

Анатичук Л.І., *акад. НАН України*^{1,2}
Лисько В.В., *канд. фіз.-мат. наук*^{1,2}
Константинович І.А., *канд. фіз.-мат. наук*^{1,2}
Гаврилюк М.В.^{1,2}

¹Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatysh@gmail.com

²Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича,
вул. Коцюбинського 2, Чернівці, 58000, Україна

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР З ВІДВЕДЕННЯМ ТЕПЛА ЄМНОСТЯМИ З ВОДОЮ

У роботі наведено опис конструкції універсального термоелектричного генератора, що може працювати від довільних джерел тепла – нагрітих плоских поверхонь пічок, газових або мультитопливних туристичних примусів, відкритого полум'я тощо. Отримана від генератора електрична енергія потужністю 20–40 Вт забезпечує автономне живлення різної малопотужної радіоелектронної апаратури, портативних радіостанцій, систем мобільного зв'язку, освітлення, а також заряджання універсальних мобільних батарей – повербанків. Для відведення тепла від холодної сторони термоелектричних модулів використовуються ємності з водою, яка може використовуватись для побутових потреб. Наведено результати стендових та польових експериментальних досліджень розробленого генератора. Бібл. 30, рис. 10, табл. 1.

Ключові слова: термоелектричний генератор, термоелектричні модулі, випробування, електрична потужність.

Вступ

У даний час, в якості автономних джерел електрики, які живлять малопотужну радіоелектронну апаратуру, традиційним залишається використання хімічних джерел струму. Однак, їх суттєвими недоліками є саморозряд та низька надійність, особливо при понижених температурах навколишнього середовища та в умовах підвищених механічних навантажень.

У цьому відношенні особливо перспективними є автономні термоелектричні джерела електрики, що працюють від тепла спалювання різного палива. Вони можуть мати високий ресурс роботи, володіють підвищеною надійністю та стійкістю до кліматичних і ударних навантажень, є універсальними, безшумними в роботі та зручними в експлуатації. Над створенням таких джерел активно працюють вчені та інженери багатьох країн. Термоелектричні генератори електричною потужністю 2 – 100 Вт, що призначені для зарядки мобільних телефонів, повербанків, радіостанцій, навігаторів під час мандрівок та туристичних походів, освітлення та інших потреб, розроблено рядом компаній (TES, Biolite та ін.) [1–13].

Головною перешкодою для широкого практичного використання термоелектричних перетворювачів енергії є їх відносно висока вартість, в першу чергу зумовлена високою ціною

на термоелектричний матеріал, з якого вони виготовлені [14–16].

На вирішення цієї проблеми був спрямований цикл досліджень, проведених в Інституті термоелектрики (Україна) [17–29]. Він дозволив досягти істотного зниження вартості генераторів завдяки оптимізації технології отримання термоелектричних матеріалів, зменшення їх витрати шляхом мініатюризації термоелектричних генераторних модулів, розробці оптимальних конструкцій таких генераторів, спеціалізованих за умовами їх використання, а також обладнання для контролю якості термоелектричних матеріалів та модулів.

Метою цієї роботи є проведення, в Інституті термоелектрики, серії стендових та польових експериментальних досліджень універсальних термоелектричних генераторів різних модифікацій.

1. Опис конструкції універсального термоелектричного генератора

Схему розробленого в Інституті термоелектрики (Україна) універсального термоелектричного генератора наведено на рис. 1.

Генератор складається з термоелектричних генераторних модулів 1 типу «Алтек-1061», розміщених між гарячим 2 та холодним 4 теплообмінниками, що з'єднані між собою гвинтами 3. Для приєднання до ємності з водою генератор має спеціальні пружини з гачками 5, що забезпечують необхідну силу притиску холодного теплообмінника до дна ємності. З метою стабілізації вихідної електричної напруги використовується електронний блок 9, з'єднаний з генератором кабелем 6 з вогнетривкою ізоляцією. А для контролю температур теплообмінників на їх внутрішній поверхні у генераторі розміщено два термометри опору 7 та 8.

