

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-279-3-45-53>

УДК 681.5.08;681.05.011

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ «СОНЯЧНА ПАНЕЛЬ-ОХОЛОДЖУВАЧ»

Тарасов В.Р., Сотнікова Т.Г., Асманкіна А.А.

SIMULATION OF THE TEMPERATURE PROCESSES IN THE «SOLAR PANEL-COOLER» SYSTEM

Tarasov V.R., Sotnikova T.G., ASMANKINA A.A.

В роботі представлено результати дослідження лабораторної установки для охолодження повітря, яка використовує в якості джерела живлення сонячну енергію. Проведено більше ніж 20 дослідів з активною вентиляцією та без неї у різні пори року. Отримано практичні данні та розраховані за формулами теплові процеси. Був сформульований висновок, що до елемента Пельтьє.

Людству необхідно все більше енергії, тому з'являється необхідність у дослідженні та впровадженні альтернативних джерел енергії. Наприклад, енергоспоживання України січень-вересень 2021 року становило 86,2 млрд кВт·год а за січень-вересень 2022 року становило 92,2 млрд кВт·год – це на 6,9% більше. Та з кожним роком ця цифра (енергоспоживання) буде зростати, особливо при умовах посягань агресора. Цю вживану потужність з кожним роком буде все важче генерувати за рахунок викопного палива такого як: нафта, вугілля, газ, уран та інші. Проте діють різноманітні "зелені технології" через які українці почали активніше встановлювати сонячні панелі, тощо. Наприклад, у 2021 році, близько 15 000 сімей встановили сонячні батареї, повідомляє прес-служба Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження. Це майже вдвічі більше, ніж за рік до того. Загалом на кінець 2021 близько 45 000 сімей використовували сонячні панелі.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Використання сучасних технологій сприятиме не лише підвищенню ефективності тепличного

господарства, але й зменшенню екологічного впливу на навколишнє середовище.

Отримані данні є корисними та важливими для подальшого використання: елемент Пельтьє має низький COP, але при відсутності альтернатив, його використання є доцільним. Отримані гарні результати - установка живилася за рахунок сонячної енергії, що робить інші види систем охолодження повітря в приміщенні, в перспективі, незалежними від централизованого електропостачання та/або мобільними.

Ключові слова: моделювання теплових процесів, сонячні панелі, відновлювані джерела енергії, елемент Пельтьє, вимірювання.

Вступ. Одна із загальних проблем людства полягає в адаптації до зміни клімату, створення комфортних умов для роботи і життя. Актуальним при цьому є скорочення використання викопних видів палива, перехід на альтернативні відновлювані джерела енергії. Одним з перспективних джерел такої енергії є сонячна енергія [1]. Найбільша потреба у охолодженні виникає, коли сонячна радіація теж найінтенсивніша, тобто у літню пору року.

Різні типи систем охолодження повітря використовують різні джерела живлення. В більшості з них, таких як кондиціонери, адіабатичне охолодження і холодна стеля, для живлення використовується електроенергія. Однак абсорбційні холодильні машини можуть використовувати як джерело енергії електроенергію, так і газ, бензин, дизельне паливо, тверде паливо або навіть сонячну енергію. Кожен тип системи охолодження має свій власний діапазон мінімальної

та максимальної потужності. Наприклад, абсорбційні холодильні машини можуть генерувати від 100 кВт до 12 МВт охолоду, в то час як кондиціонери можуть генерувати від 0,5 кВт до 20-30 кВт охолоду.

Згідно з теоретичними розрахунками, встановлено, що влітку, приміщення площею близько 10 м², включаючи комп'ютер і присутню людину, споживатиме приблизно 1.55 кВт енергії на охолодження. Тому розглянуто можливість використання елемента Пельтьє для охолодження. Цей елемент має декілька переваг, таких як живлення від електроенергії, відсутність механічних компонентів та компактні розміри. Крім того, як джерело живлення були обрані сонячні панелі із коефіцієнтом конверсії наближено 25%, так як використання сонячної енергії з метою охолодження та /або обігріву приміщень – це на сьогодні перспективна ідея, яка набирає популярності і втілюється в різноманітних технічних рішеннях.

Окрім використання сонячної енергії на живлення пристрою для охолодження або нагріву повітря, так й на живлення приладів в будинку. Так як зараз нерідкі повідомлення про векторні відключення енергосистем через перевантаження від включених кондиціонерів. Це аргумент на користь децентралізації джерел генерації енергії та розвитку розподілених енергосистем [2].

Огляд літератури.

Термоелектричні модулі або елементи Пельтьє знаходять широке використання завдяки їх можливості створювати температурний градієнт між своїми поверхнями під впливом електричного струму. Ось кілька галузей застосування цих елементів:

- Регулювання температури: Одним з найширше застосовуваних методів використання елементів Пельтьє є регулювання температури. Вони використовуються у системах охолодження та нагріву, таких як холодильники, кондиціонери повітря, термокамери, а також системи підтримання температури для лазерів, оптики та інших пристроїв. Елементи Пельтьє можуть бути вбудовані у персональні системи обігріву для одягу або взуття, що може бути корисним для забезпечення комфортної температури в холодну погоду[3, 4].

