

УДК 536

Розвер Ю.Ю.<sup>1</sup>, Тінко Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут термоелектрики НАН і МОН України,  
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;  
*e-mail: anatyach@gmail.com;*

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет  
ім. Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,  
Чернівці, 58000, Україна

---

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР З ПОРТАТИВНОЮ ПІЧКОЮ

---

*У роботі наводяться результати розробки та експериментального дослідження термоелектричного генератора, що складається з термоелектричного блоку на базі армійського казанка та портативної пічки широкого використання. Отримані результати підтверджують можливість використання термоелектричного генератора для живлення акумуляторів мобільних телефонів та різноманітних гаджетів. Досягнуті енергетичні параметри суттєво переважають найближчі існуючі аналоги. Встановлено доцільність конструктивного допрацювання вибраної портативної пічки в частині забезпечення можливості використання відкритого полум'я. Економічні розрахунки пристрою визначили середню вартість ТЕГ на рівні 170 доларів США. Бібл. 7, рис. 7, табл. 2.*

*Ключові слова:* термоелектричний генератор, фізична модель, портативна пічка.

### Вступ

Портативні джерела електричної енергії в наш час користуються активним попитом в місцях, де відсутня централізована електромережа. Інтерес до таких джерел зріс в останні роки в зв'язку з потребою заряджання електричних акумуляторів сучасних ноутбуків та гаджетів. Особливо зацікавлені в таких пристроях українські воїни на сході України. Термоелектричні генератори (ТЕГ) на твердому паливі мають серйозні переваги перед генераторами, робота яких заснована на інших фізичних принципах: фотоелектричних, вітрових. Вони більш надійні, прості в обслуговуванні, не бояться ударів та вібрацій, легко маскуються в польових умовах. За допомогою таких пристроїв можна не лише отримувати електричну енергію, а готувати й підігрівати їжу, обігріватися взимку.

Метою даної роботи являлось створення та дослідження вискоелективного портативного термоелектричного генератора, який би характеризувався низькими масо-габаритними величинами та був економічно доступним широкому колу споживачів.

### Короткий огляд портативних ТЕГ з джерелами тепла на твердому паливі з аналізом досягнутих параметрів та характеристик.

Вчені та інженери багатьох країн активно працюють над створенням більш ефективних термоелектричних портативних генераторів, які б характеризувалися меншими масо-габаритними параметрами, достатньо високими ККД та сучасним дизайном.

Пристрій **Biolite Basecamp** [1] в якості палива може використовувати опалі гілки, сухі тріски, шишки чи іншу деревину.

Потужність, що видається на порт USB цього пристрою 5 W, напруга 5 V. Вага пристрою 8.16 кг

Площа варочної поверхні 50.5 см<sup>2</sup>, діаметр пристрою 33 см. Вартість генератора складає 301 дол. США.

Недоліком цієї конструкції є значна вага та невисокі значення ККД термоелектричного перетворення. Відношення електричної потужності до ваги генератора з пічкою складає 0.6.

Термоелектричний генератор **FireBee Power Tower** [2] перетворює тепло з будь-якої переносної печі в електричну енергію для зарядки смартфонів, планшетів та других електронних гаджетів.

Пристрій може використовуватись з різними джерелами тепла, дозволяє досягати електричної потужності 10 Вт при напрузі 5В, але недоліком його є потреба для своєї роботи крім тепла пічки регулярної заміни підігрітої води на прохолодну. Це створює незручності в польових умовах та значно ускладнює використання цього пристрою.