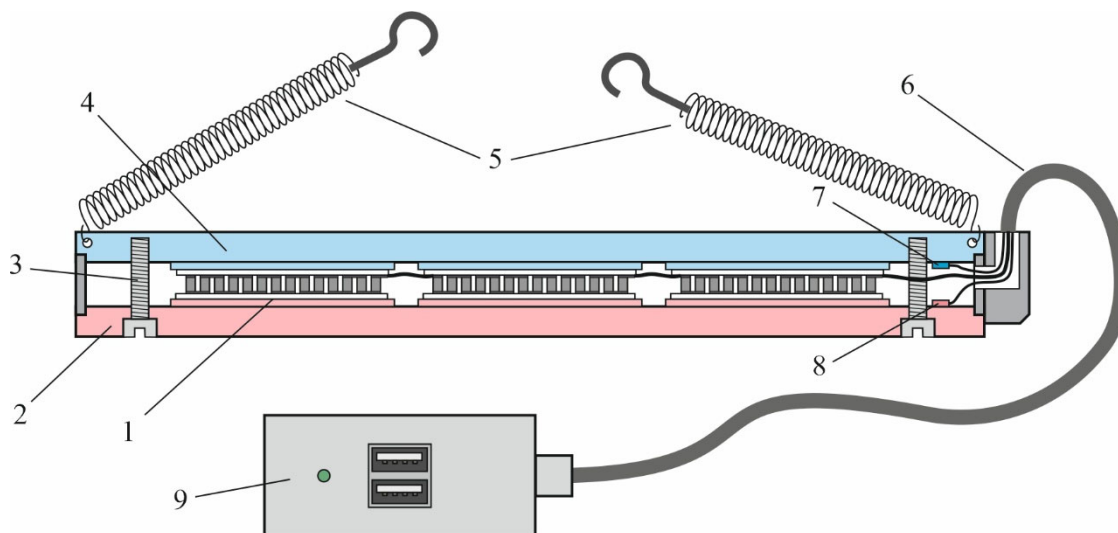


Рис. 1. Схема універсального термоелектричного генератора:

- 1 – термоелектричні генераторні модулі; 2 – гарячий теплообмінник;
3 – з'єднувальні гвинти; 4 – холодний теплообмінник; 5 – пружини з гачками
для приєднання до ємності з водою; 6 – кабель з вогнетривкою ізоляцією;
7, 8 – термометри опору; 9 – електронний блок стабілізації вихідної напруги

Зовнішній вигляд універсального термоелектричного генератора, який можна кріпити на ємності для води об'ємом 2-5 л наведено на рис. 2. Генератор може працювати від довільних джерел тепла – нагрітих плоских поверхонь пічок, газових або мультитопливних туристичних примусів, відкритого полум'я тощо. Ємність (каструля) використовується для нагріву води або

приготування їжі. Тепло, яке виділяється при згорянні палива, проходить через термоелектричні модулі та розсіюється в об'ємі каstrулі, нагріваючи воду у ній. При цьому між теплообмінниками і, відповідно, між гарячими та холодними сторонами термоелектричних модулів створюються перепади температур. Це призводить до виникнення електричної напруги на термоелектричних модулях, величина якої пропорційна цьому перепаду температур. Потужність, яка може бути отримана від термоелектричних модулів напряму залежить від потужності теплового джерела.



Рис. 2. Зовнішній вигляд універсального термоелектричного генератора:
1 – термоелектричний генератор; 2 – електронний блок стабілізації вихідної напруги;
3 – гачки на пружинах для кріплення генератора на ємності з водою

Для споживачів, зазвичай, потрібна стабільна стандартна напруга, яка найбільш часто використовується – напруга 5В постійного струму. Така напруга використовується в більшості зарядних пристроїв, а також для зарядки повербанків.

Для стабілізації вихідної напруги використовується електронний блок, який виготовлений на основі підвищувально-понижуючого перетворювача напруги. Такі перетворювачі зазвичай мають порогові значення вхідної напруги, в межах якої вони працюють. На початку роботи термоелектричного генератора різниця температур між гарячим і холодним теплообмінниками генератора буде малою і тільки при її збільшенні в процесі нагріву, вироблена термоелектричними модулями напруга буде достатньою для початку роботи схеми стабілізації вихідної напруги. Час, за який досягається вихідний режим генератора буде напряму залежати від потужності джерела тепла. Вихідна напруга з електронного блоку виводиться на два спарені USB роз'єми. Індикатором появи вихідної напруги на роз'ємі є засвічення світлодіоду зеленого кольору, який розташований поряд з USB роз'ємом. Генератор комплектується також додатковим кабелем живлення з перетворювачем напруги з 5 В на 12 В. Така напруга також може бути необхідна для живлення інших пристроїв. Цей кабель можна використовувати як з електронним блоком генератора, так і з повербанком.

Термоелектричні модулі мають визначений температурний діапазон своєї роботи і потребують захисту від перегріву. Тому в теплообмінних поверхнях встановлено датчики температури, які входять в схему світло-звукової сигналізації, що знаходиться в електронному блоці.

Для запобігання пошкоджень генератора необхідно слідкувати за температурними

режимами його роботи. При використанні різних джерел тепла, особливо з відкритим вогнем, можливий перегрів теплообмінних елементів термоелектричного блоку генератора. Про перегрів теплообмінних пластин термоелектричного блоку попереджує схема сигналізації. Вона спрацьовує тоді, коли температура холодного теплообмінника стає більше 100°C (температури кипіння води), а також коли температура гарячого теплообмінника стає більше 300°C . При перевищенні цих температур спрацьовує світло-звукова сигналізація – включається звук зумера і засвічується один з світлодіодів. Якщо засвітиться синій це означає, що википіла вода, тому потрібно долити воду. Червоне світло і звук зумера свідчить про занадто високу температуру гарячого теплообмінника. В такому випадку слід перемістити термоелектричний блок генератора, який знаходиться на джерелі тепла на менш гаряче місце, або знизити інтенсивність горіння палива. Світлодіодні індикатори знаходяться в отворах корпусу електронного блоку, зі сторони силового кабелю. Там же знаходяться отвори для виходу звуку зумера.

