

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

КУКЛА ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 621.362.2

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ
МОДУЛІВ ДЛЯ ПЕРЕТВОРЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНУ**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

АВТОРЕФЕРАТ
дипломної роботи на здобуття вищої освіти
освітнього ступеня магістр

Тернопіль – 2018

Дипломною роботою магістра є рукопис

Робота виконана в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

кандидат технічних наук, асистент кафедри енергозбереження та енергетичного менеджменту

Івасечко Роман Романович,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент

кандидат технічних наук, доцент кафедри систем електроспоживання та комп'ютерних технологій в електроенергетиці

Сисак Іван Михайлович,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться "25" лютого 2018 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні експертної комісії № 38 з атестації здобувачів вищої освіти освітнього ступеня магістр 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України за адресою: 46000, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46, аудиторія 404.

З авторефератом дипломної роботи магістра можна ознайомитись в інституційному репозиторії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (ELARTU) за адресою: <http://elartu.tntu.edu.ua/>.

Секретар

експертної комісії № 38

Коцюрко Р.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Термоелектрика є перспективним науково-технічним напрямком, який заснований на використанні прямого, безмашинного перетворення теплової енергії в електричну шляхом використання термоелектричних ефектів. Термоелектричні перетворювачі енергії мають ряд привабливих властивостей. Серед них – відсутність рухомих частин, можливість функціонування без обслуговування, незалежність роботи від орієнтації в просторі та за умови відсутності земного тяжіння, практично необмежений ресурс роботи, стійкість до екстремальних навантажень. Такі особливості термоелектричних джерел енергії забезпечили їх успішне використання в першу чергу в космічній і оборонній техніці. Так, використання термоелектричних генераторів забезпечило розв'язання проблеми енергозабезпечення космічних апаратів для вивчення планет сонячної системи (Венери, Марса, Урана), космічних зондів для вивчення комет та у місіях м'яких посадок на Місяць і Марс. Без термоелектричних джерел енергії такі космічні програми не могли бути виконані.

Космічні технології знаходять все більш широке використання і у розв'язанні важливих задач на Землі. Створені та успішно функціонують термоелектричні генератори (ТЕГ) довготривалої дії для систем попередження стихійного лиха цунамі, енергозабезпечення автономних метеорологічних станцій, навігаційної надводної та підводної океанічної апаратури. У таких ТЕГ було використано переважно ізотопні джерела тепла довготривалої дії, які поряд з високою надійністю є дорогими та радіоактивно небезпечними.

Тому для більш широкого використання термоелектрики у наземних умовах є *актуальним* розвиток досліджень та розробка термоелектричних генераторів з джерелами тепла, що працюють на твердому органічному паливі.

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності термоелектричних модулів, що працюють на твердому органічному паливі для широкого практичного використання в портативних переносних пристроях. Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні *завдання досліджень*: розвинути теорію термоелектричних генераторів з полум'яними джерелами тепла на їх основі; здійснити проектування й розробку термогенераторів з покращеними характеристиками – генераторів тепла та електрики, секційних генераторів, генераторів для живлення портативних печей на твердому органічному паливі.

Об'єктом дослідження є термоелектричні джерела електричної енергії, що використовують тепло згоряння органічних палив.

Предметом дослідження є фізичні процеси і явища, що відбувається при перетворенні теплової енергії згоряння органічного палива в електричну енергію у термоелектричних генераторах, методи оптимізації термогенераторів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети у роботі використовувались методи термодинаміки необоротних процесів у застосуванні до термоелектричного перетворення енергії; фізичне моделювання термогенераторів; методи комп'ютерного моделювання теплових і масообмінних процесів перетворення хімічної енергії палива в теплову; методи комп'ютерного моделювання й проектування термоелектричних модулів і генераторів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні та вирішенні науково-технічної задачі підвищення адекватності та оцінки енергоефективності застосування термоелектричних модулів для перетворення теплової енергії в електричну. При цьому одержано такі наукові результати:

Визначено, що досягнутий рівень ефективності ТЕГ в основному пов'язаний з покращенням добротності термоелектричних матеріалів. Однак досягнуті значення ефективності ТЕГ значно нижче очікуваних, тому подальше істотне зростання ККД ТЕГ може бути досягнуто за рахунок використання більш ефективних фізичних моделей ТЕГ.

