; VD – діод; GB – акумуляторна батарея; S – вимикач; Z – навантаження

Рейка приводу електрогенератора 2 переміщується вниз на весь робочий хід натискної кришки 9, поки натискна кришка 1 не ляже на корпус 5, і тим самим обертає шестерню приводу електрогенератора 8, яка жорстко кріпиться на валу ротора електричної машини 6 та мультиплікатора 7. Мультиплікатор 7 призначений для збільшення кутової швидкості обертання ротора електричної машини 6.

Ротор електрогенератора, обертаючись відносно своєї осі, наводить ЕРС в обмотках статора електричної машини 6. При зніманні ноги з електромеханічного пристрою перетворення кінетичної енергії в електричну, пружини 3 повертають натискну кришку 1 в початкове положення, а ротор електрогенератора, під дією рейки приводу електрогенератора 2 через шестерню приводу електрогенератора 8, починає обертатися у зворотному напрямку і наводить ЕРС в обмотках статора з від'ємним значенням. Обмотки статора електрогенератора підключені до електричного випрямляча 10 (рис. 4, б). При наведенні ЕРС по обмотках починає протікати змінний електричний струм, а після його випрямлення на електричному випрямлячі 10, він заряджає ємнісний накопичувач С – іоністор та через діод VD – акумуляторну батарею GB. Вимикач S вмикає електроживлення до навантаження Z.

Таким чином, запропонована конструкція енергогенеруючої сходинки з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором дозволяє збільшити ефективність перетворення енергії від натискання в електричну за рахунок використання електромеханічного перетворювача енергії на базі електричної машини. При цьому габаритні показники пристрою залишаються такими ж, як і у попередніх схемах (рис. 1–3).

Аналіз схемних рішень

Найбільш простим та зрозумілим, як у плані технічної реалізації, так і з точки зору фізичних процесів, що протікають, представляється перше з наведених схемних рішень (рис. 1). Але слід зазначити, що для його ефективної роботи повинні буди досить різкі натискання. Це очевидно з принципу його роботи [17]. Комбінування в одному пристрої двох джерел перетворення кінетичної енергії від натискання в електричну, що запропоновано у пристрої «Енергогенеруюча сходинка з лінійним електрогенератором та п'єзокерамікою» (рис. 2), призведе до підвищення ефективності процесу, як перетворення енергії, так і її генерації, але використання п'єзокераміки (п'єзогенераторів) призводить до значного подорожчання самого пристрою. Це зумовлено як наявністю додаткових перетворювачів енергії, так і систем електроживлення та управління цими системами. Також слід відзначити фактор невеликої надійності п'єзокераміки, тобто її нездатність працювати тривалий час в умовах постійного фізичного навантаження [18]. Отже, як з економічної точки зору, так і з позиції тривалої безвідмовної роботи, до другої схеми є певні застереження.

Енергогенеруючі сходинки, що основані на принципі дії електричних машин з обертанням ротора, є більш ефективними з точки зору перетворення кінетичної та механічної енергії обертання в електричну. Вартість і надійність малопотужних електромашинних генераторів також є прийнятними. Це обумовлено тривалим (майже двохсотрічним) їх використанням у промисловості та побуті, а отже їх масовим виробництвом та поширенням майже у всі сфери життя та діяльності людства. Це все привело до їх вдосконалення та забезпечення досить добрих показників надійності і ККД [19].

Пристрій «Енергогенеруюча сходинка з електричною машиною обертального типу» (рис. 3) – це безпосередній аналог динамомашини [20], механічний привод якої здійснюється від рейки приводу із зубчастою передачею моменту дії. Оскільки хід натискної кришки у запропонованих енергогенеруючих сходинках, через необхідність забезпечення комфорту та зручності людей, повинен бути не більше 10 мм, то перетворення лінійного переміщення в обертання буде мати малі кінцеві показники. Природньо, що для покращення цих показників необхідно ввести додатковий елемент – мультиплікатор (редуктор). Використовуючи механічні мультиплікатори з передатними числами від 1:2 до 1:10, можна значно підвищити ефективність пристрою та збільшити кінцевий показник генерації електроенергії.