У розробленому термоелектричному генераторі використано високоефективні генераторні модулі типу «Алтек-1061» з розширеним діапазоном робочих температур. Модулі виготовляються з матеріалу на основі телуриду вісмуту та мають спеціальні контактні структури, що дозволяють їм витримувати температури на гарячій стороні до 350°C . Електрична потужність модулів складає 8-10 Вт, коефіцієнт корисної дії – до 6.5%.

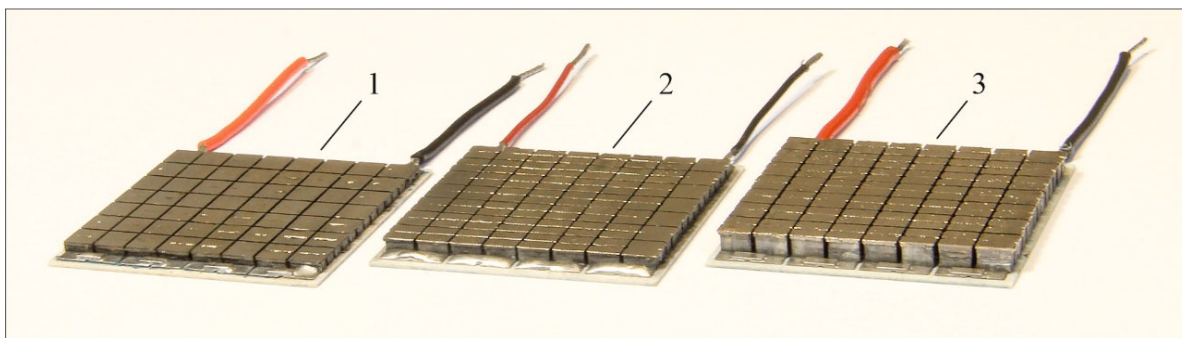


Рис. 3. Генераторні термоелектричні модулі типу «Алтек-1061» з різною висотою віток термоелементів h : 1) $h = 1.6$ мм; 2) $h = 2.1$ мм; 3) $h = 3.2$ мм

Для проведення експериментальних досліджень виготовлено термоелектричні генератори чотирьох модифікацій, які відрізняються геометричними розмірами, кількістю термоелектричних модулів та висотою віток цих модулів. Модулі виготовлені за однаковою технологією, але з різною висотою віток (рис. 3). Зменшення висоти, як показують теоретичні та експериментальні дослідження, навіть у 1.5 – 2 рази призводять до незначного зменшення ККД модулів, але дозволяє значно зменшити витрату матеріалу на їх виготовлення, а, отже, і знизити вартість термоелектричного генератора.

Основні конструктивні особливості різних модифікацій розробленого термоелектричного генератора наведено у таблиці 1. Всі модифікації мають однакову товщину гарячого та холодного теплообмінників – 5 мм. У модифікаціях А, В та С використано теплообмінники діаметром 160 мм. Ці генератори містять по три термоелектричні модулі типу «Алтек-1061» з висотою віток 1.6 мм, 2.1 мм та 3.2 мм відповідно. Модифікація D має збільшені габаритні розміри (діаметр теплообмінників – 180 мм) та містять чотири термоелектричні модулі типу «Алтек-1061» з висотою віток 3 мм. Це модифікація для отримання більшої електричної потужності і її доцільно використовувати з ємностями для води більшого об'єму – 3-7 л.

Таблиця 1

Конструктивні особливості різних модифікацій термоелектричного генератора

Модифікація	Діаметр теплообмінників, мм	Кількість модулів	Висота віток модулів, мм	Рекомендований об'єм ємності, л
A	160	3	3.2	2–5
B	160	3	2.1	2–5
C	160	3	1.6	2–5
D	180	4	3.2	3–7

2. Результати експериментальних досліджень розробленого генератора

Випробування розроблених термоелектричних генераторів було проведено як у лабораторних, так і у польових умовах. У першому випадку (рис. 4) у якості джерела тепла використовувався газовий пальник 1. Для вимірювання параметрів генератора 2, закріпленого на ємності 3, використано блок керування вимірюваннями параметрів термоелектричних перетворювачів енергії установки «Алтек-10002» 6, розробленого в Інституті термоелектрики, електронне навантаження 5 та реєстратор температур 7.