Термоелектричний генератор [3] містить термоелектричні генераторні модулі, "гарячі" теплообмінники, "холодні" теплообмінники. "Гарячі" теплообмінники занурені у водойму гарячого гейзера, а "холодні" теплообмінники зариті у "вічній мерзлоті" або занурені у холодну водойму. Працює термоелектричний генератор наступним чином. "Гарячі" теплообмінники нагріваються від гарячої водойми гейзера і підводять тепло до термоелектричних генераторних модулів, водночас "холодні" теплообмінники відводять тепло від термоелектричних генераторних модулів і охолоджуються у "вічній мерзлоті" або у холодній водоймі. Внаслідок наявності перепаду температур, створеного "гарячими" та "холодними" теплообмінниками, термоелектричні модулі генерують електричну енергію. Таким чином, для роботи термоелектричного генератора застосовуються природні джерела нагрівання і охолодження. Таке конструктивне рішення при реальній експлуатації пристрою вимагає наявності поряд природних джерел тепла та холоду. Ця обставина робить неможливим широке географічне використання такого пристрою.

Туристичний генератор PowerSpot Mini Thermix [4] реалізовує стійку вихідну потужність 7 Вт та дозволяє провести зарядку електронних пристроїв за відповідний час:

Мобільний телефон (1500 мА·г) – 1 год 30 хв

Смартфон (3000 мА·г) – 3 год

iPhone 6 (1800 мА·г) – 1 год 45 хв

iPhone 7 (1969 мА·г) – 2 год

iPhone 7 plus (2900 мА·г) – 2 год 50 хв

iPad / планшет (6500 мА·г) – 6 год 30 хв

GoPro HERO4 (1160 мА·г) – 1 год 10 хв

Розробники декларують термін служби 50 000 годин при робочих температурах 150 °С - 400 °С. Для роботи пристрій споживає біля 50 грамів зрідженого газу. Ця обставина робить практично неможливим регулярне використання генератора в польових умовах.

*Метою даної роботи* являється створення та дослідження вискоелективного портативного термоелектричного генератора, який би характеризувався низькими масо-габаритними величинами та був економічно доступним широкому колу споживачів.

### **Фізична модель ТЕГ з джерелом тепла.**

На рис. 1 наведено фізичну модель термоелектричного генераторного блоку, яка містить термоелектричну батарею, теплопереходи для підведення і відведення тепла від батареї, пристрій для інтенсивного процесу відводу тепла і джерело тепла – рівномірно нагріту полум'ям плоскопаралельну поверхню.

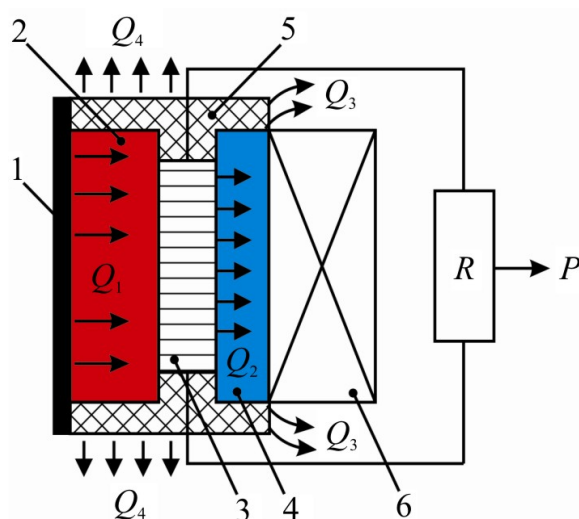


Рис. 1. Фізична модель термоелектричного генераторного блоку:  
1 – нагріта поверхня; 2 – гарячий теплоперехід;  
3 – термоелектрична батарея; 4 – холодний теплоперехід;  
5 – корпус блоку; 6 – вузол охолодження термоелектричної батареї.

Оскільки генератор вмонтований на нагріту поверхню, не розглядаються процеси теплообміну між реальним джерелом горіння палива та цією поверхнею. Вважається, що температура нагрітої поверхні є рівною температурі гарячого теплообмінника ТЕГ.