Практичне значення одержаних результатів:

- удосконалено методику дослідження ТЕГ;
- розроблено залежність потужності ТЕГ від різниці температур;
- запропоновано застосування портативної печі ТЕГ в якості зарядного пристрою через порт USB.

Апробація результатів дипломної. Основні (окремі) положення та результати дипломної роботи оприлюднені та обговорені на: VI міжнародній науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль - м. Яремче, 2 лютого 2018 р.).

Структура і обсяг роботи. Дипломна робота магістра складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 40 найменувань на 5-ти сторінках. Загальний обсяг дипломної роботи становить 112 сторінок, з них 64 основного тексту, 36 рисунків та 12 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано зв'язок із науковими програмами, планами, темами, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію та впровадження результатів роботи.

У першому розділі проведено аналіз стану питання за літературними та іншими джерелами, обґрунтовано актуальність роботи, виконано постановку задачі на дипломну роботу.

У другому розділі описано технологічні та конструктивні параметри термоелектричних генераторів. Встановлено, що підвищення надійності таких термоелектричних модулів може здійснюватися двома шляхами: внаслідок підвищення надійності їх конструктивних елементів-складових частин (віток термоелементів, теплопереходів, контактних з'єднань та ін.), а також використанням резервування найменш надійних елементів. Підвищення надійності термоелектричних модулів з матеріалів здійснено шляхом паралельного і паралельно-последовного з'єднання віток у модулях.

Наведено основні характеристики термоелектричних модулів та запропоновано конструкцію портативної печі з ТЕГ яка наведена рис.1.

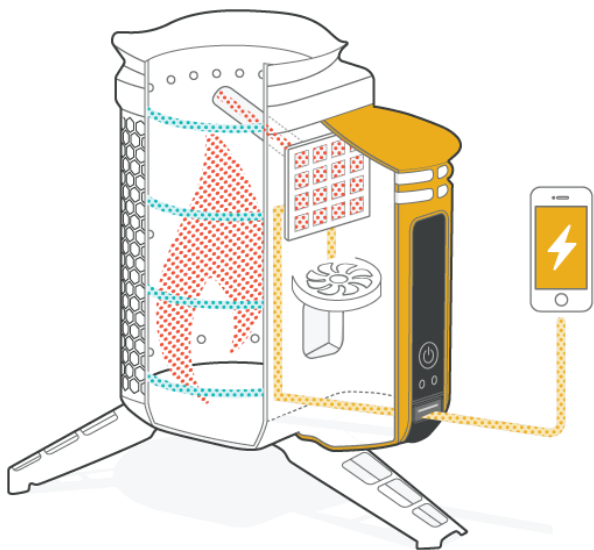


Рис.1. Портативна піч з ТЕГ

З допомогою лабораторного станду (рис.2) були проведені і експериментальні дослідження термоелектричних модулів які використовуються в ТЕГ з максимальною робочою температурою до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ типу TEC1-12706 і TEC1-12709 і номінальною потужністю 72 і 108 Вт відповідно.