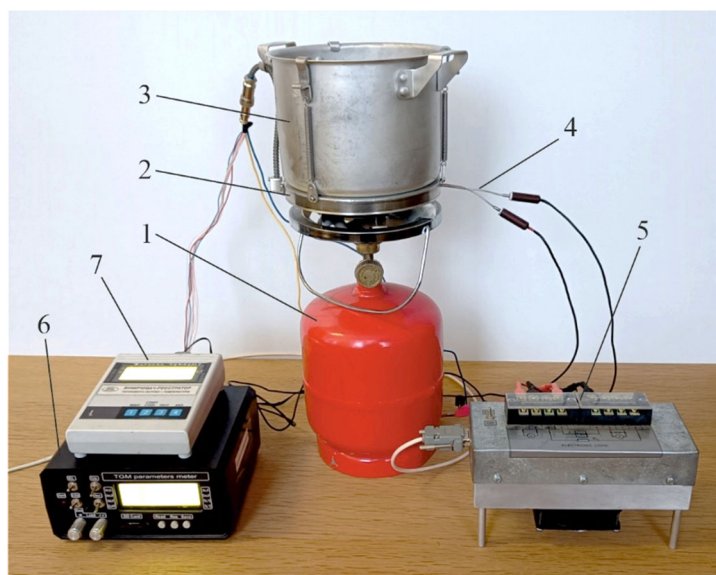


Рис. 4. Стендові випробування термоелектричного генератора:

- 1 – джерело тепла (газовий пальник); 2 – термоелектричний генератор;
 3 – ємність для води об'ємом 2.5 л; 4 – термопари; 5 – електронне навантаження;
 6 – блок керування вимірюваннями параметрів термоелектричних перетворювачів енергії установки «Алтек-10002»; 7 – блок реєстрації температур

Результати лабораторних випробувань у вигляді часових залежностей електричної потужності термоелектричних генераторів модифікацій А, В, С і D наведено на рис. 5 – рис. 8. Як видно з цих рисунків, після розпалювання пальника електрична потужність генератора швидко зростає до свого максимального значення і потім поступово зменшується до робочого режиму по мірі нагрівання води у ємності, і, відповідно, підвищення температури холодного теплообмінника.

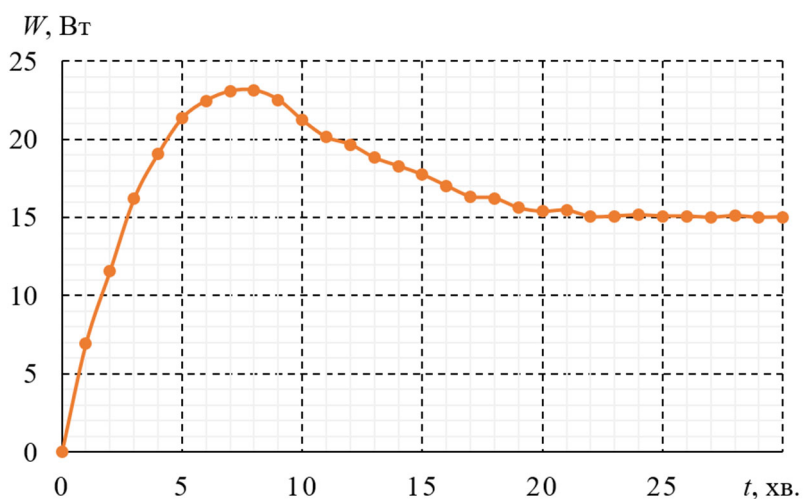


Рис. 5. Часова залежність електричної потужності термоелектричного генератора модифікації А з ємністю об'ємом 2.5 л (лабораторні дослідження на газовому пальнику)

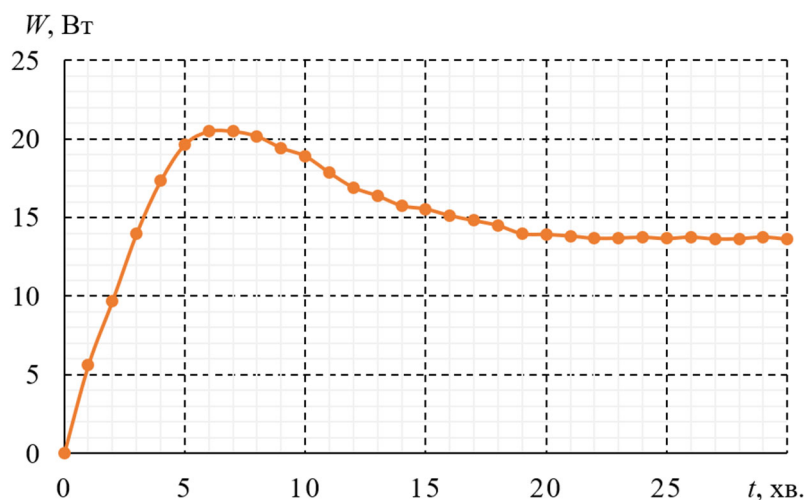


Рис. 6. Часова залежність електричної потужності термоелектричного генератора модифікації В з ємністю об'ємом 2.5 л (лабораторні дослідження на газовому пальнику)