- Медичне використання: Елементи Пельтьє застосовуються в медичній техніці для регулювання температури обладнання, такого як інкубатори для новонароджених, системи кріохірургії та діагностичне обладнання. Також вони використовуються для обігрівання медичних

пристроїв, наприклад, інфузійних систем, які потребують підтримки певної температури для медичних рідин. Елементи Пельтьє виявляють свою ефективність у використанні в інкубаторах для догляду за новонародженими[5].

- Астрономія та космічна індустрія: Елементи Пельтьє використовуються для забезпечення охолодження оптичних і детекторних систем на космічних апаратах та земних телескопах. Вони сприяють зниженню теплового шуму й підвищенню чутливості приладів. Контроль температури в критичних сегментах: Елементи Пельтьє використовуються для нагрівання деяких критичних зон, таких як обладнання у космічних апаратах або наукових установках, де важливо забезпечувати постійну температуру для нормальної роботи. У сфері лазерної техніки елементи Пельтьє можуть використовуватися для охолодження лазерних діодів та інших складових лазерних систем, що підвищує їхню продуктивність та тривалість служби. Можуть використовуватися для охолодження і обігріву сидінь та інших частин повітряних і автомобільних салонів[6].

- Енергетика: У певних випадках елементи Пельтьє використовуються для конвертації тепла у електричну енергію, таких як термоелектричні генератори, які можуть перетворювати тепло на електричну енергію[7, 8].

- Обігрівання різних об'єктів електроніки: Елементи Пельтьє можна використовувати для нагрівання електроніки, водонагрівачів, труб, датчиків та інших об'єктів, де важливо підтримувати конкретну температуру. Цей метод може знайти застосування в техніці, автомобільній промисловості, а також у промислових та наукових дослідженнях. Обігрівання у вакуумних камерах: Елементи Пельтьє можуть служити для нагрівання у вакуумних камерах, що є важливим у вакуумних дослідженнях, виробництві електроніки або обробці матеріалів в специфічних умовах[9, 10].

- Застосування елементів Пельтьє для нагріву має свої переваги, такі як відсутність рухомих деталей, тиха робота, ефективність та точне регулювання температури. Однак цей метод не підходить для всіх сфер і може потребувати додаткового охолодження для уникнення перегріву, особливо при великих потужностях[11, 12].

Також з опрацьованої літератури можна висунути, що елемент Пельтьє часто та ефективно використовують у агроінженерії:

- Елементи Пельтьє використовуються для досягнення оптимальних температур у

теплицях, надаючи змогу охолоджувати повітря влітку і нагрівати його взимку. Це сприяє стабільному зростанню та розвитку рослин, дозволяючи забезпечити їм комфортні умови у будь-який час року[13].

- Контроль температури у системах гідропоники має велике значення для стабільного розвитку кореневої системи рослин. Елементи Пельтьє активно використовуються для регулювання температури розчинів у гідропонічних системах, забезпечуючи оптимальні умови для здорового росту рослин[14].

- У переробних підприємствах молока елементи Пельтьє можуть застосовуватися для зниження температури сирового молока. Це дозволяє зберегти його при відповідній температурі для подальшої обробки[15].

- Елементи Пельтьє застосовуються для підтримки температури в приміщеннях для птахів та тварин, забезпечуючи їм зручні умови у холодну пору року[16].

- Застосування елементів Пельтьє може сприяти збереженню сільськогосподарської продукції, такої як фрукти, овочі та квіти, шляхом контролю оптимальної температури та вологості під час їх зберігання[17].

З літературного огляду робимо висновок, що елемент Пельтьє може використовуватися у багатьох напрямках науки та техніки і є оптимальною складовою безлічі конструкцій, де потрібно ефективно та точно контролювати температуру.

Елементи Пельтьє та термоелектричні явища[11], на яких вони базуються, були предметом досліджень і вивчення багатьма вченими протягом багатьох років. Серед найвідоміших вчених і груп, які проводили дослідження в цій галузі, можна виділити:

- Жан-Шарль Пельтьє: Французький фізик, після якого отримали назву елементи Пельтьє. Він був одним із перших, хто вивчав термоелектричні явища в першій половині XIX століття.

- Андре-Марі Ампер: Французький фізик, який також вніс важливий внесок у вивчення термоелектричних ефектів;

- Томас Дж. Сісбек: Американський винахідник і вчений, який розробив і патентував перший термоелектричний модуль у 1834 році.

Сучасні дослідники і компанії: В наші дні елементи Пельтьє та термоелектричні системи досліджуються та вдосконалюються[18, 19] багатьма вченими та інженерами в усьому світі, а також виробництво та застосування цих пристроїв підтримується численними компаніями в

галузі охолодження, енергозбереження та інших сферах.

На основі вищевикладеного в роботі проведено дослідження на базі лабораторної установки, в якій використовується елемент Пельтьє для зміни температури в замкненому просторі – контейнері.

Мета та задача. Метою роботи є: дослідження застосування системи, в якій спільно використовується елемент Пельтьє та сонячна панель, для охолодження та нагріву повітря в приміщенні.

Для вирішення цієї мети потрібно розв'язати такі задачі:

- зібрати установку для охолодження повітря з використанням в якості живлення установки сонячної панелі;

- провести іспити з працездатності установки;

- провести розрахунки теплових процесів;

- вирахувати COP системи.

