

УДК 621.362 : 621.472

Володимир Сериков, кандидат технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник кафедри теорії і
систем автоматизованого проектування механізмів і машин,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна
Наталія Дерезлазова, спеціаліст вищої категорії, «старший учитель»,
директорка комунального закладу «Харківська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Вікторія Волошан, вчитель математики, фізики та астрономії,
спеціаліст вищої категорії, «Харківська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Костянтин Маршутуна, здобувач освіти,
«Харківська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Анна Сущенко, здобувачка освіти,
«Харківська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна
Вероніка Маршутуна, здобувачка освіти,
«Харківська спеціальна школа №12»
Харківської обласної ради, м. Харків, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ КОГЕНЕРАЦІЇ ПРИ ПЕРЕТВОРЕННІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Проведено комплексний аналіз процесів когенерації, що базується на поєднанні термоелектричних перетворювачів та систем концентрації сонячного випромінювання. Основну увагу приділено експериментальному підтвердженню можливості керування тепловими потоками через зміну електричного навантаження термоелемента. Запропоновано концепцію використання температурного градієнта перекачуваного теплоносія для стабільної генерації електроенергії в автономних системах.

Ключові слова: когенерація, термоелектричний генератор (ТЕГ), сонячний концентратор, активний тепловий клапан, керований тепловий опір, гібридні енергосистеми.

Abstract. A comprehensive analysis of cogeneration processes based on the combination of thermoelectric converters and solar radiation concentration systems has been conducted. Primary focus is placed on the experimental confirmation of the possibility of controlling heat flows by varying the electrical load of the thermoelement.

The concept of utilizing the temperature gradient of the pumped coolant for stable electricity generation in autonomous systems is proposed.

Keywords: cogeneration, thermoelectric generator (TEG), solar concentrator, active thermal valve, controlled thermal resistance, hybrid energy systems.

Процеси перетворення енергії в сучасних умовах вимагають пошуку рішень, що поєднують високий ККД та повну автономність. Сонце розглядається як найпотужніше джерело безкоштовної енергії, здатне забезпечити до одного кіловата потужності на кожний квадратний метр земної поверхні. Основним методом використання цього ресурсу є концентрація паралельних променів у фокальну точку за допомогою параболоїдних дзеркал, що дозволяє досягати досить високих температур.

Ефективність таких когенераційних систем прямо залежить від здатності керувати тепловими потоками. В основі дослідження лежить використання термоелектричних генераторів (ТЕГ), робота яких базується на ефектах Зеебека та Пельтьє [1]. Якщо перший дозволяє отримувати електрику за рахунок різниці температур, то ефект Пельтьє відкриває можливість зворотного впливу: протікання струму через модуль викликає примусове перенесення теплової енергії між його сторонами. Це дозволяє розглядати термоелемент не просто як статичний перетворювач, а як активний тепловий клапан із керованим тепловим опором.

Для практичної перевірки теоретичних положень було розроблено випробувальний стенд на базі термоелектричного модуля SP1848-27145 [2] та мікроконтролерної системи Arduino. Система моніторингу була налаштована на безперервну фіксацію температурних показників з інтервалом у п'ять секунд, що дозволило детально простежити динаміку перехідних процесів. Експеримент проводився за низької температури навколишнього середовища, близько одного градуса Цельсія, що забезпечило стабільність зовнішніх умов та мінімізацію теплових завад.

Розробка експериментальної установки пройшла три етапи. Від першого варіанту з металевою ємністю відмовилися через її малий діаметр, який унеможлиблював точні вимірювання пірометром. Другий варіант зі скляною тарою та водою також виявився невдалим через паразитне охолодження теплоносія неконтрольованими потоками від вентилятора та похибки через відбиття випромінювання. Зрештою було вирішено повністю відмовитися від рідини на користь прямого нагрівання гарячої сторони та локального вимірювання температури за допомогою термопар, закріплених безпосередньо на радіаторах. (рис. 1).

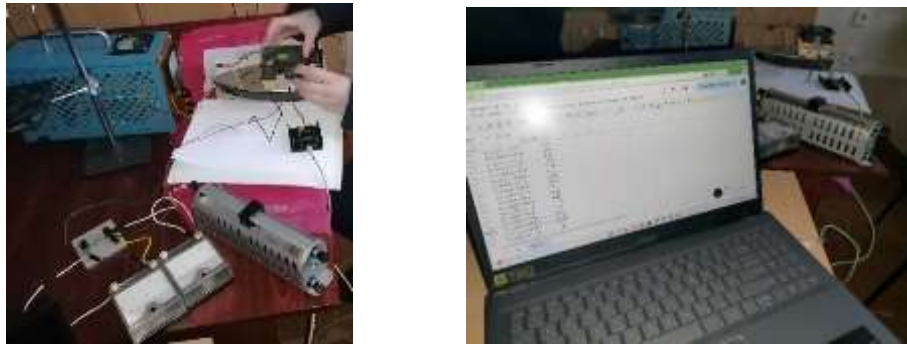


Рис. 1. Остаточний варіант лабораторної установки

Основна частина експерименту полягала у циклічному маніпулюванні електричним колом навантаження. Почергово перемикалась система між двома станами: роботою на номінальний опір у 6,5 Ом та режимом примусової інтенсифікації теплообміну з опором у 0,01 Ом, що фактично є станом короткого замикання. Встановлено, що в момент переходу до мінімального опору сила струму зростає до максимуму, активуючи інтенсивне перенесення тепла через ефект Пельтьє.

Результати вимірювань продемонстрували, що середня температура холодної сторони (радіатора) у режимі короткого замикання зросла з 13,02 °C до 13,87 °C. Таким чином, зафіксоване примусове підвищення температури на 0,85 °C стало прямим доказом можливості електронного керування тепловим потоком.