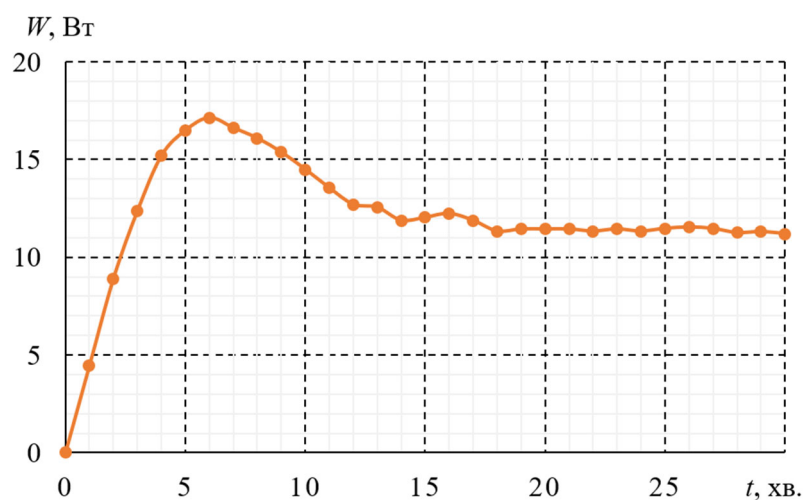


Рис. 7. Часова залежність електричної потужності термоелектричного генератора модифікації С з ємністю об'ємом 2.5 л (лабораторні дослідження на газовому пальнику)

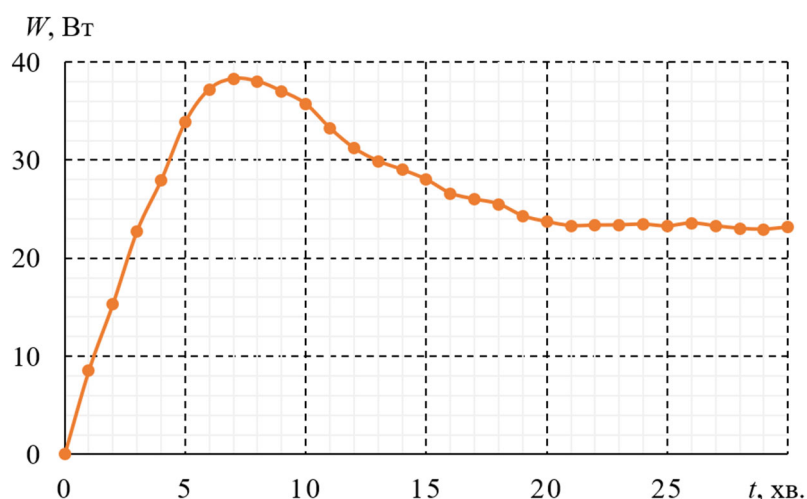


Рис. 8. Часова залежність електричної потужності термоелектричного генератора модифікації D з ємністю об'ємом 3.5 л (лабораторні дослідження на газовому пальнику)

Таким чином, максимальна отримана електрична потужність генераторів модифікацій А, В та С склала 23, 21 та 17 Вт відповідно. Генератор модифікації D, що містить 4 модулі, має підвищену потужність – понад 35 Вт. Робочі значення електричної потужності генераторів при кипінні води у ємності орієнтовно на 30–35 % нижчі від максимальних.

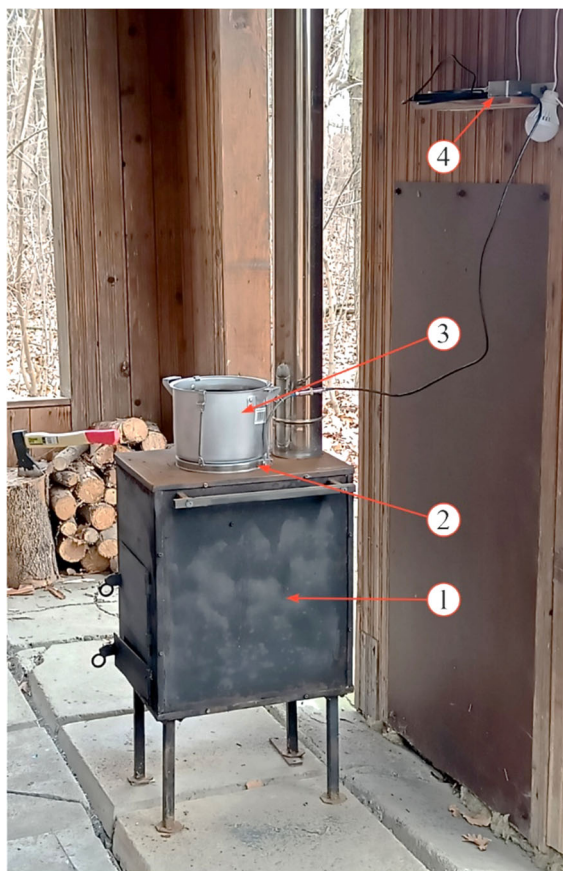


Рис. 9. Польові випробування термоелектричного генератора модифікації D з ємністю об'ємом 3.5 л на дерев'яній печі: 1 – дерев'яна печі; 2 – термоелектричний генератор; 3 – ємність для води; 4 – електронний блок стабілізації вихідної напруги

Такої потужності генераторів всіх чотирьох модифікацій вистачає для живлення різної малопотужної радіоелектронної апаратури, портативних радіостанцій, систем мобільного зв'язку, освітлення, а також заряджання універсальних мобільних батарей – повербанків.

