

DOI: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2021-269-5-42-46>

УДК 681.5.08 : 681.05.011

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМ ОХОЛОДЖЕННЯ ПРИМІЩЕННЯ

Тарасов В.Р., Сотнікова Т.Г.

## ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF ROOM COOLING SYSTEMS

Tarasov V.R., Sotnikova T.G.

*В роботі було досліджено альтернативні види систем формування клімату на основі таких видів систем охолодження як: адіабатичне охолодження; холодна стеля; абсорбційна холодильна машина з використанням броміду літію; система з використанням елементу Пельтьє. Запропоновано та розроблено схему, яка враховує недоліки розглянутих систем. Запропонована система має просту конструкцію, більш екологічна, в неї відсутній холодоагент. Розраховано кількість елементів Пельтьє необхідну для формування заданої температури в приміщенні. Розробка альтернативних систем охолодження дуже актуальна проблема на сьогоднішній час. У житлових приміщеннях набув широкий попит на кондиціонери з використанням фреону у якості холодоагенту. Дані системи не є надійними через те, що є ризик витоку фреону. Також є проблема в тому, що кондиціонер є осередком підвищеної вологості, що в свою чергу спричиняє розмноженню бактерій та грибків. Разом з посиленням санітарних вимог до житлових приміщень та тих приміщень де перебуває людина та заборонами використання старих різновидів фреонів змусили науковців та виробників шукати нові, більш екологічні, види охолодження приміщення без використання фреонів. Серед них це: використання води та її розчинів в якості холодоагентів; використання різниці температур навколишнього середовища; теплонасосів заснованих на ефекті Пельтьє.*

*В результаті досліджень було встановлено, для охолодження приміщення краще використати елемент Пельтьє, так як він екологічний (відсутні викиди CO<sub>2</sub>, CO, CFH<sub>3</sub>, CFCIH<sub>2</sub>), відсутні механічні деталі. Для охолодження приміщення площею 10 м<sup>2</sup> потрібно близько 8 шт. Для точного керування системою краще використовувати точні датчики температури.*

*Отримані дані є корисними та важливими: доведено, що система з використанням елементу Пельтьє може працювати на генерацію холоду; запропонований розрахунок є універсальними, тому, що має можливість розрахувати потужності елементів Пельтьє. Використання елементу Пельтьє дозволить використати силу сонця для зменшення негативних впливів на людину, зокрема вплив високої температури.*

**Ключові слова:** альтернативні системи охолодження, абсорбційна холодильна машина, елемент Пельтьє.

**Вступ.** Проблема забруднення природи викидами оксиду вуглецю, сполук азоту та інших шкідливих сполучень гостро відчувається на нашому житті.

Зі збільшенням кількості викидів вуглекислого газу стало наслідком глобального потепління. На даний час (протягом останніх 5 років) в Східній Європі спостерігається аномальна спека та засуха через велику кількість сонячних днів в літку та техногенних явищ. [1] Під час спеки у людей підвищується тиск, виникає великий ризик інфаркту та інших хвороб. Але є можливість використати енергію сонця для формування клімату в будинку, а саме перетворювати її в електричну енергію.

Розробка альтернативних систем охолодження дуже актуальна на сьогоднішній час. У переважній більшості для охолодження приміщень використовують кондиціонери з фреоном. Ці системи не є надійними, так як виникає ризик витоку фреону. Через постійні заборони фреонів науковці змушені шукати альтернативні види охолодження.

В ході дослідження були розглянуті такі системи формування клімату в будівлі:

1. Системи в яких використовується вода в якості холодоагенту: адіабатичне охолодження [2] та холодна стеля [3].

Переваги таких систем: екологічність; економія електроенергії (до 30%); безшумна робота; підвищення енергоефективності систем кондиціонування в теплий сезон, екологічність.

Недоліки систем: можливість роботи лише в теплий сезон; використання води в якості теплоносія, що під час поломки може призвести до серйозних витрат, залежність ККД від діаметра одержуваних крапель; залежність від вологості повітря; складність системи; складна конструкція системи охолодження; нестійкість системи.

2. Система з використанням абсорбенту: абсорбційна холодильна машина [4].

Перевагами є: малий шум; тривалий термін служби, який становить десятки років; пожежо-і вибухонебезпечність; повна автоматизація; нескладне обслуговування.

Недоліками є: підігрів абсорбційного розчину для роботи системи (газом, вугіллям, електричним струмом і т.п.); складність інтегрування в систему керування будівлі; використання токсичних матеріалів в теплоносії.

