

УДК 621.47
DOI [https://doi.org/10.15589/znp2026.1\(503\).1.33](https://doi.org/10.15589/znp2026.1(503).1.33)

HOUSEHOLD SOLID-FUEL THERMOELECTRIC POWER SOURCE

ПОБУТОВЕ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНЕ ДЖЕРЕЛО ЖИВЛЕННЯ
НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ

Oleksandr D. Shtanko

oleksandr.shtanko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-3572-7915

Maryna B. Litvinova

maryna.litvinova@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-4917-2132

Oleg M. Dudchenko

kbnuos@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7724-0892

Svitlana O. Karpova

svitlana.karpova@nuos.edu.ua
ORCID: 0009-0004-6728-9272

О. Д. Штанько,

канд. фіз.-мат. наук, доцент

М. Б. Літвінова,

докт. пед. наук, канд. фіз.-мат. наук, професор

О. М. Дудченко,

канд. техн. наук, професор

С. О. Карпова,

старший викладач

Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Херсон*

Abstract. *The purpose* of the work is to develop and create a thermoelectric power source that has a low cost and operates on solid fuel. *Method.* During the study, a combination of analytical, computational and experimental methods was used to develop the optimal design of a thermoelectric generator and determine the conditions of its use. The following tasks were solved in the work: to create a thermoelectric device for charging mobile gadgets using solid fuel; to investigate the functioning of the device using different types of solid fuel; to provide recommendations for its optimal use.

Results. The paper describes the development and creation of a low-cost device based on a thermoelectric generator for charging mobile gadgets using solid fuel with an output voltage of 5.8 ± 0.2 V. Based on the ratio of optimal parameters in the generator, two MTG2-1.13-127T2S thermoelectric modules based on bismuth telluride were used. The maximum temperature for their hot side is 230 °C. For effective cooling of the other side of the modules to a temperature of 50 °C, a Deepcool SK-AM209 V2 processor cooler powered by the generator itself was used. The operation of the device using different types of solid fuel was also experimentally investigated, its cost was calculated, which is within 30 US dollars, and recommendations were given regarding the optimal conditions for its use.

Practical importance. The device can be used in domestic and field conditions. The main type of fuel for the device is charcoal, the time of stable burning (smoldering) of 50 g of which exceeds 90 minutes. This provides sufficient energy and power for quick charging of mobile gadgets for 1.5 hours.

Scientific novelty. Similar devices available for sale outside Ukraine are expensive and therefore not in demand by Ukrainian consumers. A thermoelectric power source, which is affordable for a wide range of consumers and convenient to use both in domestic and field conditions, is an original development ready for implementation in industrial production.

Key words: thermoelectric module; generator; fuel; energy; power.

Анотація. *Метою роботи* є розробка та створення термоелектричного джерела живлення, що має невисоку вартість та працює на твердому паливі. *Методика.* Під час дослідження було використано комбінацію аналітичних, розрахунково-дослідницьких та експериментальних методів для розробки оптимальної конструкції термоелектричного генератора та визначення умов його використання. В роботі вирішувалися наступні завдання: створити термоелектричний пристрій для зарядки мобільних гаджетів з використанням твердого палива; дослідити функціонування пристрою за допомогою різних типів твердого палива; надати рекомендації стосовно його оптимального застосування.

Результати. В роботі розроблений і створений низьковартісний пристрій на основі термоелектричного генератора для зарядки мобільних гаджетів з використанням твердого палива з вихідною напругою $5,8 \pm 0,2$ В. По співвідношенню оптимальних параметрів в генераторі були використані два термоелектричних модулі MTG2-1,13-127T2S на основі телуриду вісмуту. Максимальна температура для їх гарячої сторони складає 230°C . Для ефективного охолодження іншої сторони модулів до температури 50°C використано кулер для процесора Deerscool CK-AM209 V2, заживлений від самого генератора. Також експериментально досліджено роботу пристрою із використанням різних видів твердого палива, розрахована його вартість, яка знаходиться в межах 30 доларів США, надані рекомендації стосовно оптимальних умов його застосування.

Практична значимість. Пристрій можна застосовувати в побутових і польових умовах. Основним видом палива для пристрою визначено деревне вугілля, час стабільного горіння (тління) 50 г якого перевищує 90 хв. Це надає достатню енергію і потужність для швидкої зарядки мобільних гаджетів протягом 1,5 годин.