Основний матеріал. На підставі досвіду інших дослідників та отримавши дані в роботі [20] була розроблена лабораторна установка, яка використовує в якості живлення електроенергію згенеровану сонячними панелями, та елемент Пельтьє, в якості елемента, який охолоджує повітря в замкненому просторі.

Для установки, яка зображена на Рис.1, було обрано сонячну панель потужністю 25Вт, елемент Пельтьє потужністю 72Вт, який працював на потужності ~8 Вт., датчики: комбінований датчик температури та вологості DHT-22 – 2 шт, термопара к-типу – 1 шт, радіатор центрального процесора – 2 шт, яким було обрано мікроконтролер на базі Arduino Uno. Корпус установки – пластиковий контейнер об'ємом 0,005 м³ літрів який ззовні був утеплений пінопластом з металевією фольгою. Площа установки становила 0,052 м², а об'єм 0,005 м³.

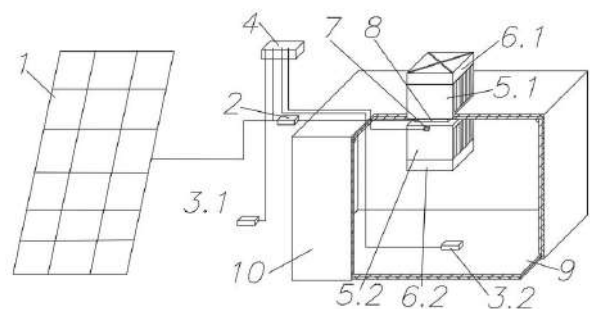


Рис. 1. Схематичне зображення експериментальної лабораторної установки

На схематичному зображенні лабораторної установки є такі елементи: 1. Сонячна панель; 2. Реле; 3.1-3.2 – Комбіновані датчики температури та вологості; 4. Мікрокомп'ютер; 5.1-5.2 Радіатор; 6.1-6.2 – Вентилятор; 7. – Термопара; 8. –

Елемент Пельтьє; 9. – Корпус установки; 10. – Утеплювач пінопластовий.

Головна ідея дослідження полягає у використанні сонячної енергії для забезпечення охолодження повітря в приміщенні.

Для різних систем охолодження потрібно адекватно та безпосередньо індивідуально обирати джерела енергії. В більшості з них (кондиціонери, адіабатичне охолодження, холодна стеля, тощо)[21, 22] використовують електроенергію змінного струму від мережі, проте це не завжди можливо. Але є можливість застосувати альтернативні джерела живлення, такі як сонячні панелі, генератори або системи зберігання енергії, щоб забезпечити незалежність від можливих перебоїв у електропостачанні та зменшити витрати на електроенергію. А обрання сонячних панелей та систем зберігання енергії нададуть можливість системі функціонувати навіть у разі відключення електромережі або аварійних ситуацій, забезпечуючи стабільне електропостачання[23].

Вплив температури оточуючого середовища на установку став менш відчутним завдяки впровадженню ізоляції, що дозволяє проводити досліди, що наближаються до реальних умов випробувань.

Таким чином, для дослідження зміни температури в замкнутому просторі була виготовлена експериментальна установка, на якій проводились наступні дослідження.

Було проведено понад двадцять експериментів, в ході яких вивчалися теплові процеси

усередині установки, як з урахуванням примусової конвекції, так і без неї. В ході цих експериментів було отримано дані з інтервалом в 60 с.

Температура в приміщенні в якій знаходилась установка становила приблизно 295 К, вологість $\sim 44\%$.

Отримані данні були занесені в таблиці 1 та 2. В них використовуються такі позначення: T_{21} , T_{22} - температура в середині установки, T_{31} , T_{32} - температура радіатора, T_0 – температура навколишнього середовища.

Можна побачити з таблиці 1, що без конвекції температура в середині установки різниця температури між радіатором та повітрям в середині установки становила 8-9 К. Це свідчить про те, що: без конвекції радіатор в цих дослідах виступає в якості акумулятора холоду й, частково, віддає холод повітря.

У таблиці 2 наведено результати експериментів, проведених із використанням примусової конвекції, коли вентилятор був увімкнений на "холодному" радіаторі.

Як можна бачити із таблиці 2, використання примусової конвекції призводить до різниці в температурі між початковою температурою радіатора T_0 та температурою всередині пристрою в діапазоні від 0,75 до 1,5 Кельвіна. Це свідчить про те, що відбувається ефективний обмін теплом між радіатором та повітрям всередині пристрою, і установка працює ефективніше, ніж за відсутності циркуляції повітря.