3. Система охолодження з використанням елемента Пельтьє [5] [6].

Переваги: немає рухомих частин, що підвищує його термін служби; є можливість з'єднання безліч елементів в один каскад, що дозволяє зменшувати температуру дуже гарячих деталей; при зміні полярності напруги живлення елемент стане працювати в зворотному напрямку, тобто, сторони охолодження і нагріву поміняються місцями.

Недоліком є недостатній коефіцієнт корисної дії, що впливає на збільшення підведеного струму, для досягнення необхідного перепаду температур.

В ході дослідження було виявлено, що система адіабатичного охолодження та система «холодна стеля» використовують воду в якості теплоносія, що є великим недоліком через фізичні властивості води. В абсорбційній холодильній машині в якості теплоносія використовується водний розчин аміаку та водний розчин броміду літію, які є токсичними для людини та їх потрібно підігрівати до відносно великих температур для роботи системи. Через це система з використанням елемента Пельтьє віддається найбільша перевага з-за відсутності вищезазначених недоліків.

Зараз в світі актуальним є курс на екологічність. Сучасна екологічна ситуація в світі та Україні зокрема загострюється з кожним днем. Забруднення атмосфери шкідливими викидами разом зі збільшеною сонячною активністю призводять до парникового ефекту який негативно впливає на здоров'я людини. Використання елемента Пельтьє дозволить використати силу сонця для зменшення негативних впливів на людину, зокрема вплив високої температури.

#### Огляд літератури.

В роботі [7] були отримані результати, які показують, що розроблена система виявилася неспроможною точно регулювати температуру в будинку. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі які пов'язані з тим, що в системі використовувався датчик температури з великою похибкою (~2%), низькою дискретизацією та відсутній пристрій охолодження/нагріву приміщення.

Варіантом подолання цих труднощів є: використання більш точного цифрового датчика температури, використання пристрою котрий в собі має елемент Пельтьє.

Саме такий підхід використаний у роботі "Розробка системи керування життєзабезпеченням "Розумний будинок"" призвів до того, що система була спроектована без розрахунків тепловтрат.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення досліджень визначенню ККД системи включно з елементом Пельтьє та високоточних, цифрових датчиків температури.

В роботі [8] отримані результати, які доводять, що розроблений пристрій не в змозі в достатній мірі охолодити температуру повітря в приміщенні. При температурі 22 °C в кімнаті, пристрій на зміг його охолодити навіть 0.5 °C. Причиною цього можуть бути об'єктивні труднощі пов'язані з тим, що в системі відсутні датчики температури та використанням 1 елемента Пельтьє з такими характеристиками: 12 В, 6 А що дасть 72Вт потужності елемента, що робить відповідне дослідження недоцільним, так як теоретично потрібно близько 100 Вт на м<sup>2</sup>.

Варіантом подолання цих труднощів може бути: збільшення кількості елементів Пельтьє; використання додаткових датчиків температури на вході та виході потоку повітря в пристрої, для більш точного керування пристроєм.

Саме такий підхід використаний у роботі "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє" призвів до того, що пристрій був сконструйований без необхідних розрахунків.

Все це дозволяє стверджувати, що доцільним є проведення дослідження спрямоване на збільшення ККД системи з використанням елемента Пельтьє зі збільшеною кількістю елементів, датчиків температури та розрахунки.

**Мета та задачі.** Метою роботи є розробка системи яка базується на елементі Пельтьє з підвищеним ККД. Для вирішення цієї мети потрібно розв'язати такі задачі:

- розробити схему, яка б була позбавлена недоліків як інших систем охолодження приміщення так і тих, що базуються на елементі Пельтьє;

- розрахувати необхідну кількість елементів Пельтьє для охолодження приміщення площею 10 м<sup>2</sup>.

При розгляді систем на основі елемента Пельтьє було розроблено схематичне зображення автоматизованої системи яка позбавить недоліків попередні системи (рис.1).

Розроблена схема автоматизованої системи складається з таких блоків та елементів: Блок 1 – перетворює сонячну енергію в електричну, запасе її, конвертує в 220 В та живить Блок 2.

Блок 2 – аналізує температуру та вологість в приміщенні та на основі отриманої інформації вирішує, потрібно охолоджувати повітря або нагрівати його.

Комбінований датчик температури та вологості DHT 22 (12). Цифровий датчик температури та вологості підвищеної точності. Датчик має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням.