Оскільки, як відомо, основною частиною вартості термоелектричного перетворювача енергії є вартість термоелектричного матеріалу, з якого він виготовлений, отримані результати свідчать про можливість значного зниження собівартості термоелектричних генераторів з відведенням тепла ємностями з водою шляхом використання термоелектричних модулів зі зменшеною висотою віток.

Польові дослідження проводились на дров'яній печі (рис. 9), яка також була розроблена та виготовлена в Інституті термоелектрики. На рис. 10 наведено часову залежність потужності генератора модифікації D протягом 1 години від моменту розпалу печі. Як видно з рис. 9 та 10, завдяки високій ефективності печі, електрична потужність генератора в польових умовах незначно відрізняється від отриманої на лабораторному стенді.

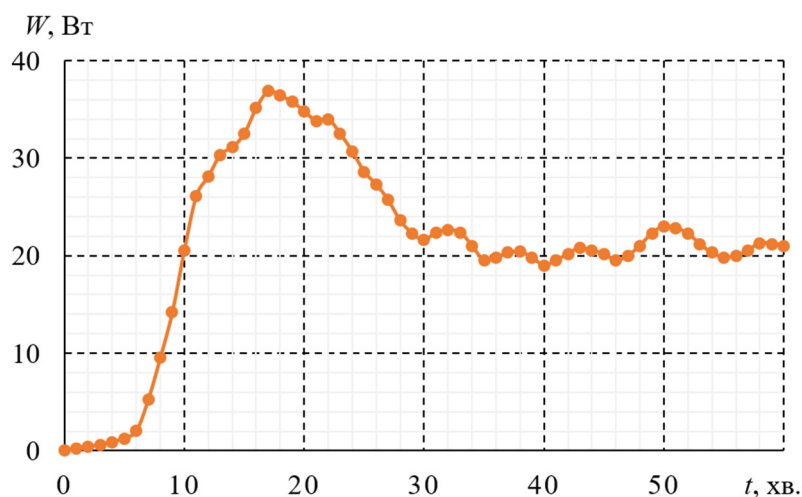


Рис. 10. Часова залежність електричної потужності термоелектричного генератора модифікації D з ємністю об'ємом 3.5 л (польові дослідження на дров'яній печі)

Таким чином, розроблений універсальний термоелектричний генератор у поєднанні з дров'яною піччю утворює автономне термоелектричне джерело електрики та тепла, що забезпечує виробництво 20–40 Вт електричної потужності, 1–2 кВт теплової енергії, а також розігрів 3–7 л води для приготування їжі та інших побутових потреб.

Висновки

1. Описано конструкцію універсального термоелектричного генератора, що може працювати від довільних джерел тепла – нагрітих плоских поверхонь пічок, газових або мультипаливних туристичних примусів, відкритого полум'я тощо. Для відведення тепла від холодної сторони термоелектричних модулів використовуються ємності з водою, яка може використовуватись для побутових потреб.
2. Наведено результати лабораторних експериментальних досліджень розробленого генератора чотирьох модифікацій, які відрізняються геометричними розмірами, кількістю термоелектричних модулів та висотою віток цих модулів. Максимальна отримана електрична потужність генераторів модифікацій А, В та С склала 23, 21 та 17 Вт відповідно. Генератор

модифікації D, що містить 4 модулі, має підвищену потужність – понад 35 Вт. Робочі значення електричної потужності генераторів в момент кипіння води у ємності приблизно на 30–35 % нижчі від максимальних.

3. Проведено польові дослідження розробленого генератора на дров'яній печі. Встановлено, що універсальний термоелектричний генератор у поєднанні з дров'яною піччю утворює автономне термоелектричне джерело електрики та тепла, що забезпечує виробництво 20–40 Вт електричної потужності, 1–2 кВт теплової енергії, а також розігрів 3–7 л води для приготування їжі та інших побутових потреб.