Наукова новизна. Відповідні пристрої, що є в продажу за межами України, мають високу вартість і тому не затребувані українськими споживачами. Термоелектричне джерело живлення, що є доступним за ціною для широкого кола споживачів і зручне для використання як в побутових, так і в польових умовах, є оригінальною розробкою, готовою до втілення в промислове виробництво.

Ключові слова: термоелектричний модуль; генератор; паливо; енергія; потужність.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Як показав досвід останніх років під час військових дій насамперед страждає енергоструктура країни. Протягом тривалого часу може бути відсутнє енергопостачання, що в побуті вимагає додаткових джерел її отримання. Аналогічна потреба може виникнути під час природних катаклізмів, а також тривалого перебування в польових умовах за межами доступу до джерел електрики. Найбільш необхідними, в таких випадках, є джерела довготривалого живлення для мобільних пристроїв, що забезпечують зв'язок. В Україні найбільш розповсюдженими джерелами є павербанки і невеликі переносні побутові зарядні станції. Але вони мають значний недолік – самі потребують довготривалої (декілька годин) зарядки від зовнішнього джерела. Таку зарядку здійснити не завжди можливе, особливо за межами населеного пункту. Інші види компактних недорогих джерел для побутового забезпечення електроенергією, що зарекомендували себе на практиці, на цей час на українському ринку відсутні. Тому має актуальність створити відповідний пристрій, що є джерелом електричної енергії, є економічно доступним побутовому споживачу і зручним в переміщенні та використанні.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Пристрої на основі термоелектричних генераторів (ТЕГ), що містять один, або декілька термоелектричних модулів (ТЕМ) і призначені для використання в побутових та польових умовах, на цей час є в продажу на деяких міжнародних сайтах. Такі пристрої можна поділити на дві групи.

1. *Портативні генератори потужністю до 10 Вт.* Ці джерела найкраще підходять для зарядки ліхтариків або роботи невеликих USB-вентиляторів. Прикладом є BioLite CampStove 2+ [1]. Це джерело в якості палива використовує гілки, тріску (подріблена деревина), пелети. Воно має вбудований акумулятор на 3200 мАг. ТЕГ живить вентилятор (для бездимного

горіння) і видає 3 Вт на вихід USB. Пристрій призначений для туристів та мешканців квартир (можна використовувати на балконі).

Джерелом того ж типу є Luminiser / Candle Powered ТЕГ [2]. В ньому тепло надає звичайна свічка. Джерело видає близько 1-2 Вт, постачається в комплекті зі світлодіодною лампою і може використовуватися як аварійне нічне освітлення, коли немає батарейок чи акумуляторів.

До даного типу пристроїв також відноситься PowerPot V (від Power Practical) [3]. Джерелом тепла для нього виступає будь-яка кухонна плита або багаття. Прилад є каструлею з термоелектричним дном. Він видає стабільні 5 Вт (5V, 1A) через термостійкий USB-кабель (важливо, щоб у каструлі завжди була вода) і може використовуватися під час приготування їжі.

2. *Генератори потужністю 10–100 Вт.* Вони встановлюються на буржуйки, каміни або печі. Прикладом є пристрій Devil Watt (серія від TEGmart) [4]. Джерелом енергії для його ТЕГ є тепло від поверхні печі. В якості палива печі використовуються дрова або газ. У такого пристрою є декілька модифікацій – моделей. Потужність моделей з повітряним охолодженням знаходиться в межах від 15 до 45 Вт. Вони мають власні вентилятори для охолодження радіаторів. Потужність моделей з водяним охолодженням є вищою і знаходиться в межах від 50 до 100 Вт. Вони потребують окремого підключення до ємності з водою (наприклад, для нагріву технічної води). Робоча температура їх поверхні – до 450°C . Генератори мають вихідну напругу 12В в гнізді прикурювача та USB.

Крім того існує пристрій Thermonamic TEG45-12V [5] з потужністю 45 Вт, що встановлюється на стінку металевої печі, де паливом є дрова або вугілля. У комплекті пристрою йде кабель з клемми для зарядки автомобільного акумулятора або для живлення дванадцятивольтих лампочок. Спеціалізовану конструкцію має пристрій Rabbit Ears компанії

ТЕСТЕГ MFR [6], що монтується на димар і використовує тепло відпрацьованих газів у димоході. Система має водяне охолодження (насос працює від самого ТЕГ). Такий генератор видає потужність 100 Вт і призначений для приватних будинків з твердопаливними котлами або великими печами.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИНИ ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

На цей час смартфони та планшети без підтримки швидкої зарядки використовують стандарт USB Battery Charging ревізії BC 1.2, прийнятий у 2010 році, або власні рішення виробників, що засновані на цьому стандарті, [7]. Потужність таких зарядок становить 5–10 Вт (5В/1А – 5В/2А), що підходить для нічних циклів зарядки. Швидка зарядка смартфонів вимагає потужності 15–18 Вт.