Таким чином, підведення тепла від нагрітої поверхні до гарячої сторони термобатарей та відведення тепла від холодних спайів ТЕБ до холодного теплообмінника здійснюється за рахунок теплопровідності та описується рівняннями [5]:

$$Q_1 = \frac{\lambda_T S_T}{l_T} (T_T - T_G), \quad (1)$$

$$Q_2 = \frac{\lambda_m S_m}{l_m} (T_X - T_m), \quad (2)$$

де  $\lambda_T, \lambda_m$  – теплопровідність матеріалу гарячого і холодного теплопровідників;  $l_T, l_m, S_T, S_m$  – товщина та площа гарячого і холодного теплопровідників;  $T_T, T_m$  – температури гарячого і холодного теплопровідників;  $T_G, T_X$  – температура гарячої та холодної сторони ТЕБ відповідно.

Теплова потужність  $Q_3$  відводиться від холодного теплопровідника шляхом вільної конвекції в воду, що міститься в блоці охолодження (ємність казанка):

$$Q_3 = \alpha(T_m - T_0)S_m, \quad (3)$$

де  $\alpha(\nu)$  – коефіцієнт конвективного теплообміну між холодним теплопровідником і водою в блоці охолодження;  $T_0$  – температура рідини в блоці охолодження.

Електрична потужність, яка генерується термобатарейою пропорційна  $Q_1$  та ККД термобатарей  $\eta$ :

$$P = P_{ТЕБ} = Q_1 \eta, \quad (4)$$

Основні втрати тепла  $Q_4$  відбуваються на термобатарей через теплову ізоляцію:

$$Q_4 = \frac{\lambda S_T}{L} (T_B - T_0), \quad (5)$$

де  $\lambda$  – теплопровідність ізоляційного матеріалу;  $S_T$  – площа поверхні гарячого теплопровідника, яка не зайнята термоелектричною батареєю;  $L$  – товщина шару теплоізоляції.

Рівняння теплового балансу для обраної моделі термоелектричного генератора можна записати у вигляді:

$$\begin{cases} Q_1 = P + Q_2 + Q_4, \\ Q_2 = Q_3 + Q_4 \end{cases} \quad (6)$$

Розв'язок системи рівнянь (6) дає можливість визначити основні енергетичні та конструктивні параметри термоелектричного генераторного блоку зокрема і комплексного агрегату блоку з портативною пічкою взагалі.

### Оптимізація конструкції ТЕГ.

Оптимізації генераторного блоку передував експеримент по визначенню температур елементів обраної портативної пічки [6]. На рис. 2 представлені результати таких вимірювань.

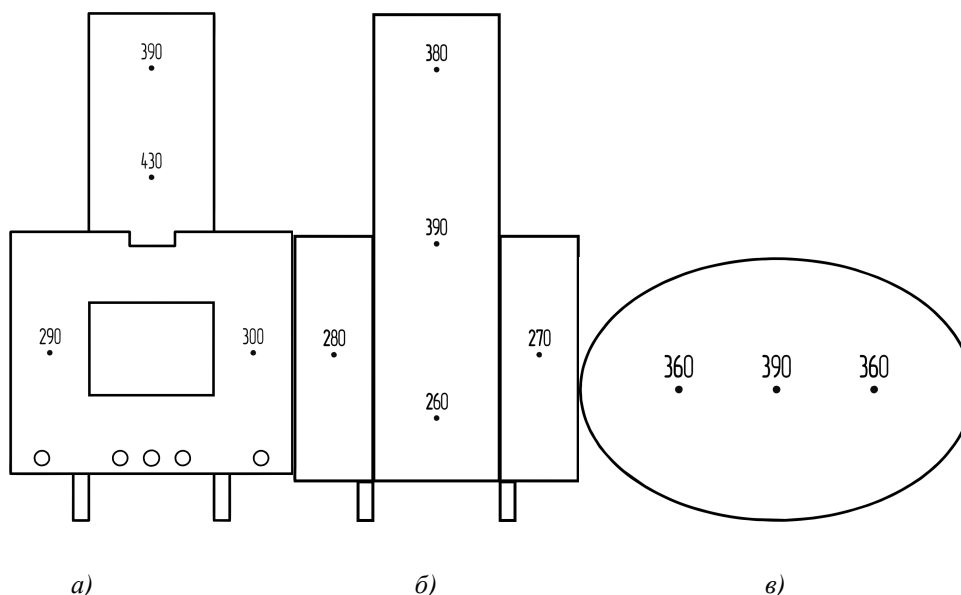


Рис.2. Результати вимірювання температур стінок пічки ( $^{\circ}\text{C}$ )  
а) – вигляд спереду, б) – вигляд ззаду, в) – вигляд зверху.