Зрозуміло, що можна збільшити передатне число мультиплікатора, але слід прораховувати ККД процесу перетворення енергії і ККД ланок передачі енергії та крутного моменту в ньому. Також вибір механічного мультиплікатора та його передатного числа залежить від конструктивних особливостей енергогенеруючої сходинки та від потужності електромашинного перетворювача [21]. Отже, найбільш

привабливим та ефективним є пристрій «Енергогенеруюча сходинка з електричною машиною обертального типу та мультиплікатором» (рис. 4).

Експериментальна перевірка

Для перевірки працездатності енергогенеруючої сходинки, виконаної за схемою технічного рішення (рис. 4), було виготовлено один елемент експериментального зразка такої сходинки (рис. 5) та проведено цикл експериментальних досліджень.

Рис. 5. Експериментальний зразок енергогенеруючої сходинки: 1 – натискна кришка; 2 – електрична машина (електрогенератор); 3 – корпус; 4 – мультиплікатор; 5 – рейка приводу електрогенератора

На рис. 6 подано типовий графік згенерованої потужності від часу при здійсненні одного натискання на елемент експериментального зразка пристрою. Перша напівхвиля відповідає процесу натискання, друга – зніманню навантаження з натискної кришки енергогенеруючої сходинки.

Інтегрування отриманих графіків (рис. 6) дало змогу визначити, що за 1 натискання (відповідає 1 натискному кроку) було згенеровано 0,17 Вт·год. Отже, розроблений елемент енергогенеруючої сходинки при здійсненні на нього 1000 кроків згенерує 170 Вт·год. Якщо енергогенеруюча сходинка буде складатися з 4 таких елементів, то вона згенерує 680 Вт·год, а при 10 000 кроках – 6,8 кВт·год.

Кількість елементів в одному такому пристрої визначається технічними умовами його встановлення та місцем розташування.

За наявності 10 таких пристроїв з кількістю натискань ~ 10 тис. за один день можна отримати ~ 68 кВт·год згенерованої електричної енергії.

Таким чином, створюються умови часткової або повної заміни централізованого електроживлення (на освітлення території, приміщень, коридорів, залів, холів тощо) децентралізованим екологічним джерелом енергії.

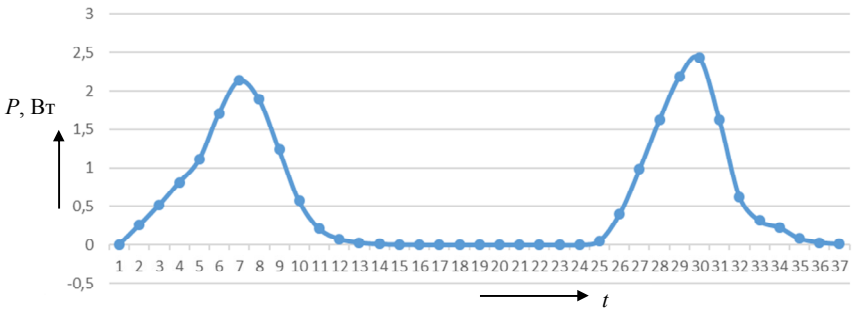


Рис. 6. Графік вимірювання зненерованої потужності при одному натисканні на один елемент енергогенеруючої сходинки (відстань між точками виміру на осі абсцис становить 10 мс)

Запропонована енергогенеруюча сходинка може бути використана як альтернативне джерело електричної енергії у місцях з великою прохідністю людей. Встановлення таких енергогенеруючих сходинок приведе до скорочення витрат на електроживлення та економії коштів за спожиту електроенергію.

Висновки

Проведені дослідження дозволили сформулювати наступні висновки:

– проведено аналіз публікацій щодо методів та способів перетворення різних видів енергії в електричну;

– проаналізовано схеми технічних рішень щодо розробки енергогенеруючої сходинки, що перетворює кінетичну енергію в електричну. Досліджено їх переваги та недоліки;

– проведено експериментальні дослідження обраного варіанта схеми технічного рішення енергогенеруючої сходинки;

– проведені розрахунки показали, що за наявності 10 таких пристроїв з кількістю натискань ~ 10 тис. за один день можна отримати ~ 68 кВт·год згенерованої потужності електричної енергії.