Показникам потужності нешвидкої зарядки з першої групи відповідає тільки генератор PowerPot V, а також всі генератори другої групи. Однак слід враховувати, що час зарядки смартфона при цьому складає 3–4 години [8], що вимагає відповідної довготривалої підтримки стабільного процесу горіння в джерелі тепла для ТЕГ. Для процесу швидкої зарядки протягом 1–1,5 годин відповідну потужність більше 15 Вт мають всі генератори другої групи.

В той же час, якщо подивитися ціни на розглянуті моделі генераторів, що пропонуються їх виробниками (таблиця 1), можна побачити, що вартість пристроїв з мінімальною потужністю починається з 40 доларів США. Вартість генератора, який відповідає вимогам нешвидкої зарядки складає вже 150 \$, а генератори, що придатні для швидкої зарядки коштують більше 230 \$.

Саме з цієї причини дані пристрої відсутні на українському ринку. Виходячи з рівня середньої зарплати в Україні біля 600 \$, навряд чи українці готові викласти вказані суми для зарядки гаджетів, навіть в умовах нестабільного електропостачання. Тому існує задача створення термогенератора для зарядки мобільних гаджетів, який за ціною може зацікавити українського споживача.

Слід зазначити, що використання свічок в термоелектричних зарядних пристроях для смартфонів є малоперспективним через низьку потужність тепловіддачі свічки і малу ефективність існуючих низькотемпературних ТЕМ. Рідке паливо (гас, бензин) є більш енергоємним, але й більш небезпечним у використанні. Також воно не завжди доступне в польових умовах. Тому більш перспективними

в якості джерела горіння є багаття або інші види твердого палива.

Метою роботи є розробка та створення термоелектричного джерела живлення, що має невисоку вартість та працює на твердому паливі. В роботі вирішувалися наступні завдання: створити термоелектричний пристрій для зарядки мобільних гаджетів з використанням твердого палива; дослідити функціонування пристрою за допомогою різних типів твердого палива; надати рекомендації стосовно його оптимального застосування.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження: процес отримання термоелектрики в побутових умовах. *Предмет дослідження:* малопотужний термоелектричний генератор. Під час дослідження було використано комбінацію аналітичних, розрахунково-дослідницьких та експериментальних методів для розробки оптимальної конструкції термоелектричного генератора та визначення умов його використання.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Процес створення термоелектричного генератора складався з декількох етапів.

Перший етап – вибір термоелектричного модуля. Сучасні ТЕМ мають коефіцієнт корисної дії (ККД) або ефективність біля 7% в низькотемпературному діапазоні (температура гарячої сторони менш 350 °C) і біля 10% у високотемпературному діапазоні (температура гарячої сторони більш 350 °C), але останні також мають високу вартість. Термоелектричний елемент для пристрою обирався серед низькотемпературних ТЕМ українського виробника ТОВ Науково-виробнича фірма "Модуль" [9] за оптимальним співвідношенням ціна–потужність. Технологічно можливо за параметрами виробника було встановлено, що максимальна робоча температура таких ТЕМ складає 200 °C, а максимальна потужність при узгодженому навантаженні не перевищує 14–15 Вт. Якщо значення навантаження не відповідає оптимальному (а найчастіше, це саме так), потужність ще знижується і одного ТЕМ буде недостатньою для зарядки гаджету. По співвідношенню оптимальних параметрів були придбані два модулі MTG2-1,13-127T2S на основі телуриду вісмуту [10]. Розміри одного модуля складають 40x40x40 мм. Параметри за даними виробника, якщо різниця температур ΔT його гарячої та холодної сторін складають 50 °C, 100 °C і 150 °C, наведені в таблицях 2–4. Максимальна температура для гарячої сторони ТЕМ під час використання складає 230 °C [11].