Оптимізаційні комп'ютерні розрахунки, що враховували експериментальні температурні вимірювання, дозволили визначити конструктивні параметри термоелектричного генераторного блоку, який проектувався для розміщення на варильній поверхні портативної пічки.

З комп'ютерного аналізу витікало, що блок термоелектричного генератора на базі військового казанка повинен містити в його днищі, зверненому до джерела тепла, два термоелектричні генераторні модулі. Оптимальним термоелектричним модулем для визначених температурних та теплових умов встановлено модуль Алтек- 1061.

### Розрахунок енергетичних характеристик ТЕГ з пічкою

Орієнтовна розрахункова маса дров при одному завантаженні в пічку  $m = 60\text{г} = 0,06\text{кг}$ . При спалюванні одного завантаження дров енергія  $E$ , що виділяється:

$$E = G \cdot m = 750 \text{ (кДж)} \quad (7)$$

де  $G = 12.56 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$  – теплотворна здатність дров.

Теплова потужність  $Q$ , що поглинається термоелектричними модулями:

$$\eta = \frac{P}{Q} \rightarrow Q = \frac{P}{\eta} = 110 \text{ (Вт)} \quad (8)$$

де  $P = 5 \text{ Вт}$  – генерована модулями розрахункова електрична потужність,  $\eta = 0,045$  – ККД модулів при температурах гарячої і холодної сторони  $T_r = 300^\circ\text{C}$  і  $T_x = 100^\circ\text{C}$  відповідно.

Час роботи  $t$  на одній заправці за умови мінімізації теплових втрат:

$$Q = \frac{E}{t} \rightarrow t = \frac{E}{Q} = 2 \text{ (год)} \quad (9)$$

Теплова потужність  $Q_n$ , що витрачається для нагрівання води в казанку генератора:

$$Q_n = Q - P = 105 \text{ (Вт)} \quad (10)$$

Час  $t$  нагрівання води в казанку генератора:

$$Q_n = \frac{c \cdot m \cdot (T_1 - T_0)}{t} \rightarrow t = \frac{c \cdot m \cdot (T_1 - T_0)}{Q_n} = 1 \text{ (год)} \quad (11)$$

де  $c = 4.22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – теплоємність води;

$m = 1\text{л}$  – об'єм води в казанку;

$T_1 = 100^\circ\text{C}$  – кінцева температура нагрівання води;

$T_2 = 20^\circ\text{C}$  – початкова температура води в казанку.

За умови відсутності теплових втрат, час роботи термоелектричного генератора при одному завантаженні палива орієнтовно може становити 2 год.

### Опис конструкції ТЕГ

Схема конструкції термоелектричного блока для роботи з портативною пічкою зображена на рис. 3.

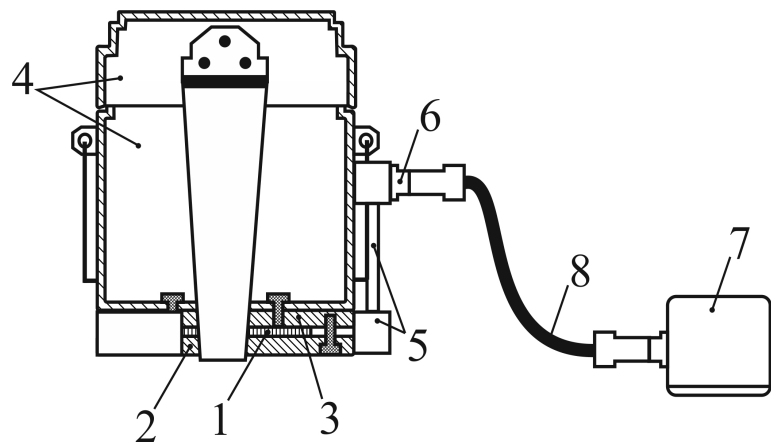


Рис.3. Схема термоелектричного блоку генератора.