Література

1. Гнатов А.В. Енергозберігаючі технології на транспорті – новітня спеціальність для освітньо-кваліфікаційного рівня магістр / А.В. Гнатов, Щ.В. Аргун, О.А. Ульянець // Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці: зб. наук. пр. за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції, 16 березня 2017 р., м. Харків. – 2017. – С. 23–28.
2. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Луганськ: Місячне сяйво, 2009. – 696 с.
3. Пат. 106587 України, H02K 7/00, H02K 7/12, H02K 35/00, H02K 35/02 Пристрій генерування електричної енергії / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т, Гнатов А.В. – № u 2015 11853 заявл. 30.11.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
4. Pavegen: Using the Pavement to Generate Energy // Матеріали сайту – 2014. – Режим доступу: https: //landarchs.com/ pavegen-pavement/.
5. Xiaofeng Li. Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. Energy Conversion and Management / Xiaofeng Li , Vladimir Strezov. – September, 2014. – С. 435–442.
6. Пат. 2 482 568 Росії, H01L 41/11. Сбор энергии с дорог и взлетно-посадочных полос / Абрамович Х., Хараш Е. и др.; заявл. 20.03.2012; опубл. 20.05.2013.
7. Пат. 2499350 Росії, H02N. Пьезоэлектрический генератор постоянного тока на основе эффекта Казимира / Ской В.Р.; заявл. 19.03.2012; опубл. 20.11.2013.
8. Cafiso Salvatore; Cuomo M. Experimental Analysis for Piezoelectric Transducers Applications into Roads Pavements. Advanced Materials Research 684: 253–257. (2013).
9. Welcome to Solar Roadways. 2016. Available online: http://www.solarroadways.com.
10. Pat. US D712,822 S United States. Solar Roadway Panel / Brusaw S., Brusaw J. – Declared 19.04.2013; Publ. 9.09.2014.
11. Shalabh R.B. Converting sound energy to electric energy / R.B. Shalabh // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – Vol. 2, Issue 10, October 2012.
12. Xinyu Xue. Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell / Xinyu Xue, Sihong Wang. Nano Letters, 2012.
13. Пат. 106588 України, H02K 7/12. Спосіб генерування електричної енергії від кроків людського потоку / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Гнатова Г.А.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А.В. – № u 2015 11854 заявл. 30.11.2015; опубл. 25.04.2016, Бюл. № 8.
14. Пат. 121489 України, H02K 7/00, H02K 7/12. Пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Дзюбенко О.А; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т, Гнатов А. В. – № u 2017 05463; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.
15. Пат. 121491 України, H02K 7/00, H02K 7/12, H02K 35/00, H02K 35/02. Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну / Гнатов А.В., Аргун Щ.В.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А. В. – № u 2017 05465; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.
16. Пат. 121490 України, H02K H02K 7/00. Електромеханічний пристрій перетворення кінетичної енергії в електричну з мультиплікатором / Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Дзюбенко О.А; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун.-т., Гнатов А. В. – № u 2017 05464; заявл. 02.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23.
17. Электротехника и электроника: в 3-х кн. / под ред. В.Г. Герасимова. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины. – М.: Высшая школа. – 2007.
18. Shenck N.S. Energy scavending with shoe-mounted piezoelectric / N.S. Shenck, J.A. Paradiso // IEEE Micro. May-June. – 2001. – Vol. 21, no. 3.
19. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская. – М.: Академия, 2010. – 288 с.
20. Шенфер К.И. Динамомашины и двигатели постоянного тока: учебник для

энергетических втузов / К.И. Шенфер. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство. Главная редакция энергетической литературы, 1937. – 436 с.
21. Анфимов М.И. Редукторы. Конструкции и расчет / М.И. Анфимов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1993. – 463 с.