Таблиця 1. Актуальні ціни на генератори за потужністю

Модель	Потужність	Паливо	Орієнтовна ціна
Candle TEG	1-2 Вт	Свічка	~\$40
BioLite CampStove 2+	3 Вт	Тріска/Гілки	~\$150
PowerPot V	5 Вт	Газ/Вогонь	~\$150
Devil Watt (Air)	15-45 Вт	Поверхня печі	\$230 – \$520
Devil Watt (Water)	100 Вт	Поверхня печі	~\$720

T_{hot} – температура поверхні гарячої сторони, °C;
 T_{cold} – температура поверхні холодної сторони, °C;
 U_{oc} – напруга розімкненого кола, V; I_{sc} – струм короткого замикання, A; P_{max} – потужність на узгодженому навантаженні, W; I_{opt} – струм, що відповідає узгодженому навантаженню, A; R_{opt} – узгоджене навантаження, Ω ; η – ефективність, що відповідає узгодженому навантаженню, %; $R_{\text{max}\eta}$ – навантаження, необхідне для досягнення максимальної ефективності, Ω .

Дані таблиць 2–4 дозволяють встановити, що максимальне ККД модуля MTG2-1,13-127T2S складає 4,9%, якщо $\Delta T=150^\circ\text{C}$ при температурі гарячої сторони 200°C . З графічних характеристик ТЕМ на сайті виробника [11] випливає, що досягнення потужності 15 Вт (потужність швидко зарядки мобільного телефона), тобтодесь 7,5 Вт для одного модуля можливе, якщо температура холодної сторони модуля не перевищуватиме 50°C , а температура гарячої сторони наблизитиметься до 200°C . При цьому напруга розімкненого кола ТЕМ буде складати біля 8 В на один ТЕМ. Якщо ж температура гарячої сторони буде близько 200°C , а різниця температур гарячої і холодної сторін зменшиться, то потужність буде швидко знижуватися. Тому необхідно забезпечити ефективне охолодження ТЕМ, щоб зберігати температуру холодної сторони ТЕМ в межах 50°C .

Другий етап – виготовлення термоелектричного пристрою. Для виготовлення пристрою були

використані три металеві ємності: дві зовнішні – нижня та верхня, висотою 7 см і діаметром 8,2 см з боковими ручками для зручного тримання в гарячому стані та одна внутрішня – резервуар для палива, діаметром 7 см і висотою 4,5 см. До внутрішнього резервуару також прикріплено ручку для тримання зверху. В ємностях та резервуарі для забезпечення тяги зроблені отвори в боковій поверхні та дні. В нижній зовнішній ємності вмонтовані тонкі горизонтальні металеві стрижні на відстані 6 см від дна, як опори для резервуару з паливом (рис. 1(а)). Це дозволило забезпечити кращу тягу і наблизити джерело горіння до ТЕГ.

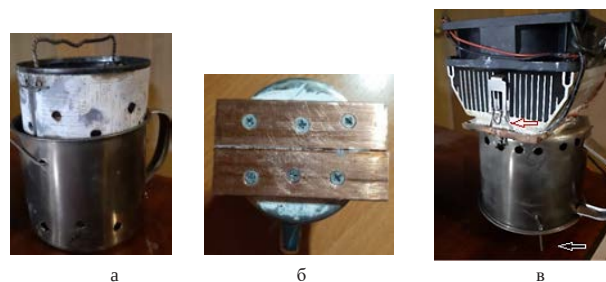


Рис. 1. Кріплення елементів пристрою:

а – резервуар для палива, встановлений в нижню ємність;

б – кріплення мідної пластини;

в – кріплення ТЕГ і охолоджувача на верхній ємності

Таблиця 2. Параметри ТЕМ MTG2-1,13-127T2S, якщо $\Delta T=50^\circ\text{C}$

$T_{\text{cold}} = 50^\circ\text{C}, T_{\text{hot}} = 100^\circ\text{C}$								
U_{oc}, V	I_{sc}, A	P_{max}, W	I_{opt}, A	R_{opt}, Ω	$\eta, \%$	$R_{\text{max}\eta}, \Omega$	$\eta_{\text{max}}, \%$	$R_t, ^\circ\text{C/W}$
2.7	1.4	0.9	0.7	2.0	2.0	2.7	2.1	1.62

Таблиця 3. Параметри ТЕМ MTG2-1,13-127T2S, якщо $\Delta T=100^\circ\text{C}$

$T_{\text{cold}} = 50^\circ\text{C}, T_{\text{hot}} = 150^\circ\text{C}$								
U_{oc}, V	I_{sc}, A	P_{max}, W	I_{opt}, A	R_{opt}, Ω	$\eta, \%$	$R_{\text{max}\eta}, \Omega$	$\eta_{\text{max}}, \%$	$R_t, ^\circ\text{C/W}$
5.4	2.5	3.4	1.3	2.2	3.7	2.9	3.8	1.53