Таблиця 1

Результати дослідження без примусової конвекції в середині установки

| № досліду t, сек | 1 | | | 2 | | | 10 | | |
|---------------------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|--------|
| | T_{21} | T_{31} | T_0 | T_{21} | T_{31} | T_0 | T_{21} | T_{31} | T_0 |
| 0 | 296.65 | 294.15 | 295.45 | 296.65 | 294.15 | 295.45 | 297.15 | 294.15 | 295.65 |
| 60 | 294.9 | 294.15 | 295.55 | 294.9 | 294.15 | 295.55 | 295.15 | 294.15 | 295.75 |
| 120 | 292.65 | 294.15 | 295.45 | 292.65 | 294.15 | 295.45 | 293.15 | 294.15 | 295.85 |
| 180 | 291.15 | 294.15 | 295.35 | 291.15 | 294.15 | 295.35 | 291.15 | 294.15 | 295.85 |
| 240 | 289.4 | 294.15 | 295.35 | 289.4 | 294.15 | 295.35 | 289.9 | 294.15 | 295.95 |
| 300 | 288.15 | 293.15 | 295.45 | 288.15 | 293.15 | 295.45 | 288.15 | 294.15 | 295.85 |
| 360 | 286.65 | 293.15 | 295.45 | 286.65 | 293.15 | 295.45 | 287.65 | 293.15 | 295.95 |
| 420 | 285.4 | 292.15 | 295.45 | 285.4 | 292.15 | 295.45 | 287.15 | 292.15 | 295.85 |
| 480 | 284.4 | 292.15 | 295.35 | 284.4 | 292.15 | 295.35 | 286.15 | 292.15 | 295.95 |
| 540 | 283.65 | 292.15 | 295.35 | 283.65 | 292.15 | 295.35 | 285.15 | 292.15 | 295.85 |
| 600 | 283.15 | 291.15 | 295.35 | 283.15 | 291.15 | 295.35 | 284.65 | 291.15 | 295.95 |
| 720 | 282.4 | 291.15 | 295.35 | 282.4 | 291.15 | 295.35 | 283.65 | 290.15 | 295.85 |
| 840 | 281.15 | 290.15 | 295.35 | 281.15 | 290.15 | 295.35 | 282.65 | 290.15 | 295.95 |
| 960 | 280.65 | 289.15 | 295.35 | 280.65 | 289.15 | 295.35 | 281.65 | 290.15 | 295.85 |
| 1080 | 280.15 | 289.15 | 295.35 | 280.15 | 289.15 | 295.35 | 281.4 | 290.15 | 295.95 |
| 1200 | 279.15 | 288.15 | 295.35 | 279.15 | 288.15 | 295.35 | 281.15 | 289.15 | 295.75 |

Таблиця 2

Результати дослідження з примусовою конвекцією в середині установки

| № досліджу t, сек | 1 | | | 2 | | | 10 | | |
|----------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | T ₂₂ | T ₃₂ | T ₀ | T ₂₂ | T ₃₂ | T ₀ | T ₂₂ | T ₃₂ | T ₀ |
| 0 | 296.65 | 294.15 | 295.65 | 296.65 | 294.15 | 295.45 | 297.65 | 295.15 | 295.65 |
| 60 | 293.9 | 294.15 | 295.75 | 294.15 | 294.15 | 295.35 | 296.15 | 294.15 | 295.65 |
| 120 | 293.65 | 292.15 | 295.85 | 293.4 | 292.15 | 295.55 | 294.9 | 293.15 | 295.65 |
| 180 | 292.9 | 292.15 | 295.65 | 292.9 | 292.15 | 295.55 | 293.9 | 293.15 | 295.75 |
| 240 | 292.15 | 291.15 | 295.55 | 291.9 | 291.15 | 295.45 | 293.9 | 292.15 | 295.55 |
| 300 | 291.65 | 291.15 | 295.65 | 291.15 | 290.15 | 295.35 | 292.4 | 292.15 | 295.45 |
| 360 | 290.9 | 290.15 | 295.65 | 290.4 | 290.15 | 295.45 | 292.4 | 291.15 | 295.35 |
| 420 | 290.4 | 290.15 | 295.65 | 290.15 | 290.15 | 295.35 | 292.15 | 291.15 | 295.35 |
| 480 | 289.9 | 289.15 | 295.65 | 289.4 | 289.15 | 295.35 | 291.65 | 290.15 | 295.35 |
| 540 | 289.4 | 289.15 | 295.65 | 289.65 | 289.15 | 295.45 | 291.4 | 290.15 | 295.65 |
| 600 | 289.4 | 289.15 | 295.65 | 289.15 | 288.15 | 295.55 | 291.15 | 290.15 | 295.45 |
| 720 | 288.9 | 288.15 | 295.65 | 288.65 | 288.15 | 295.45 | 290.9 | 289.15 | 295.35 |
| 840 | 288.4 | 287.15 | 295.65 | 288.15 | 287.15 | 295.45 | 289.65 | 288.15 | 295.25 |
| 960 | 287.65 | 287.15 | 295.65 | 287.65 | 286.15 | 295.35 | 289.15 | 288.15 | 295.35 |
| 1080 | 287.65 | 286.15 | 295.65 | 287.4 | 286.15 | 295.35 | 288.9 | 287.15 | 295.35 |
| 1200 | 286.9 | 286.15 | 295.65 | 286.9 | 286.15 | 295.35 | 287.65 | 286.15 | 295.45 |

На рис.2 представлений усереднений графік значень з 20 дослідів з використанням примусової конвекції та без неї.