- 1 – термоелектрична батарея; 2 – теплопровідна пластина;  
3 – тепловідвідна пластина; 4 – армійський казанок з кришкою;  
5 – захисний корпус; 6 – електричний вихід; 7 – електронний блок  
стабілізації напруги; 8 – з'єднувальний електричний кабель.

Для захисту електричних виводів термобатареї від прямої дії полум'я та зовнішніх механічних навантажень генератор містить захисний корпус **5**, який закінчується електричним виходом **6**. За допомогою електричного кабелю **8** термоелектричний генератор приєднується до електронного блоку стабілізації вихідної напруги **7**. Зовнішній вигляд блоку представлено на рис. 4.



Рис. 4. Зовнішній вигляд термоелектричного блоку

В Інституті термоелектрики НАН та МОН України розроблено, досліджено та стандартизовано термоелектричний блок універсального використання з різноманітними джерелами тепла та видами палива. В таблиці 1 приведені основні параметри блоку Алтек -8046 [7].

Таблиця 1

Основні параметри термоелектричного блока Алтек-8046

1	Електрична потужність, Вт	5
2	Вихідна електрична напруга, В	5.10
3	Об'єм казанка, л	1.3
4	Габаритні розміри, мм	170 × 170 × 100
5	Маса, кг	1

### Методика експериментальних досліджень

Метою проведених в Інституті термоелектрики досліджень було визначення енергетичних характеристик термоелектричного армійського казанка на портативній пічці. Проводилось вимірювання максимальної електричної потужності генератора в інтервалі температур води  $T_w = (20-100) ^\circ\text{C}$  через кожних  $10^\circ\text{C}$  з моменту розпалу пічки. Схема експерименту приведена на рис. 5.

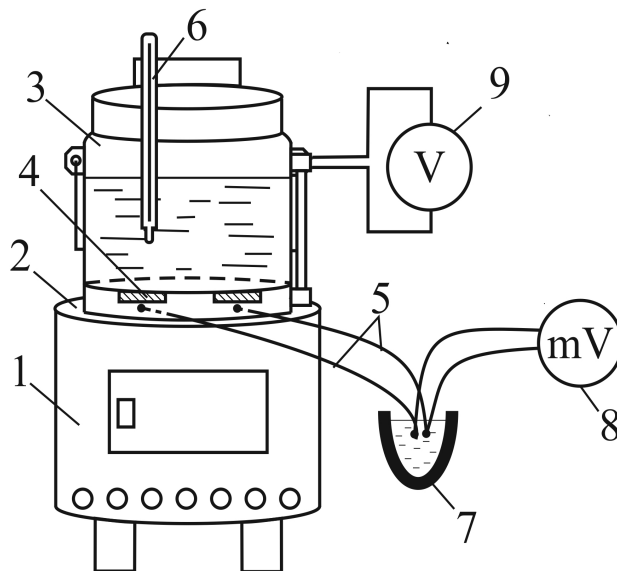


Рис. 5 Схема експерименту досліджень енергетичних характеристик термоелектричного армійського казанка.  
1 – туристична піч; 2 – варильна поверхня; 3 – термоелектричний генератор; 4 – термоелектричні модулі генератора; 5 – термопари; 6 – термометр; 7 – ємність з танучим льодом; 8 – мілівольтметр; 9 – вольтметр.

При дослідженні енергетичних характеристик генератора на всіх етапах експерименту фіксувалась витрата палива для визначення отриманої теплової потужності та ККД термоелектричного перетворення.

### Результати досліджень

Часові залежності енергетичних характеристик термоелектричного блока Алтек-8046 з портативною пічкою представлені на рис. 6.