Таблиця 4. Параметри ТЕМ MTG2-1,13-127T2S, якщо $\Delta T=150^\circ\text{C}$

$T_{\text{cold}} = 50^\circ\text{C}, T_{\text{hot}} = 200^\circ\text{C}$								
U_{oc}, V	I_{sc}, A	P_{max}, W	I_{opt}, A	R_{opt}, Ω	$\eta, \%$	$R_{\text{max}\eta}, \Omega$	$\eta_{\text{max}}, \%$	$R_t, ^\circ\text{C/W}$
8.2	3.5	7.2	1.8	2.3	4.9	3.1	5.0	1.34

В верхній зовнішній ємності отвори зроблені по колу біля перевернутого днища. Зверху на днище прикріплено мідну металеву пластину (рис. 1 (б)), яка забезпечила міцність кріплення ТЕГ із охолоджувачем та високу теплопровідність. На пластині через тонкий прошарок термопасту з паралельним електричним з'єднанням розміщені два ТЕМ MTG2-1,13-127T2S. Використання двох модулів дозволило збільшити загальну потужність ТЕГ для зарядки гаджетів.

Для вирішення питання ефективного охолодження ТЕГ був використаний кулер для процесора Deersool SK-AM209 V2 [12] з діаметром вентилятора 80 мм. Живлення кулера відбувається за рахунок електричної енергії ТЕГ. Через шар термопасту за допомогою спеціального кріплення, що використовується для його розташування на процесор в комп'ютері, цей кулер було закріплено на мідній пластині зверху ТЕГ (рис. 1 (в), кріплення вказано червоною стрілкою). За рахунок цього ТЕГ також міцно утримується на пластині. В нижній частині верхньої ємності прикріплені металеві напрямні стрижні (на рис. 1 (в) вказано білою стрілкою), що дозволяють чітко накривати нею нижню ємність з паливом і утримуватися в такому положенні. Загальну схему термоелектричного пристрою надано на рис. 2.

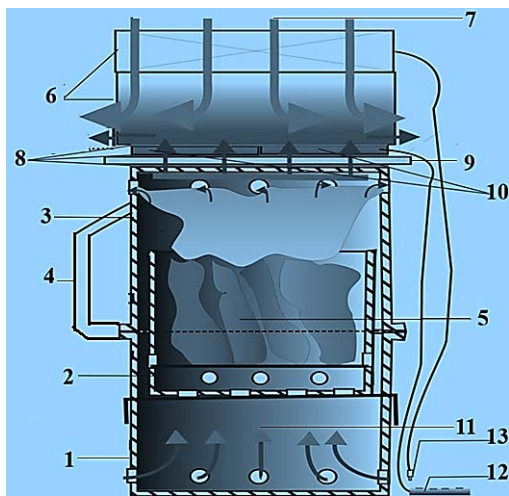


Рис. 2. Схема термоелектричного пристрою
1 – нижня ємність пристрою, в яку встановлюється резервуар для згоряння палива; 2 – резервуар для палива; 3 – верхня ємність пристрою, що накриває нижню; 4 – ручка-тримач; 5 – паливо; 6 – охолоджувач з кулером; 7 – потік повітря, що заходить через кулер; 8 – шари теплопровідної пасту; 9 – мідна пластина; 10 – ТЕМ; 11 – потік повітря через отвори в нижній ємності; 12 – USB хаб; 13 – USB вихід для під'єднання кулера

Третій етап – дослідження роботи термоелектричного пристрою на різних видах палива. В термоелектричному пристрої, що розглядається, було проведено експериментальне дослідження процесу вироблення термоерс з використанням різних джерел теплової енергії (палива). Температура на поверхнях

ТЕГ вимірювалася за допомогою термопари з точністю 0,1 °C, а напруга – за допомогою тестера з точністю 1% від шкали вимірювання. На початковому етапі досліджень кулер працював від зовнішнього джерела живлення. Були досліджені наступні види твердого палива.

Ватяна серветка з просоченням парафіном. Для збільшення кількості каналів горіння була використана ватяна серветка діаметром 6 см, просочена парафіном (для її ефективного підпалу краї серветки краще надрізати). Час стабільного горіння такого палива складав 12 хвилин, температура гарячої сторони ТЕГ – 196 °C, а максимальна напруга на ТЕГ – 5,4 В, що достатньо для короткотермінового живлення мобільного гаджету.

Сухий спирт. Використання таблеток сухого спирту в якості палива показало, що термін стабільного горіння такого палива складає 6 хвилин, температура гарячої сторони ТЕГ досягає 204 °C, а максимальна напруга – 6,2 В. Але швидке згоряння надає можливість використовувати сухий спирт тільки в якості розпалювача.