References

1. Hnatov, A.V., Arhun, Shch.V., Ul'ya nets, O.A. (2017). Enerhozberihayuchi tekhnolohiyi na transpo-rti – novitnya spetsial'nist' dlya osvitn'o-kvalifikatsiynoho rivnya mahistr [Energy-saving technologies in transport - the newest specialty for the educational-qualification level of the master] // Synerhetyka, mekhatronika, telematyka dorozhnikh mashyn i system u navchal'nomu protsesi ta nautsi: zbirnyk naukovykh prats za materialamy mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, 16 March 2017 p., Kharkiv: KhNADU, 209, 23-28 [in Ukraian].
2. Praktychnyy posibnyk z enerhozberezhennya dlya obyektiv promyslovosti, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny [Practical guide to energy saving for the objects of industry, construction and housing and communal services of Ukraine]. Luhans'k: Misyachne syayvo, 2009, 696 [in Ukraian].
3. Pat. UA 106587 Hnatov A.V., Arhun Shch.V., Hnatova H. A. Prystriy heneruvannya elektrychnoyi enerhiyi [Electric power generation device] no. u201511853 zayavl. 30.11.2015; opubl. 25.04.2016, Byul. no. 8.
4. Pavegen: Using the Pavement to Generate Energy. Retrieved from: https://landarchs.com/pavegen-pavement/.
5. Xiaofeng Li, Vladimir Strezov. (2014). Modelling piezoelectric energy harvesting potential in an educational building. Energy Conversion and Management. September, 435-442.
6. Pat. RF 2 482 568 Abramovich H., Harash E. Sbor energii s dorog i vzletno-posadochnyih polos [Collection of energy from roads and runways], zayavl. 20.03.2012; opubl. 20.05.2013.
7. Pat. RF 2499350 Skoy V. R. Pezoelektricheskiy generator postoyannogo toka na osnove effekta Kazimira [Piezoelectric DC generator based on the Casimir effect] zayavl. 19.03.2012; opubl. 20.11.2013.
8. Cafiso Salvatore; Cuomo M. (2013). Experimental Analysis for Piezoelectric Transducers Applications into Roads Pavements. Advanced Materials Research 684, 253-257.
9. Welcome to Solar Roadways (2016). Retrieved from: http://www.solarroadways.com.
10. Pat. US D712,822 S United States. Solar Roadway Panel / Brusaw S., Brusaw J. – Declared 19.04.2013; Publ. 9.09.2014.
11. Shalabh, R.B. (2012). Converting sound energy to electric energy // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 2, 10.
12. Xinyu, Xue, Sihong, Wang (2012). Hybridizing Energy Conversion and Storage in a Mechanical-to-Electrochemical Process for Self-Charging Power Cell. Nano Letters, .
13. Pat. UA 106588 Hnatov A.V., Arhun Shch.V., Hnatova H. A. Sposib heneruvannya elektrychnoyi enerhiyi vid krokiv lyuds'koho potoku [The method of generating electric energy from the steps of the human stream] no. u201511854, zayavl. 30.11.2015; opubl. 25.04.2016, Byul. no. 8.
14. Pat. UA 121489 Hnatov A.V., Arhun Shch. V., Dzyubenko O.A. Prystriy peretvorennya kinetychnoyi enerhiyi v elektrychnu [A device for converting kinetic energy into electric], no. u201705463; zayavl. 02.06.2017; opubl. 11.12.2017, Byul. no. 23.
15. Pat. UA 121491 Hnatov A.V., Arhun Shch.V. Elektromekhanichnyy prystriy peretvo-rennya kinetychnoyi enerhiyi v elektrychnu [Electromechanical device for converting kinetic energy into electric], no. u201705465; zayavl. 02.06.2017; opubl. 11.12.2017, Byul. no. 23.
16. Pat. UA 121490 Hnatov A.V., Arhun Shch. V., Dzyubenko O.A. Elektromekhanichnyy prystriy peretvo-rennya kinetychnoyi enerhiyi v elektrychnu z mul'typlikatorom [Electromechanical device for converting kinetic energy into electric with a multiplier], no. u 2017 05464; zayavl. 02.06.2017; opubl. 11.12.2017, Byul. no. 23.
17. Gerasimova, V.G. (2007). Elektrotehnika i elektronika. V 3-h kn. Kn. 2. Elektromagnitnyie ustroystva i elektricheskie