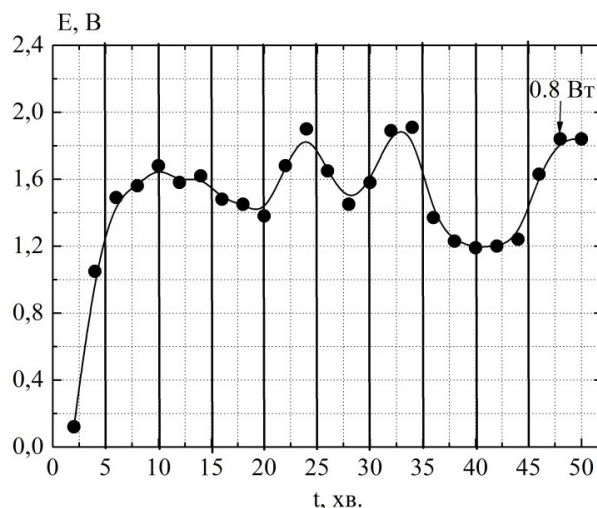


Рис. 6. Залежність електрорушійної сили  $E$  термоелектричних модулів від часу  $t$ . Вертикальними чорними лініями позначено моменти закидання палива в пічку.

При цих дослідженнях паливом використовувались дрова. Витрата дров  $g = 840$  г/год. Теплова розрахункова потужність пічки  $Q = 2,9$ кВт. Для порівняння проводилось дослідження термоелектричного генераторного блока на відкритому полум'ї від сухого спирту. На рис. 7 приведена отримана залежність електрорушійної сили та значення потужності від часу.

Порівняння отриманих результатів показало доцільність допрацювання портативної пічки, яке би дозволило експлуатувати термоелектричний блок з відкритим полум'ям. Це конструктивне рішення може покращити ефективність роботи ТЕГ в  $\sim 1,6$  рази.

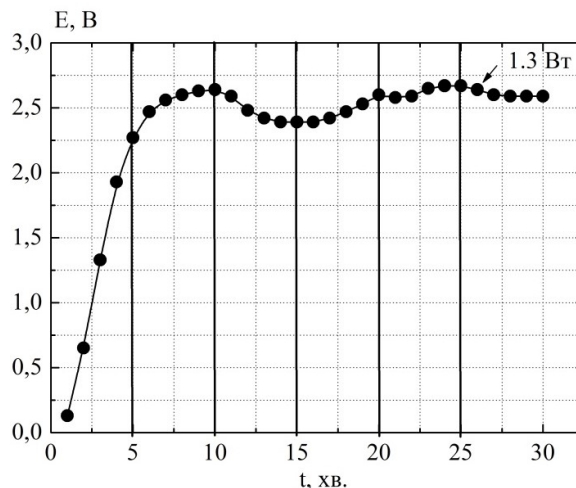


Рис. 7 Залежність електрорушійної сили від часу в варіанті відкритого полум'я



Витрата сухого спирту  $g = 420$  г/год. При цьому теплова потужність пічки становила  $Q = 3,6$  кВт. Об'єм залитої в казанок води 1 л. Досягнуті значення ККД становили для ТЕГ з портативною пічкою біля 1%. Відношення вихідної потужності до ваги пристрою з пічкою на дровах  $\sim 0.8$ ; з відкритим полум'ям 1,3. Ці величини є вищими, ніж у найближчих аналогів.

Проведені економічні розрахунки вартості розробленого пристрою. В табл. 2 представлено вартість одиничного виробу термоелектричного генератора з армійським казанком "Алтек-8046" від кількості в виготовленій партії.

Таблиця 2

*Вартість термоелектричного генератора від об'єму виготовленої партії*

Кількість в партії, шт.	1	10	100	1000
Вартість, \$	190	178	163	150

## Висновки

1. Розроблено термоелектричний генератор на базі термоелектричного блоку Алтек-8046 з портативною пічкою.
2. Дослідження, проведені на різних паливах, показали можливість використання розробленого пристрою для енергетичного забезпечення засобів сучасного зв'язку та різноманітних гаджетів.
3. Досягнуті значення вихідної електричної потужності по відношенню до ваги пристрою суттєво переважають найближчі відомі аналоги.
4. Встановлено доцільність конструктивного допрацювання вибраної портативної пічки в частині забезпечення можливості використання відкритого полум'я.
5. Енергетична ефективність ТЕГ з портативною пічкою після її вдосконалення може вирости в 1,6 рази.
6. Економічні розрахунки пристрою визначили середню вартість ТЕГ на рівні 170 доларів США.