Платівки з алюмінієвою пудрою. Платівки виготовлялися на базі клейстеру, приготованого в співвідношенні 1:9 (1 частина муки до 9 частин води). До такого клейстеру додавалася алюмінієва пудра у співвідношенні 1:1. На початку експериментів планувалося, що такі платівки будуть основним тепловим джерелом для термоелектричного генератора. Але було встановлено, що максимальна температура гарячої сторони ТЕГ досягала лише 170 °C, а напруга 2,6 В. Час стабільного горіння платівки складав 16 хвилин. Слід також зазначити, що при горінні виділялася невелика кількість диму. З'ясувалося, що за рахунок достатньо високої температури й значного часу горіння такі платівки доцільно використовувати в якості розпалювача деревного вугілля.

Деревне вугілля. В експерименті використовувалися декілька сортів деревного вугілля для мангалу, придбаного в магазині. Залежно від сорту вугілля та виду розпалювача час стабільного горіння коливався від 90 до 110 хвилин. Вугілля подрібнювалося до оптимального розміру камінців в межах 2–6 см. Маса вугілля, що загрузалося в ємність для палива складала приблизно 50 г. Збільшення маси вугілля утруднювало доступ повітря і знижувало температуру гарячої поверхні ТЕМ.

В якості розпалювача можна використовувати сухий спирт, серветку, просочену парафіном та платівку з алюмінієвою пудрою (рис. 17 (б)) (остання зумовлює більшу тривалість високотемпературного тління вугілля). Протягом 1–2 хвилин вугілля розгорається на відкритому полум'ї. Потім воно накривалося верхньою частиною пристрою, доступ кисню зменшується і вугілля починало тліти. Цей процес подовжує підтримувати розпалювач. Приблизно через

10 хвилин температура гарячої сторони ТЕГ досягла максимуму і процес виходив на стабільний режим. Під час активного горіння та тління виділялася невелика кількість диму для усунення якого достатньо було звичайної кухонної витяжки. На цьому етапі досліджень живлення кулера було підключено до ТЕГ через USB хаб (рис. 2).

Було проведено дослідження залежності температури гарячої сторони ТЕГ та напруги на ТЕГ від часу горіння. Графік відповідних експериментальних залежностей одного з процесів надано на рис. 3. Температура гарячої сторони ТЕГ під час стабільного горіння складала 200 °С, температура холодної сторони – 60 °С (різниця температур – 141 °С), а значення напруги на ТЕГ – 5,7 В.

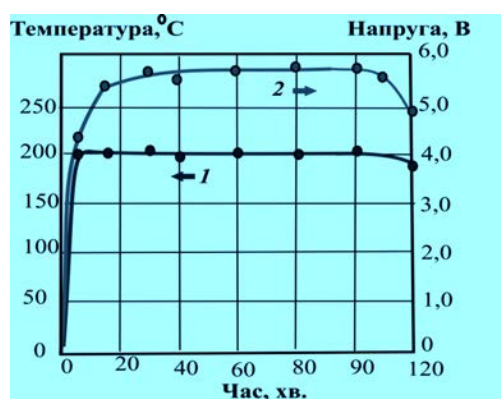


Рис. 3. Залежність від часу горіння вугільного палива температури гарячої сторони ТЕГ (крива 1) і напруги на ТЕГ (крива 2)

Дисперсія експериментальних значень визначалася за формулою:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n},$$

де x_i – i -те експериментальне значення; y_i – відповідне значення на апроксимуючій прямій; n – кількість експериментальних точок ($n=9$). За розрахунком для напруги $\sigma^2 = 0,0410$. Тоді середньоквадратична похибка σ складає $\pm 0,2025$ В. Для температури $\sigma^2 = 0,0196$, а σ дорівнює $\pm 0,14$ °С.

За 8 експериментами з різними марками вугілля середня напруга стабільного горіння склала 201 °С, напруга на ТЕГ – 5,8 В. Сила струму в ланцюзі при під'єднанні розрядженого гаджету складала 2,2 А.

Деревина тополі. Для порівняння з деревним вугіллем було проведено експеримент з деревиною тополі, яка, як вважається, має майже бездимне горіння. Був відпиляний шматок деревини, який за діаметром та довжиною відповідав розмірам ємності для палива. Він був ретельно просушений, а в його середині для забезпечення ефективної тяги прорізаний вертикальний отвір. Після розпалювання і розташування всередині пристрою горіння деревини перейшло в тліючий режим з виділенням великої кількості диму. Тому, на жаль, експеримент до кінця проведений не був. Було тільки встановлено максимальну температуру гарячої сторони ТЕГ, що складала 185 °С, і максимальну напругу – 4,9 В. По причині значної кількості диму використання деревини в побутових умовах є неможливим.