mashinyi [Electrical engineering and electronics in 3 books. Book. 2. Electromagnetic devices and electrical machines], Moscow: Vyisshaya shk. [in Russian].
18. Shenck, N.S., Paradiso, J.A. (2001). Energy scavending with shoe-mounted piezo-electric // IEEE Micro. May-June, 21, 3.
19. Goldberg, O.D., Helemskaya, S.P. Nadezhnost elektricheskih mashin [Reliability of electrical machines], Moscow: Akademiya, 288 [in Russian].
20. Shenfer, K.I. (1937). *Dinamomashinyi i dvigateli postoyannogo toka* [*Dynamos and DC motors*], 5-e izd-e, dop. M.-L.: Ob'edinennoe nauchno-tehnicheskoe izdatelstvo. Glavnaya redaktsiya energeticheskoy literaturyi, 436 [in Russian].
21. Anfimov, M.I. (1993). *Reduktoryi. Konstruktsii i raschet* [*Constructions and calculation*], 4-e izd., pererab. i dop., Moscow: Mashinostroenie, 463 [in Russian].

Гнатов Андрій Вікторович, д.т.н., проф., +38 066-743-08-87, kalifus76@gmail.com

Аргун Щасяна Валіковна, к.т.н., доц., тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com

Дзюбенко Олександр Андрійович, к.т.н., доц., тел. +38 0667684116, dzyubenko.alan@gmail.com

кафедра автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25,

SELECTION OF THE TECHNICAL SOLUTION SCHEME OF THE ENERGY GENERATING STEPS

Hnatov A., Arhun Shch., Dzyubenko O., KhNAHU

Abstract. Problem. *Energy saving and energy efficiency is the pressing issue for now. One way to solve this problem is the implementation of various types of systems and devices that not only fulfill the function of energy saving but are also able to generate a certain amount of energy for its further use. Such pieces of equipment that are small, have good mobility and can easily be installed, are particularly relevant. One of the types of them is a power generating step based on a conversion of kinetic energy into electrical one.* ***Goal.*** *Investigation of technical solution schemes for the development of the power generating steps, converting kinetic energy into electrical one and experimental testing of the chosen solution.* ***Methodology.*** *We used the analytical methods of research on the development and application of methods and devices for transforming the kinetic energy into electricity. Also, experimental methods of research and mathematical methods of processing experimental research were used.* ***Results.*** *The analysis of publications on the ways of converting various types of energy into electric power was carried out. The technical decision schemes concerning the development of the energy generating steps that transform kinetic energy into electric one were analyzed. The advantages and disadvantages of the existing schemes of the energy generating steps were explored. The chosen version of the scheme of the technical solution of the energy generating steps was experimentally investigated. The performed calculations showed, that if there are 10 such devices with the pressing number ~ 10 thousand in a day, you can receive ~ 68 kW/Year of generated power of electrical energy.* ***Originality.*** *We improved the method of determination of the parameters of generated electric energy during its transformation. The modes of converting kinetic energy into electric one found further development by improving the structural elements of the system.* ***Practical value.*** *The proposed power generating step can be used as an alternative source of electric energy in crowded places with intensive people traffic. Installing such power generating steps will lead to reduced costs on electricity.*

Key words: *energy generating tile, conversion of electrical energy, alternative energy source, energy-saving, energy-efficient technology.*

ВЫБОР СХЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ СТУПЕНЬКИ

Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Дзюбенко А.А., ХНАДУ

Аннотация. *На данный момент важной является проблема энергосбережения и энергоэффективности. Один из путей ее решения – внедрение различного рода систем и устройств, которые выполняют функцию энергосбережения и способны сами генерировать определенное количество энергии. Проведено исследование схемотехнических решений энергогенерирующей ступеньки, которая преобразует кинетическую энергию в электрическую. Выполнена экспериментальная апробация выбранного решения. Показано, что одна ступенька способна сгенерировать 6,8 кВт·ч электроэнергии при 10 тыс. нажатий на нее.*

Ключевые слова: *энергогенерирующая ступенька, преобразование электрической энергии, альтернативный источник энергии, энергосбережение, энергоэффективные технологии.*