Література

1. TEG-BS-5W-5V-1. Available at: https://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=887
2. TEG-BS-10W-5V-2. Available at: https://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=876
3. Biolite CampStove. Available at: <https://www.bioliteenergy.com/products/campstove-complete-cook-kit>
4. CN216524233U. Thermoelectric water kettle water level detection circuit. Published 13.05.2022.
5. CN105167597B. A kind of thermo-electric generation hot-water bottle. Published 02.01.2018.
6. CN209391675U. A kind of heating vessel. Published 17.09.2019.
7. CN208806757U. Thermo-electric generation wild cooker. Published 30.04.2019.
8. GB2605345A. Cooking vessel. Published 28.09.2022.
9. Montecucco A., Siviter J., & Knox A.R. (2017). Combined heat and power system for stoves with thermoelectric generators. *Applied Energy*, 185(P2), 1336–1342. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.132>
10. Żołądek M., Papis K., Kuś J., Zając M., Figaj R., & Rudykh K. (2020). The Use of Thermoelectric Generators with Home Stoves. *E3S Web Conf.*, 173, 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017303005>
11. Wood stove Thermoelectric Generator Rabbit Ears. Available at: <https://thermoelectric-generator.com/product/wood-stove-thermoelectric-generator-rabbit-ears/>
12. 45-watt teg generator for wood stoves with air-cooling. Available at: <https://www.tegmart.com/thermoelectric-generators/wood-stove-air-cooled-45w-teg>
13. Thermoelectric Power Generator for fireplace heater. Available at: http://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=828
14. Rowe D.M. (2012). *Modules, Systems, and Applications in Thermoelectrics* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11892>
15. Vikhor L., & Kotsur M. (2023). Evaluation of Efficiency for Miniscale Thermoelectric Converter under the Influence of Electrical and Thermal Resistance of Contacts. *Energies*, 16, 4082-1-22. <https://doi.org/10.3390/en16104082>
16. Anatychuk L.I., Lysko V.V., & Prybyla A.V. (2022). Rational areas of using thermoelectric heat recuperators. *Journal of Thermoelectricity*, 3-4, 43–67.
17. Rybchakov D.E. (2023). Use of Computer Simulation for Optimization of Technological Modes of Manufacturing Thermoelectric Materials Based on *Bi-Te* Obtained by Vertical Zone Melting Method. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 81–86.
18. Anatychuk L.I., & Korop M.M. (2023). Application of Machine Learning to Predict the Properties of *Bi₂Te₃*-Based Thermoelectric Materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 59–71.
19. Gorsky P.V. (2023). Probability Theory of Degradation of Thermoelectric Energy Converters and

- Its Use to Determine the Reliability of Thermoelectric Materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 50–58.
20. Lysko V.V., & Tudoroi P.F. (2019). Computer simulation of extrusion process of Bi_2Te_3 -based tape thermoelectric materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 58–65.
 21. Mykhailovsky V.Y., Lysko V.V., Antoniuk V.V., & Maksymuk M.V. (2017). Research on thermoelements based on $n-PbTe$ and p -TAGS materials for thermoelectric generator cascade module. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 36–44.
 22. Lysko V.V., & Nitsovich O.V. (2023). Computer Optimization of the Vertical Zone Melting Method for Manufacturing Flat Ingots of Thermoelectric Materials Based on Bi_2Te_3 . *Journal of Thermoelectricity*, 4, 36–45.
 23. Konstantynovych I.A., Ivanochko M.M., & Kadelnyk K.O. (2024). Design of a portable universal thermoelectric generator. *Journal of Thermoelectricity*, 1-2, 78–89.
 24. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V., Korop M.M., Kiziuk Yu.I., Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 1). *Journal of Thermoelectricity*, (1-2), 90–96.
 25. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2012). Investigation of the effect of radiation on the precision of thermal conductivity measurement by the absolute method. *Journal of Thermoelectricity*, 1, 65–73.
 26. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2012). Modified Harman's method. *AIP Conference Proceedings*, 1449, 373–376. <https://doi.org/10.1063/1.4731574>
 27. Anatyshuk L.I., Havrylyuk N.V., & Lysko V.V. (2012). Methods and equipment for quality control of thermoelectric materials. *Journal of Electronic Materials*, 41(6), 1680–1685. <https://doi.org/10.1007/s11664-012-1973-1>
 28. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2021). Determination of the temperature dependences of thermoelectric parameters of materials used in generator thermoelectric modules with a rise in temperature difference. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 71–78.
 29. Anatyshuk L.I., Lysko V.V., & Havryliuk M.V. (2018). Ways for quality improvement in the measurement of thermoelectric material properties by the absolute method. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 90–100.
 30. Anatyshuk L.I., Lysko V.V., Havryliuk M.V., & Tiumentsev V.A. (2018). Automation and computerization of measurements of thermoelectric parameters of materials. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 80–88.

Надійшла до редакції: 10.05.2024.

L.I. Anatyshuk, Acad. NAS Ukraine^{1,2}

V.V. Lysko, Cand. Sc. (Phys.-Math.)^{1,2}

I.A. Konstantynovych, Cand. Sc. (Phys.-Math.)^{1,2}

M.V. Havryliuk^{1,2}

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,

1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

e-mail: anatysh@gmail.com

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,

2 Kotsiubynsky str., Chernivtsi, 58000, Ukraine

UNIVERSAL THERMOELECTRIC GENERATOR WITH HEAT REMOVAL BY WATER TANKS

The work describes the design of a universal thermoelectric generator that can operate from any heat source – heated flat surfaces of stoves, gas or multi-fuel tourist primus, open flame, etc. The electrical energy received from the generator with a power 20–40 W provides autonomous power supply for various low-power radio electronic equipment, portable radio stations, mobile communication systems, lighting, as well as charging universal mobile batteries - power banks. To remove heat from the cold side of thermoelectric modules, tanks with water are used, which can be used for domestic purposes. The results of bench and field experimental studies of the developed generator are presented. Bibl. 30, Figs. 10, Table. 1.

Key words: thermoelectric generator, thermoelectric modules, test, electric power.