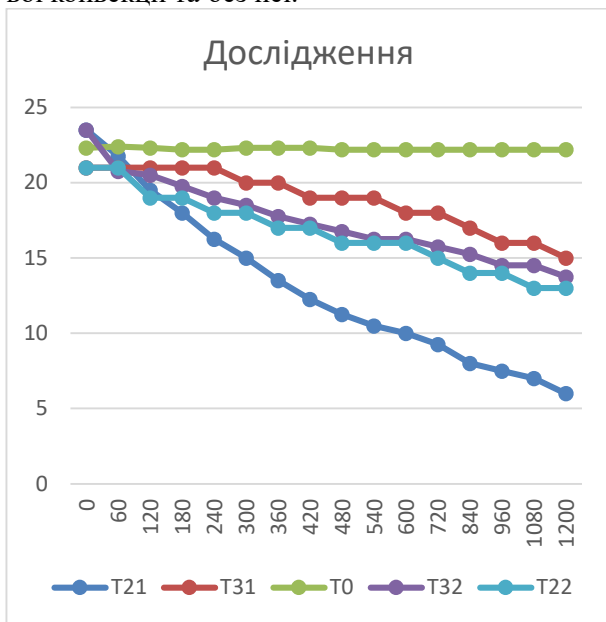


Рис. 2. Зміна температури з часом

На графіках (Рис.2.) позначено: T₂₁ - температура радіатора без конвекції, T₃₁ - температура в середині установки без конвекції, T₀ - температура навколишнього середовища, T₃₂ - температура радіатора з конвекцією, T₂₂ - температура в середині установки з конвекцією.

В запропонованій системі має місце декілька перетворень енергії.

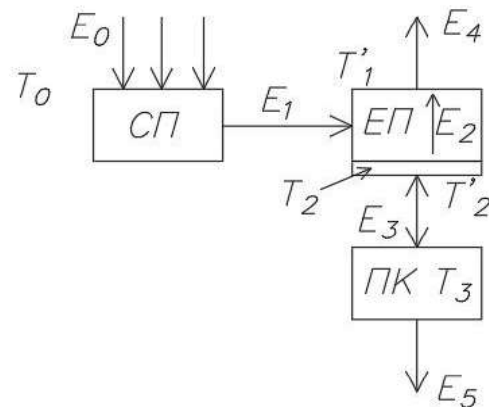


Рис. 3. Схема перетворень енергії

На рис.3 використовуються позначення: E₀ – енергія сонячного випромінювання, що надійшла до сонячної панелі(СП), E₁ – енергія електричного струму, що надійшла з сонячної панелі до елемента Пельтьє(ЕП), E₂ – теплова енергія перенесена з однієї сторони елемента Пельтьє на іншу, E₃ – теплова енергія .що надійшла з повітря до радіатора, котрий прикріплений до елемента Пельтьє, E₄ – енергія теплообміну на елементі Пельтьє та навколишнього середовища, E₅ – енергія теплообміну, що впливає на контейнер та навколишнє середовище, T₀ – температура навколишнього середовища, T₁ – температура на верхній стороні елемента Пельтьє, T₂ – температура на нижній стороні елемента, T₂ – температура на радіаторі, котрий щільно прикріплений до елемента, T₃ – температура всередині контейнера ПК.

В елементі Пельтьє виконується перерозподіл енергії. За рахунок контакту нижньої сторони елемента з повітрям в контейнері, повітря контейнера віддає енергію E_3 . Крім того відбувається процес розсіювання теплової енергії навколишньому середовищу E_4 і E_5 . Але за рахунок теплоізоляції, будемо вважати, що E_5 прагне до 0.

Будемо вважати, що T_2' на нижній стороні елемента дорівнює температурі верхній поверхні радіатора, яка знаходиться в безпосередньому контакті з елементом і вимірювальною термопарою T_2 . Температура повітря в контейнері T_3 вимірюється датчиком див. Рис. 1.

Без врахування втрат енергії можна записати відповідно до закону збереження енергії

$$E_0 = E_1 = E_2 = E_3 + E_4 + E_5 \quad (1)$$

Разом з тим враховуючи втрати енергії (ККД) формула (1) буде мати вигляд

$$\left. \begin{aligned} E_0 &= \frac{E'_1}{\eta_1} \\ E'_1 &= \frac{E'_2}{\eta_2} \\ E'_2 &= E_3 + E_4 + E_5 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де E'_1, E'_2 - практично отримана енергія з врахуванням ККД.

Якщо припустити, що

$$E_5 \rightarrow 0 \quad (3)$$

то $E'_2 = E_3 + E_4$

Енергія E_3 відповідає кількості теплоти Q , що передана повітрям в контейнері елементу Пельтьє.

Енергія E_4 відповідає кількості теплоти Q , що передана елементом Пельтьє повітрям ззовні контейнера.

Припустимо, що E_3 буде дорівнювати E_4 , так як відбувається перенос енергії без втрат.

В дослідженнях без конвекції використання елемента Пельтьє зменшило температуру повітря з 296,65 К до 288,15 К за 1200 секунд. А в дослідженнях з примусовою конвекцією – з 296,65 К до 286,15 К за 1200 секунд.

Розглянемо 1 випадок. Без примусової конвекції.

Розрахуємо кількість тепла, яку втрачає повітря в контейнері при охолодженні на ΔT :

$$Q = c m \Delta T \quad (4)$$

де c – питома теплоємність повітря, m – маса повітря, ΔT – зміна температури, $\Delta T = T_0 - T_3$

Для визначення кількості теплоти (енергії) яку зміг перенести елемент Пельтьє без примусової конвекції

$$Q = 1005 * 0,006 * (296,65 - 288,15) = 51 \text{ Дж}$$

Таким чином, $E_3 = Q = 51$ Дж. Визначимо величину E'_1 , електричну енергію, яка фактично пішла на роботу елемента Пельтьє:

$$E'_1 = \frac{E'_2}{\eta_2} = \frac{E_3 + E_4}{\eta_2} = \frac{51 + 51}{0,35} = 291 \text{ Дж}$$

Тобто, на охолодження контейнера $0,005 \text{ м}^3$ з 296,65 до 288,15 К було використано 291 Дж енергії на перенос 51 Дж за 1200 с.