Підсумкові дані досліджень за всіма видами палива наведені в таблиці 5.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Таким чином, основним видом палива для термоелектричного пристрою визначено деревне вугілля, яке забезпечує достатню напругу і потужність для швидкої зарядки мобільних гаджетів протягом 1,5 годин (див. табл. 5). Для цього до пристрою додається USB хаб (див. рис. 2). Етапи процесу зарядки смартфона показані на рис. 3.



а



б

Рис. 3. Зарядка смартфона: а – етап розпалювання вугілля; б – етап зарядки

Собівартість пристрою не перевищує 29 доларів США (відповідні розрахунки надані в таблиці 6).

Таблиця 5. Дані за результатами досліджень різних видів палива

Паливо	Температура гарячої сторони ТЕГ, °С	Час стабільного горіння, хв	Максимальна напруга на ТЕГ, В	Наявність диму
Ватяна серветка, просочена парафіном	196	12	5,4	нема
Сухий спирт	204	7	6,2	нема
Платівки з алюмінієвою пудрою	170	16	2,6	Невелика кількість
Деревне вугілля	201	90-110	5,8	Невелика кількість
Деревина тополі	185	Не встановлено	4,9	Велика кількість

Його невеликі вага (біля 650 г), лінійні розміри (20х9х9 см) і доступність палива дозволяють використовувати пристрій не тільки в приміщенні, але й в похідних умовах.

Таблиця 6. Складові собівартості пристрою

№	Назва складової	Вартість в доларах США
1	MTG2-1,13-127T2S (2 шт.)	16,5
2	Кулер для процесора	4
3	USB-хаб	5
4	Додаткові елементи (металеві ємності, дріт, термопаста, тощо)	3,5
	Разом	29

За результатами досліджень пропонуються такі рекомендації для використання пристрою:

1. Покласти в ємність для палива близько 50 г шматків деревного вугілля розміром 2–6 см, розмістити серед них речовину для розпалювання (або таблетку сухого спирту, або надрізану ватяну серветку, просочену парафіном, або платівку з алюмінієвою пудрою) і встановити ємність з паливом в нижню зовнішню ємність пристрою.

2. Забезпечити вентиляцію повітря (в приміщенні можна використовувати побутову витяжку).

3. Підпалити розпалювач і зачекати біля однієї хвилини, щоб він добре розпалювався, після чого за допомогою ручки встановити (накрити) верхню ємність на нижню. Зачекати 10 хвилин і під'єднати мобільний гаджет для зарядки.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу інтернет-джерел встановлено, що побутові термоелектричні генератори, що пропонуються на світовому ринку на цей час, мають високу вартість і тому не затребувані в українських споживачів.

В роботі створений термоелектричний генератор для зарядки мобільних гаджетів з вихідною напругою $5,8 \pm 0,2$ В. В якості джерела енергії в ньому використовується деревне вугілля. Пристрій має резервуар для палива, два термоелектричних модуля та охолоджувач. Собівартість пристрою складає 29 доларів США.

Час стабільного горіння (тління) 50 г вугілля в пристрої перевищує 90 хв. В якості розпалювача можна використовувати сухий спирт, просочену парафіном вату і платівки з алюмінієвою пудрою. Ватяні серветки, просочені парафіном, можуть окремо використовуватися в якості палива для короткотермінового (в межах 10–12 хвилин) живлення мобільного гаджету. Розроблені рекомендації щодо правил застосування пристрою.

Пристрій пропонується до промислового виробництва. Його невелика вага (біля 650 г) і невеликі лінійні розміри, а також доступність палива дозволяють використовувати термогенератор не тільки в приміщенні, але й в похідних умовах. Низька вартість пристрою робить його доступним для широкого кола споживачів.