Статистичний аналіз отриманих масивів даних підтвердив високу достовірність результатів, оскільки довірчі інтервали для обох температурних режимів не мали спільних точок перетину. Також було зафіксовано, що реакція системи на зміну навантаження має аперіодичний характер, що зумовлено високою тепловою інерційністю конструкційних матеріалів (рис. 2).

Застосування результатів експерименту в сонячній енергетиці потребує врахування фізичних властивостей матеріалів приймача [3].

Синтез термоелектричних технологій та сонячних машин відкриває шлях до створення високоефективних автономних систем. Одним із найбільш перспективних напрямків є використання різниці температур перекачуваної рідини безпосередньо до моменту її нагрівання у фокусі та після нього. В таких установках, як сонячні водяні насоси, що працюють за рахунок фазового переходу води до пари, насоси Стирлінга, термоелементи можуть інтегруватися в контури циркуляції теплоносія.

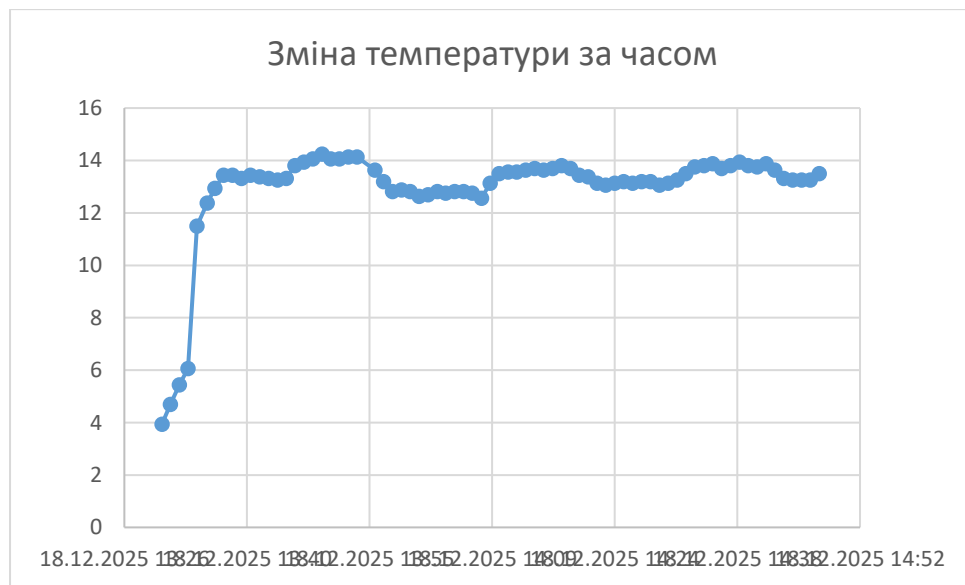


Рис. 2. Зміна температури холодної сторони ТЕГ при зміні електричного зовнішнього навантаження

Холодна вода, що надходить у систему, охолоджує одну сторону ТЕГ, тоді як гаряча рідина на виході з нагрівача забезпечує високу температуру іншої сторони

(рис. 3). Таке рішення гарантує підтримання максимального температурного градієнта, що веде до стабільного вироблення електроенергії для живлення систем автоматики та трекінгу. Водночас, згідно з принципами когенерації, джоулеве тепло та тепло, що переноситься ефектом Пельтьє, не втрачається, а йде на корисний підігрів води, що перекачується.

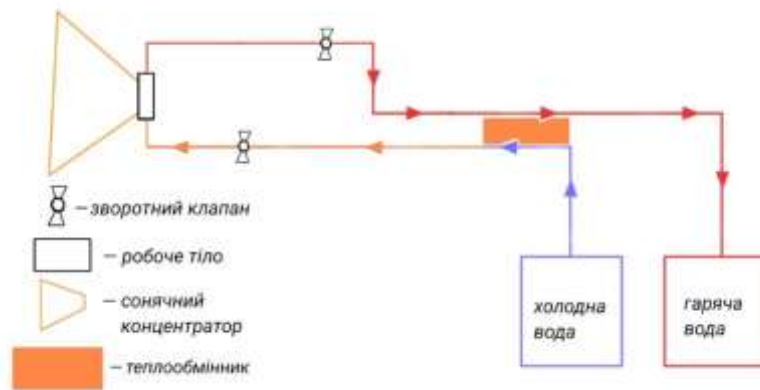


Рис. 3. Принципова схема когенераційної установки з ТЕГ

Додатково, впровадження алгоритмів Arduino дозволяє реалізувати функцію самодіагностики. Шляхом короткочасного перемикавання навантаження та аналізу швидкості зміни температури система може самостійно оцінити якість теплового контакту модуля або ступінь забруднення концентратора, що значно спрощує обслуговування віддалених автономних вузлів.

Аналіз результатів досліджень та висновки. Теоретично та експериментально підтверджено, що зміна сили струму навантаження через ефект Пельтьє дозволяє примусово змінювати тепловий опір термоелектричного модуля. В той же час низька динаміка теплових процесів дозволяє використовувати прості та надійні алгоритми керування на базі доступних мікроконтролерів для оптимізації автономних енергетичних установок. Обґрунтовано доцільність створення гібридних систем, де генерація електрики відбувається за рахунок

різниці температур теплоносія до та після нагріву, що забезпечує стабільну роботу в режимі когенерації.

Список використаних джерел

1. Іоффе А. Ф. Напівпровідникові термоелементи. Л. : Вид-во АН СРСР, 1960.
2. Technical Specification of SP1848-27145 Thermoelectric Power Generator Module. Електронний ресурс. URL: <http://www.thermonamic.com> (дата звернення 02.05.2026).
3. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.