Розрахуємо ККД установки при охолодженні.

$$\eta_{\text{уст}} = \frac{E_3}{E'_1} * 100 = \frac{51}{291} * 100 = 17,52\%$$

Розрахуємо EER [24] установки. EER - індекс енергетичної ефективності при роботі на охолодження. Він вказує відношення нагрівання або охолодження до кількості спожитої для цього електроенергії. Для цього використовуємо формулу:

$$EER = \frac{Q_x}{N_{\text{спож}}} = \frac{E_3}{E'_1}, \quad (5)$$

де $Q_x = E_3$ – енергія холодопродуктивності, $N_{\text{спож}} = E'_1$ – енергія споживання.

Для визначення коефіцієнту перетворення (EER) для охолодження без конвекції:

$$EER = \frac{51}{291} = 0,18$$

Розглянемо 2 випадок. З примусовою конвекцією.

Для визначення кількості теплоти (енергії) яку зміг перенести елемент Пельтьє з конвекцією за формулою (4)

$$Q = 1005 * 0,006 * (296,65 - 286,15) = 63 \text{ Дж}$$

Таким чином, в цьому випадку $E_3 = Q = 63$ Дж. Визначимо величину E'_1 , електричну енергію, яка фактично пішла на роботу елемента Пельтьє:

$$E'_1 = \frac{E'_2}{n_2} = \frac{E_3 + E_4}{n_2} = \frac{63 + 63}{0,35} = 360 \text{ Дж}$$

Тобто, на охолодження контейнера $0,005 \text{ м}^3$ з $296,55$ до $286,15 \text{ К}$ було використано 360 Дж енергії на перенос 63 Дж за 1200 секунд.

Розрахуємо ККД для охолодження.

$$n_{\text{уст}} = \frac{E_3}{E'_1} * 100 = \frac{63}{360} * 100 = 17,5\%$$

Для визначення коефіцієнту перетворення (EER) для охолодження з примусовою конвекцією скористаємося формулою (5):

$$EER = \frac{63}{360} = 0,18$$

Як можна побачити, що елемент Пельтьє має досить низький EER [26, 27], в порівнянні з кондиціонерами масового виробництва, які мають EER/COP від 4.1 до 8.5 . Виходячи з цього можна припустити, що елемент Пельтьє більш пристосований для охолодження та/або обігріву повітря в приміщеннях невеликих об'ємів, де економія електроенергії не є пріоритетом, зокрема теплиці [28].

Висновки. Після створення та введення в дію установки отримані результати відповідають очікуванням. За аналізом цих даних були обчислені Коефіцієнти Одиниці Потужності EER установки: для процесу охолодження – $0,18$ без примусової конвекції та $0,18$ з примусовою конвекцією та ККД, яке становило $17,5\%$.

Основним спрямуванням подальших досліджень є розробка моделі, що враховує всі аспекти теплових перетворень, і може бути застосована для розробки системи автоматичного керування температурними режимами для різних об'єктів.

Література

1. Михненко С. Охолодження з використанням сонячної енергії [Електронний ресурс] / Сергій Михненко. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://aw-therm.com.ua/solnechnoe-ohlazhdenie/>.
2. Переваги приватної сонячної електростанції [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://ecotechnica.com.ua/stati/5126-plyusy-i-minusy-solnechnykh-batarej-v-chastnom-dome-10-samykh-vazhnykh-faktov-kotorye-nuzhno-uchest.html>.
3. Journal of ELECTRONIC MATERIALS, Vol. 48, No. 9, 2019 <https://doi.org/10.1007/s11664-019-06952-x> 2019 The Minerals, Metals & Materials Society
4. T. Wey, in IEEE North-East Workshop on Circuits and Systems (2006), pp. 277–280.
5. Casado A. R. Experimental and Computational Model for a Neonatal Incubator with Thermoelectric Conditioning System [Електронний ресурс] / Casado // mdpi. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5278>.
6. Елемент Пельтьє для обдува сидіння [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://klifex.ua/ehlement-pelte-dlya-motora-obduva-sideniya-ford-fusion-mondeo-explorer>.
7. V. Milanovic, M. Hopcroft, C. Zincke, M. Zaghoul, and K.S.J. Pister, Thermic 2000, International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems (2000), pp. 1–5
8. GM250-127-14-10 Thermoelectric generator module data sheet, European Thermodynamics Limited (2017).
9. Alasir, Solder alloys: physical and mechanical properties, http://alasir.com/reference/solder_alloys/162. Accessed 2 Jan 2018
10. L. Technologies, Thermoelectric handbook, 2014.
11. TECA, Thermoelectric air conditioner applications, 2015.
12. O. Sullivan, B. Alexandrov, S. Mukhopadhyay, and S. Kumar, 3d compact model of packaged thermoelectric coolers, Journal of Electronic Packaging, 135, 031006 (2013).
13. КОЦЮРБА В. «Автоматизована система вирощування рослин, чутливих до абіотичних факторів / В. КОЦЮРБА. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 69 с.
14. Система охолодження та нагріву на базі елемента пельтьє в гідропонних установках [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://jahforum.net/topic/77865-sistema-ohlazhdeniya-v-indore-svoimi-rukami-sistema-ohlazhdeniya-kompota-v-sistemah-gidropo-niki/?tab=comments>.
15. Охолоджувач для молока на основі елемента Пельтьє [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://jura.com.ua/ohladitel-moloka-jura-cool-control-11-whiteea>.
16. Забезпечення оптимальної температури для птахів на основі елемента Пельтьє [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://dv-expert.org/laboratornoe-oborudovanie/inkubator/memmert/inkubator-s-ohlazhdeniem-memmert-ipp-110-1081-ot-0-s-do-70-s-singledisplay>.
17. Пристрій на базі елемента пельтьє для збереження сільгосп продукції [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://www.moyo.ua/ua/news/kak_sdelat_samodelnuyu_holodilnik_v_domashnih_usloviyah.html.
18. M. V. Manno, ON-CHIP THERMOELECTRIC HOTSPOT COOLING, Ph.D. thesis, University of Maryland, 2015.