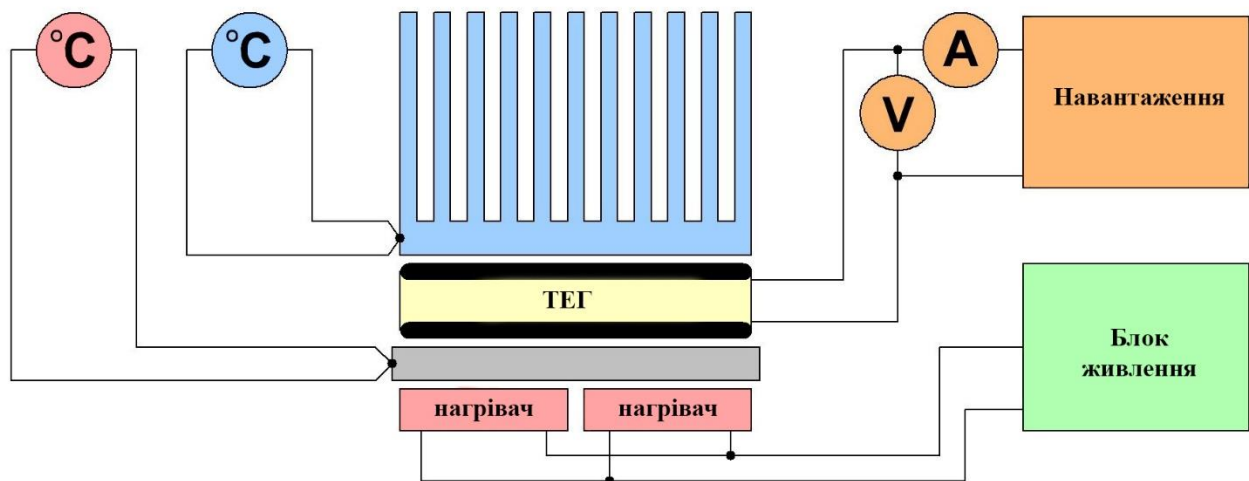


Рис.2. Схема експериментального станду для дослідження характеристик термоелектричного модуля

За допомогою вольтметра і амперметра можна виміряти параметри електричного струму, що виробляється ТЕГ, в тому числі і потужність. Температуру вимірювали за допомогою термопар, підключених до мультиметра. Для цього в основі радіатора і в нагрівачій пластині були просвердлені по одному поздовжньому отвору, діаметром 2 мм і глибиною близько 10 ... 15 мм. Отвори заповнювалися термопастою, в яких встановлювались термопари. В процесі проведення дослідження ми подавали напругу на нагрівачі, вмикаючи при цьому активне навантаження, вольтметр, амперметр і термометри. Регулюючи напругу блоку живлення, виставляли певну потужність нагріву гарячої сторони ТЕГ.

Результати експериментальних досліджень термоелементів TEC1-12706 і TEC1-12709 на рис.3-5.

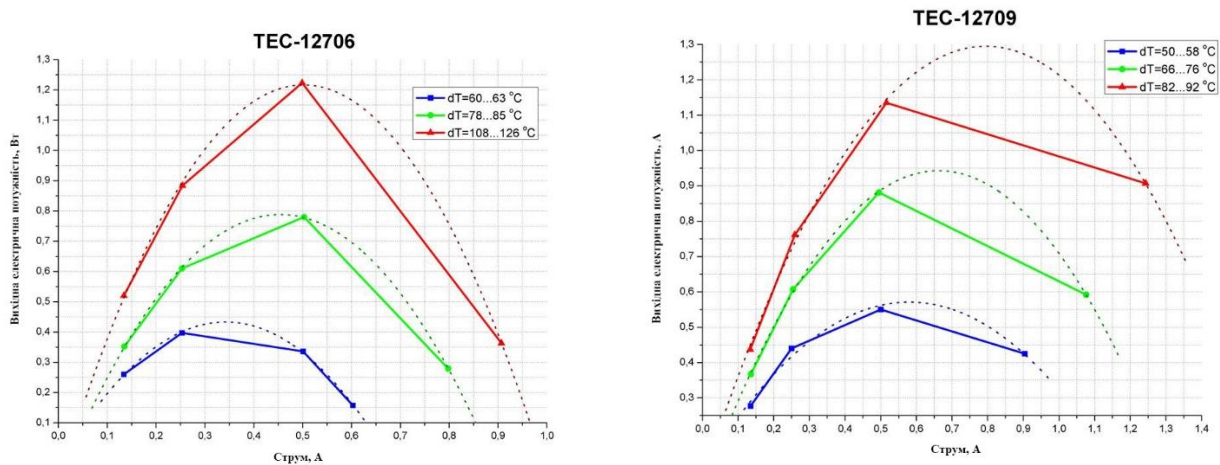


Рис. 3. Графік залежності потужності від струму для TEC-12706 і TEC-12709 відповідно