Автори висловлюють щире подяку науковому керівнику Академіку НАН України Анатичуку Л.І. за ідею роботи та цінні поради при її виконанні.

## Література

1. <https://turkul.net/nabor-biolite-basecamp>.
2. <https://www.treehugger.com/firebee-power-tower-turns>.
3. Термоелектричний генератор UA105730 U.
4. <https://www.acsys.spb.ru/mini-generator-powerspot-mini-thermix/>
5. Пічка туристична UA 101649 U.
6. Анатичук Л.И. Термоэлементы и термоэлектрические устройства: Справочник.- Киев: Наук. думка, 1979 – 768с.
7. Термоелектричний генератор Алтек-8046. Інструкція з експлуатації.

Надійшла до редакції 09.07.2020

**Розвер Ю.Ю.<sup>1</sup>, Тинко Е.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут термоелектричества НАН і МОН України,  
ул. Науки, 1, Черновці, 58029, Україна; e-mail: [anatysh@gmail.com](mailto:anatysh@gmail.com)

<sup>2</sup>Черновицький Національний університет ім. Ю. Федьковича

**ТЕРМОЕЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР С ПОРТАТИВНОЙ ПЕЧЬЮ**

*В работе приводятся результаты разработки и экспериментального исследования термоэлектрического генератора, состоящего из термоэлектрического блока на базе армейского котелка и портативной печи широкого применения. Полученные результаты подтверждают возможность использования термоэлектрического генератора для питания аккумуляторов мобильных телефонов и различных гаджетов. Достигнутые энергетические параметры существенно превышают таковые, присущие ближайшим существующим аналогам. Установлена целесообразность конструктивной доработки выбранной портативной печи в части обеспечения возможности использования открытого пламени. Экономические расчеты устройства определили среднюю стоимость ТЭГ на уровне 170 долларов США. Библ. 7, рис. 7, табл. 2.*

**Ключевые слова:** термоэлектрический генератор, физическая модель, портативная печь.

**Rozver Yu.Yu.<sup>1</sup>, Tinko E.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Thermoelectricity of the NAS  
and MES of Ukraine,  
1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;  
e-mail: [anatysh@gmail.com](mailto:anatysh@gmail.com)

<sup>2</sup>Yu.Fedkovych Chernivtsi National University

**THERMOELECTRIC GENERATOR WITH A  
PORTABLE STOVE**

*The paper presents the results of the development and experimental research of a thermoelectric generator, which consists of a thermoelectric unit based on an army pot and a portable stove of widespread use. The obtained results confirm the possibility of using a thermoelectric generator to power mobile phone batteries and various gadgets. The achieved energy parameters significantly outperform the closest existing analogues. The expediency of constructive revision of the selected portable stove in terms of providing the possibility of using an open flame has been established. The economical calculations of the device have determined the average cost of the TEG at \$ 170. Bibl. 7, Fig. 7, Tabl. 2.*

**Key words:** thermoelectric generator, physical model, portable stove.

## References

1. <https://turkul.net/nabor-biolite-basecamp>.
2. <https://www.treehugger.com/firebee-power-tower-turns>.
3. Thermoelectric generator UA105730 U.
4. <https://www.acsys.spb.ru/mini-generator-powerspot-mini-thermix/>
5. Tourist heater UA 101649 U.
6. Anatychuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskie ustroystva: Spravochnik [Thermoelements and thermoelectric devices: Handbook]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
7. Thermoelectric generator Altec-8046. *Operating instructions*.

Submitted 09.07.2020