References

1. TEG-BS-5W-5V-1. Available at: https://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=887
2. TEG-BS-10W-5V-2. Available at: https://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=876
3. Biolite CampStove. Available at: <https://www.bioliteenergy.com/products/campstove-complete-cook-kit>
4. CN216524233U. Thermoelectric water kettle water level detection circuit. Published 13.05.2022.
5. CN105167597B. A kind of thermo-electric generation hot-water bottle. Published 02.01.2018.
6. CN209391675U. A kind of heating vessel. Published 17.09.2019.
7. CN208806757U. Thermo-electric generation wild cooker. Published 30.04.2019.
8. GB2605345A. Cooking vessel. Published 28.09.2022.
9. Montecucco A., Siviter J., & Knox A.R. (2017). Combined heat and power system for stoves with thermoelectric generators. *Applied Energy*, 185(P2), 1336–1342. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.132>
10. Żołądek M., Papis K., Kuś J., Zając M., Figaj R., & Rudykh K. (2020). The Use of Thermoelectric Generators with Home Stoves. *E3S Web Conf.*, 173, 03005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017303005>
11. Wood stove Thermoelectric Generator Rabbit Ears. Available at: <https://thermoelectric-generator.com/product/wood-stove-thermoelectric-generator-rabbit-ears/>
12. 45-watt teg generator for wood stoves with air-cooling. Available at: <https://www.tegmart.com/thermoelectric-generators/wood-stove-air-cooled-45w-teg>
13. Thermoelectric Power Generator for fireplace heater. Available at: http://www.thermonamic.com/pro_view.asp?id=828
14. Rowe D.M. (2012). *Modules, Systems, and Applications in Thermoelectrics* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11892>
15. Vikhor L., & Kotsur M. (2023). Evaluation of Efficiency for Miniscale Thermoelectric Converter under the Influence of Electrical and Thermal Resistance of Contacts. *Energies*, 16, 4082-1-22. <https://doi.org/10.3390/en16104082>
16. Anatychuk L.I., Lysko V.V., & Prybyła A.V. (2022). Rational areas of using thermoelectric heat recuperators. *Journal of Thermoelectricity*, 3-4, 43–67.
17. Rybchakov D.E. (2023). Use of Computer Simulation for Optimization of Technological Modes of Manufacturing Thermoelectric Materials Based on *Bi-Te* Obtained by Vertical Zone Melting

Method. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 81–86.

18. Anatyshuk L.I., & Korop M.M. (2023). Application of Machine Learning to Predict the Properties of Bi_2Te_3 -Based Thermoelectric Materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 59–71.
19. Gorsky P.V. (2023). Probability Theory of Degradation of Thermoelectric Energy Converters and Its Use to Determine the Reliability of Thermoelectric Materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 50–58.
20. Lysko V.V., & Tudoroi P.F. (2019). Computer simulation of extrusion process of Bi_2Te_3 -based tape thermoelectric materials. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 58–65.
21. Mykhailovsky V.Y., Lysko V.V., Antoniuk V.V., & Maksymuk M.V. (2017). Research on thermoelements based on n - $PbTe$ and p -TAGS materials for thermoelectric generator cascade module. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 36–44.
22. Lysko V.V., & Nitsovich O.V. (2023). Computer Optimization of the Vertical Zone Melting Method for Manufacturing Flat Ingots of Thermoelectric Materials Based on Bi_2Te_3 . *Journal of Thermoelectricity*, 4, 36–45.
23. Konstantynovych I.A., Ivanochko M.M., & Kadelnyk K.O. (2024). Design of a portable universal thermoelectric generator. *Journal of Thermoelectricity*, 1-2, 78–89.
24. Anatyshuk L.I., Prybyla A.V., Korop M.M., Kiziuk Yu.I., Konstantynovych I.A. (2024) Thermoelectric power sources using low-grade heat (Part 1). *Journal of Thermoelectricity*, (1-2), 90–96.
25. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2012). Investigation of the effect of radiation on the precision of thermal conductivity measurement by the absolute method. *Journal of Thermoelectricity*, 1, 65–73.
26. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2012). Modified Harman's method. *AIP Conference Proceedings*, 1449, 373–376. <https://doi.org/10.1063/1.4731574>
27. Anatyshuk L.I., Havrylyuk N.V., & Lysko V.V. (2012). Methods and equipment for quality control of thermoelectric materials. *Journal of Electronic Materials*, 41(6), 1680–1685. <https://doi.org/10.1007/s11664-012-1973-1>
28. Anatyshuk L.I., & Lysko V.V. (2021). Determination of the temperature dependences of thermoelectric parameters of materials used in generator thermoelectric modules with a rise in temperature difference. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 71–78.
29. Anatyshuk L.I., Lysko V.V., & Havryliuk M.V. (2018). Ways for quality improvement in the measurement of thermoelectric material properties by the absolute method. *Journal of Thermoelectricity*, 2, 90–100.
30. Anatyshuk L.I., Lysko V.V., Havryliuk M.V., & Tiumentsev V.A. (2018). Automation and computerization of measurements of thermoelectric parameters of materials. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 80–88.

Submitted: 10.05.2024.