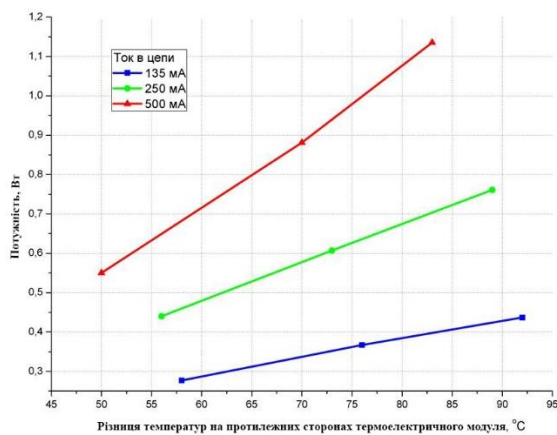


Рис. 4. Графік залежності потужності ТЕГ від різниці температур його сторін та струму в колі

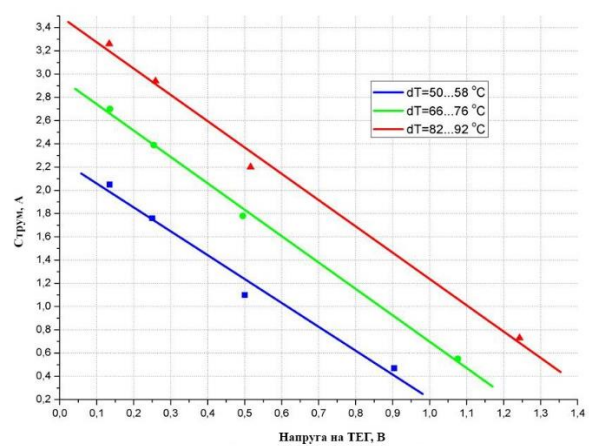


Рис.5. Воль-амперна характеристика TEC-12709

Із графіка рис.4 залежність потужності ТЕГ від різниці температур видно, що із збільшенням різниці температур від 50 до 93 °C потужність буде зростати до 1,1 Вт.

Вентилятор та радіатор всередині блоку живлення портативної печі становлять холодну сторону отже використання активного охолодження забезпечить вище значення різниці температур тим самим підвищить ККД ТЕГ.

У третьому розділі виконано опис типових програмних засобів використаних у магістерській роботі, а також здійснено комп'ютерне проектування термоелектричних генераторних модулів. Розробка ефективних термоелектричних генераторів енергії залежить від правильного проектування. Аналітичні методи розрахунку таких пристроїв розроблені для спрощених моделей і не враховують температурних залежностей параметрів термоелектричних матеріалів, теплових й електричних втрат в контактах і комутаціях термоелементів. Тому використання таких методів, як правило, призводить до відхилення від оптимальних конструкцій і втрати ефективності. Більше того, коректне використання цих методів

взагалі неможливе для сучасних складних схем термоелектричних генераторів, таких, як каскадні модулі, модулі з функціонально-градієнтних термоелементів.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що сучасні дослідники все частіше звертаються до розробки комп'ютерних методів проектування термоелектричних генераторів енергії. Особливо це стосується генераторних модулів.

Тому задача проектування генераторного модуля із повинна включати обчислення таких функцій $\alpha(x)$, $\sigma(x)$, $\kappa(x)$, за яких ККД термоелектричних батарей у режимі генерації досягають максимальних значень. Це винятково складна математична задача. Її розв'язок можливий тільки комп'ютерними методами.

Таким чином, розробка сучасного програмного забезпечення для проектування термоелектричних генераторів енергії – завдання актуальне.

В четвертому розділі в даному розділі дипломної роботи нами здійснено порівняльний техніко – економічний розрахунок використання портативної печі з термогенераторами типу TEC1-12709 в порівнянні з акумуляторними батареями типу АА.