REFERENCES

- [1] BioLite Energy. CampStove 2+. URL: <https://www.bioliteenergy.com/products/campstove-2-plus> (date of access: 11.11.2025).
- [2] Luminiser Lantern / Powerful LED light from a tea candle. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/1698770644/luminiser-lantern-powerful-led-light-from-a-tea-ca> (date of access: 03.12.2025).
- [3] PowerPot V. Review. URL: <https://www.backcountryskiingcanada.com/PowerPot-V-Review> (date of access: 11.10.2025).
- [4] TEGmart / Wood Stove Thermoelectric Generators URL: <https://www.tegmart.com/wood-stove-thermoelectric-generators/> (date of access: 17.06.2025).
- [5] 45 Watts Thermoelectric Power Generator For Stove Description. URL: <https://www.thermonamic.com/TEG45W-English%20Specification.pdf> (date of access: 01.12.2025).
- [6] Wood stove Thermoelectric Generator Rabbit Ears. URL: <https://thermoelectric-generator.com/product/wood-stove-thermoelectric-generator-rabbit-ears/> (date of access: 30.11.2025).
- [7] Pryskorena zaryadka smartfoniv: riznovydy ta pokolinnya tekhnolohiyi. URL: <https://ek.ua/ua/post/2796/122-bystraya-zaryadka-u-smartfonov-raznovidnosti-i-pokoleniya/> (date of access: 11.12.2025). [in Ukrainian].
- [8] How Long Does It Take to Charge a Phone from 0% to 100%? URL: <https://www.pisentech.co.th/blogs/news/how-long-does-it-take-to-charge-a-phone-from-0-to-100> (date of access: 26.11.2025).
- [9] TOV Naukovo-vyrobnycha firma "Modul". URL: <https://spf-modul.com.ua/ua/contacts> (date of access: 21.11.2025). [in Ukrainian].
- [10] Pan, Yu., Li, J.-F. (2021). Thermoelectric Energy Conversion Woodhead. *Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 45-67. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818535-3.00002-5>
- [11] MTG2-1,13-127T2S (40x40). Heneratornyy termoelektrychnyy modul'. URL: <https://spf-modul.com.ua/ua/p1651514896-mtg2-113-127t2s.html> (date of access: 12.06.2025).
- [12] Kuler dlya protsesora CK-AM209 V2. URL: <https://kyiv.prom.ua/p1925616815-kuler-dlya-protsesora.html> (date of access: 24.05.2025).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] BioLite Energy. CampStove 2+. URL: <https://www.bioliteenergy.com/products/campstove-2-plus> (date of access: 11.11.2025).
- [2] Luminiser Lantern / Powerful LED light from a tea candle. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/1698770644/luminiser-lantern-powerful-led-light-from-a-tea-ca> (date of access: 03.12.2025).
- [3] PowerPot V. Review. URL: <https://www.backcountryskiingcanada.com/PowerPot-V-Review> (date of access: 11.10.2025).
- [4] TEGmart / Wood Stove Thermoelectric Generators URL: <https://www.tegmart.com/wood-stove-thermoelectric-generators/> (date of access: 17.06.2025).
- [5] 45 Watts Thermoelectric Power Generator For Stove Description. URL: <https://www.thermonamic.com/TEG45W-English%20Specification.pdf> (date of access: 01.12.2025).
- [6] Wood stove Thermoelectric Generator Rabbit Ears. URL: <https://thermoelectric-generator.com/product/wood-stove-thermoelectric-generator-rabbit-ears/> (date of access: 30.11.2025).
- [7] Прискорена зарядка смартфонів: різновиди та покоління технології. URL: <https://ek.ua/ua/post/2796/122-bystraya-zaryadka-u-smartfonov-raznovidnosti-i-pokoleniya/> (дата звернення: 30.11.2025).
- [8] How Long Does It Take to Charge a Phone from 0% to 100%? URL: <https://www.pisentech.co.th/blogs/news/how-long-does-it-take-to-charge-a-phone-from-0-to-100> (date of access: 26.11.2025).
- [9] ТОВ Науково-виробнича фірма "Модуль". URL: <https://spf-modul.com.ua/ua/contacts> (дата звернення: 21.11.2025).
- [10] Pan, Yu., Li, J.-F. (2021). Thermoelectric Energy Conversion Woodhead. *Publishing Series in Electronic and Optical Materials*, 45-67. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818535-3.00002-5>
- [11] MTG2-1,13-127T2S (40x40). Генераторний термоелектричний модуль. URL: <https://spf-modul.com.ua/ua/p1651514896-mtg2-113-127t2s.html> (дата звернення: 12.06.2025).
- [12] Кулер для процесора Deepcool CK-AM209 V2. URL: <https://kyiv.prom.ua/p1925616815-kuler-dlya-protsesora.html> (дата звернення: 24.05.2025).

© Штанько О. Д., Літвінова М. Б., Дудченко О. М., Карпова С. О.

Дата першого надходження статті до видання: 02.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)