19. Дослідження термоелектричних охолоджувачів, що працюють з безперервними імпульсами струму. Перетворення та керування енергією Ма, Мін; Ю, Цзяньлінь; Чень, Цзяхен том. 98, стор. 275 – 281, 2015.
20. Cheng, C.H., Huang, S.Y., Cheng, T.C., 2011. A three-dimensional theoretical model for predicting transient thermal behavior of thermoelectr
21. Тарасов В. Р. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ / В. Р. Тарасов, Т. Г. Сотнікова. // ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля. – 2021. – С. 42–46.
22. Zhang, H.Y., 2010. A general approach in evaluating and optimizing thermoelectric coolers. *Int. J. Refrigeration* 33 (6), 1187-1196.
23. JA Chavez, JA Ortega, J. Salazar, A. Turo, MJ Garcia, SPICE модель термоелектричних елементів, включаючи теплові ефекти. У матеріалах 17-ї конференції приладобудування та вимірювальних технологій IEEE, 2000, стор. 1019-23.
24. Коефіцієнт EER [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://dbuy.ua/stati/koeffitsient-energoeffektivnosti/>.
25. Коефіцієнт COP [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://dbuy.ua/stati/koeffitsient-energoeffektivnosti/>.
26. Bollati E. Generadores termoeléctricos: Generación de energía sin partes móviles Corporex S.A (2007-01-0121 (2007)
27. Kumar S., Mahto D. Thermal analysis and performance evaluation of peltier module *Renew Energy Innov Technol* (2019), pp. 173-184
28. Yang Z., et al. Improved thermoelectric generator performance using high temperature thermoelectric materials
- WCXTM 17: SAE world congress experience: 2017-01-0121 (2017)
29. Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells [Електронний ресурс] / Luigi O. Freire, Luis M. Navarrete, Byron P. Corrales, Jessica N. Castillo // *sciencedirect*. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721007022>.
3. *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, Vol. 48, No. 9, 2019 <https://doi.org/10.1007/s11664-019-06952-x> 2019 The Minerals, Metals & Materials Society
4. T. Wey, in *IEEE North-East Workshop on Circuits and Systems* (2006), pp. 277–280.
5. Casado A. R. Experimental and Computational Model for a Neonatal Incubator with Thermoelectric Conditioning System [Elektronnyi resurs] / Casado // *mdpi*. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/17/5278>.
6. Element Peltie dlia obduva sydinnia [Elektronnyi resurs]. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://klifex.ua/ehlement-pelte-dlya-motora-obduva-sideniya-ford-fusion-mondeo-explorer>.
7. V. Milanovic, M. Hopcroft, C. Zincke, M. Zaghoul, and K.S.J. Pister, *Therminic 2000, International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems* (2000), pp. 1–5
8. GM250-127-14-10 Thermoelectric generator module data sheet, *European Thermodynamics Limited* (2017).
9. Alasir, Solder alloys: physical and mechanical properties, http://alasir.com/reference/solder_alloys/162. Accessed 2 Jan 2018
10. L. Technologies, *Thermoelectric handbook*, 2014.
11. TECA, *Thermoelectric air conditioner applications*, 2015.
12. O. Sullivan, B. Alexandrov, S. Mukhopadhyay, and S. Kumar, 3d compact model of packaged thermoelectric coolers, *Journal of Electronic Packaging*, 135, 031006 (2013).
13. KOTsIuRBA V. «Avtomatyzovana systema vyroshchuvannia roslyn, chutlyvykh do abiotychnykh faktoriv / V. KOTsIuRBA. – Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2020. – 69 s.
14. Systema okholodzhennia ta nahrivu na bazi elementa peltie v hidroponnykh ustanovkakh [Elektronnyi resurs]. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://jahforum.net/topic/77865-sistema-ohlazhdeniya-v-indore-svoimi-rukami-sistema-ohlazhdeniya-kompota-v-sistemah-gidroponiki/?tab=comments>.
15. Okholodzhuvach dlia moloka na osnovi elementa Peltie [Elektronnyi resurs]. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://jura.com.ua/ohladitel-moloka-jura-cool-control-11-whiteea>.
16. Zabezpechennia optymalnoi temperatury dlia ptakhiv na osnovi elementa Peltie [Elektronnyi resurs]. – 2022. – Rezhym dostupu do resursu: <https://dv-expert.org/laboratornoe-oborudovanie/inkubator/memmert/inkubator-s-ohlazhdeniem-memmert-ipp-110-1081-ot-0-s-do-70-s-singledisplay>.
17. Prystrii na bazi elementa peltie dlia zberezhennia silhosp produktsii [Elektronnyi resurs]. – 2017. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.moyo.ua/ua/news/kak-sdelat-samodelnyi-holodilnik-v-domashnih-usloviyah.html>.