Аналіз витрат на ТЕГ оцінювався та порівнювався з вартістю отримання енергії з чотирьох батарей Fujitsu Pro 2550 mAh (HR-3UTHC) на 1,2 В. Вартість однієї такої батареї становить 80 грн, вона витримує 500 циклів заряду/розряду. Для того щоб отримати однакову напругу від батарей і USB порту нам необхідно з'єднати чотири таких батареї. Вихідна напруга становитиме 4,8 В, при цьому ємність залишається тією самою 2550 mAh або 2,5 Ah. В якості навантаження використаємо світлодіодну лампу на 3 Вт.

Термін окупності портативної печі з термогенераторами типу TEC1-12709 становитиме понад 15 тис.год. або 1,71 року.

В п'ятому розділі розглянуті питання охорони праці та техніки безпеки при проектуванні та експлуатації термоелектричних модулів, були визначені фактори, що впливають на протипожежну стійкість об'єкту.

В шостому розділі розглянуті питання забруднення довкілля, яке виникає в результаті застосування термоелектричних модулів при перетворенні теплової енергії в електричну. За впливом на навколишнє середовище та вмістом важких металів термоелектричні генератори можна вважати безпечними для навколишнього середовища, хоча при їх виготовленні необхідно слідкувати за вмістом свинцю і в залежності від типу – міді, нікелю та срібла до показників, які не перевищують допустимих норм.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз основних шляхів підвищення ефективності термоелектричних генераторів на органічному паливі виявив основні напрямки подальшого розвитку термоелектричних генераторів, серед яких одним з головних є підвищення ККД ТЕГ до рівня, який у 2-4 рази перевищує сучасний рівень.

2. Встановлено, що підвищення надійності таких термоелектричних модулів може здійснюватися двома шляхами: внаслідок підвищення надійності їх конструктивних елементів-складових частин (віток термоелементів, теплопереходів, контактних з'єднань та ін.), а також використанням резервування найменш

надійних елементів.

3. Запропоновано конструкцію термоелектричного генератора для живлення портативних переносних пристроїв. Застосування ТЕГ в таких пристроях дає змогу ефективно використовувати теплову енергію портативної печі, перетворюючи її безпосередньо в електроенергію. Так, для термоелектричних модулів TEC1-12709 можна отримати близько 3 Вт електричної енергії, яку можна використати для зарядки через USB порт портативної електроніки.

4. Встановлено на основі графічних відображень практичних досліджень, що максимальне значення потужності модуля TEC1-12709 становить 1,15 Вт при силі струму 0,55 А для різниці температур 90°C, а для модуля TEC1-12706 при такій же різниці температур становить 0,78 Вт і силі струму 0,5 А. Отже при використанні модуля TEC1-12709 ефективність термоелектричного генератора зросте в 1,5 рази в порівнянні з TEC1-12706.

5. Розрахунок техніко-економічного обґрунтування показав, що термін окупності термогенератора типу TEC1-12709 в порівнянні з еквівалентним блоком акумуляторних батарей становить 1,71 року (1 рік 8 місяців).

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати роботи

1. Кукла В. Енергоефективність застосування термоелектричних модулів для перетворення теплової енергії в електричну / В. Кукла, М. Зінь, В. Гетманюк // Тези VI міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи». – Тернопіль – м. Яремче: ТНТУ ім. І. Пулюя. – 2018. – С.87.

АНОТАЦІЯ

Кукла В. Енергоефективність застосування термоелектричних модулів для перетворення теплової енергії в електричну. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2018.

Проаналізовано ефективність застосування термогенератора на основі модулів Зеебека в портативних переносних пристроях для перетворення теплової енергії в електричну.

Ключові слова: термоелектричні модулі, термогенератор, ефект Зеебека, портативна піч.

ANNOTATION

Vitalii Kukla. Energy efficiency of thermoelectric modules application for the transformation of thermal energy into electric power. - Manuscript.

Diploma paper for a Master's Degree, speciality 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2018.

The efficiency of the thermogenerator application based on Zeebek modules in portable devices for the transformation of thermal energy into electric power is analyzed.

Key words: thermoelectric modules, thermogenerator, Zeebek effect, portable furnace.