References

18. M. V. Manno, ON-CHIP THERMOELECTRIC HOTSPOT COOLING, Ph.D. thesis, University of Maryland, 2015.
19. Doslidzhennia termoelektrychnykh okholodzhuvachiv, shcho pratsiuiut z bezperervnymy impulsamy strumu. Peretvorennia ta keruvannia enerhiieiu Ma, Min; Yu, Tszianlin; Chen, Tziakhen tom. 98 , stor. 275 – 281 , 2015 .
20. Cheng, C.H., Huang, S.Y., Cheng, T.C., 2011. A three-dimensional theoretical model for predicting transient thermal behavior of thermoelectr
21. Tarasov V. R. ANALIZ SUCHASNOHO STANU SYSTEM OKHOLODZHENNIa PRYMISHchENNIa / V. R. Tarasov, T. H. Sotnikova. // VISNYK SKHIDNOUKRAINSKOHO NATSIONALNOHO UNIVERSYTETU imeni Volodymyra Dalia. – 2021. – S. 42–46.
22. Zhang, H.Y., 2010. A general approach in evaluating and optimizing thermoelectric coolers. Int. J. Refrigeration 33 (6), 1187-1196.
23. JA Chavez, JA Ortega, J. Salazar, A. Turo, MJ Garcia, SPICE model termoelektrychnykh elementiv, vkluchaiuchy teplovi efekty. U materialakh 17-i konferentsii pryladobuduvannia ta vymiriuvalnykh tekhnolohii IEEE , 2000, stor. 1019-23.
24. Koefitsiient EER [Elektronnyi resurs]. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://dbuy.ua/stati/koeffitsient-energoeffektivnosti/>.
25. Koefitsiient COP [Elektronnyi resurs]. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://dbuy.ua/stati/koeffitsient-energoeffektivnosti/>.
26. Bollati E. Generadores termoeléctricos: Generación de energía sin partes móviles Corporex S.A (2007-01-0121 (2007)
27. Kumar S., Mahto D. Thermal analysis and performance evaluation of peltier module Renew Energy Innov Technol (2019), pp. 173-184
28. Yang Z., et al. Improved thermoelectric generator performance using high temperature thermoelectric materials WCXTM 17: SAE world congress experience: 2017-01-0121 (2017)
29. Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells [Elektronnyi resurs] / Luigi O. Freire, Luis M. Navarrete, Byron P. Corrales, Jessica N. Castillo // sciencedirect. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721007022>.

Tarasov V., Sotnikova T., Asmankina A.

Simulation of the temperature processes in the «solar panel-cooler» system

The laboratory research results fluidizer is in-process presented air cooling, which uses sun energy in quality the source of feed. 20 experiments are conducted more than with active ventilation and without it in

different times of year. The practical is got data and thermal processes are expected after formulas.. There was the formed conclusion, that to the Peltier element.

Humanity needs more energies, that is why a necessity appears for research and introduction of alternative energy sources. For example, energy consumption in Ukraine was January-September, 2021 made by 86,2 billion kWh and for January-September, 2022 did make 92,2 billion kWh – it on 6,9% anymore. But every year this number (energy consumption) will grow, especially at the aggressor's encroachments terms. This common power with every year will all heavier generate due to the fossil fuel: oil, coal, gas, uranium, and others. Due to information about "green technologies" Ukrainians began more active to set sun panels and alike facilities. For example, in 2021 year, about 15 000 users were set by sun batteries, the State agency from energy-savings press-service reports. This is almost twice as much as the year before. In total, by the end of 2021, about 45,000 families used solar panels.

The direct conversion of solar radiation into electricity method is, firstly, the most convenient for the consumer, since the most used type of energy is obtained, and, secondly, this method is considered an environmentally friendly means of obtaining electricity, unlike others that use organic fuel, nuclear raw materials or water resources.

The use of modern technologies will contribute not only to increasing the efficiency of greenhouse farming, but also to reducing the ecological impact on the environment.

The obtained data are useful and important for further use: the Peltier element has a low COP/EER, but in the absence of alternatives, its use is reasonable. Satisfactory results obtained - the installation was powered by solar energy, which makes other types of indoor cooling systems, in the future, independent of centralized power supply and/or mobile.

Keywords: *thermal processes modeling, solar panels, renewable energy sources, Peltier element, measurement.*

Тарасов Володимир Русланович – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, асистент комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, tarasov_v@snu.edu.ua
Сотнікова Тетяна Генадіївна – к.т.н., доц., кафедри кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля
Асманкіна Анастасія Анатоліївна - асистент кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.