Датчик струму ACS712 (5) складається з датчика Холла і мідного провідника. ACS712 датчик побудований на ефекті Холла і має лінійну залежність вимірюваного струму і вихідної сигнальної напруги. Рівень вихідної напруги сенсора пропорційно залежить від вимірюваного струму.

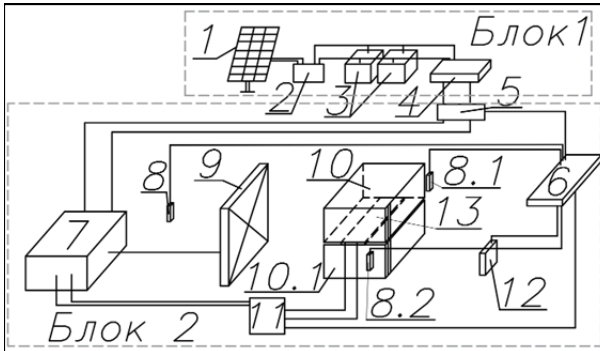


Рис. 1. Схематичне зображення автоматизованої системи охолодження приміщенням:

1 – сонячна панель; 2 – МРРТ контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – інвертор; 5 – Датчик напруги/струму; 6 – Мікроконтролер/ мікрокомп'ютер; 7 – Блок живлення; 8-8.2 – Датчик температури; 9 – Вентилятор; 10-10.1 – Радіатор; 11 – Реле; 12 – Комбінований датчик температури та вологості; 13 – Елемент Пельтьє

Датчик напруги ZMPT101B (5) модуль на основі понижувального трансформатора напруги ZMPT101B, що дозволяє вимірювати напругу змінного струму від 195 до 250 В. Модуль простий у використанні і має на платі багатооборотний потенціометр для регулювання виходу АЦП.

**Основний матеріал.** Модуль Пельтьє, являє собою термоелектричний холодильник, що складається з послідовно з'єднаних напівпровідників р- і n-типу, що утворюють р-n- і n-p-переходи. Кожен з таких переходів має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. В результаті проходження електричного струму певної полярності утворюється перепад температур між радіаторами модуля Пельтьє: один радіатор працює як холодильник, інший радіатор нагрівається і служить для відводу тепла. Також слід зазначити одну закономірність. Якщо примусово відводити тепло з гарячою боку (наприклад за допомогою радіатора), то температура холодної сторони буде знижуватися ще більше.

Переваги: тривалий термін роботи, малі габарити (40\*40\*4 мм), проста конструкція приладу, можливість роботи в зворотному напрямку.

Недоліки: низький ККД в порівнянні з іншими системами охолодження приміщення, високий струм живлення  $I > 20$  А.

Для переконання, що прилад буде працювати належним чином було зроблено математичний розрахунок [9]. Охолодження та нагрівання за рахунок термоелектричного ефекту задається за допомогою рівняння (ефект Пельтьє):

$$Q_c = \alpha I T_c \quad (1)$$

$$Q_c = \alpha I T_h \quad (2)$$

Рівняння для холодного спою:

$$Q_c + 0.5I^2R + U(T_h - T_c) = \alpha I T_c \quad (3)$$

Рівняння для гарячого спою:

$$Q_h + U(T_h - T_c) = \alpha I T_h + 0.5I^2R \quad (4)$$

Таким чином, термоелектричне охолодження є:

$$Q_c = \alpha I T_c - 0.5I^2R - K(T_h - T_c) \quad (5)$$

Термоелектричне опалення є:

$$Q_h = \alpha I T_h + 0.5I^2R - K(T_h - T_c) \quad (6)$$

Теоретичний розрахунок.

Енергія поставляється для холодного спою:

$$P = \alpha I (T_h - T_c) - I^2R \quad (7)$$

$$P = 10 * (60 - 10) - 10^2(-2) = 700 \text{ Вт}$$

Енергія поставляється до гарячого спою:

$$P = \alpha I (T_h - T_c) + I^2R \quad (8)$$

$$P = 10 * (60 - 10) + 10^2(-2) = 300 \text{ Вт}$$

Теоретичний розрахунок необхідної потужності для охолодження приміщення  $\sim 10 \text{ м}^2$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 1.55 \text{ кВт}$$

$$Q_1 = \frac{S * h * q}{1000} = \frac{10 \text{ м}^2 * 2,75 \text{ м} * 40}{1000} = 1,1 \text{ кВт}$$

де  $S$  – площа приміщення,  $h$  – висота приміщення,  $q$  – коефіцієнт для приміщень, в які потрапляє багато сонячного світла;

$Q_2 = 0.1 \text{ кВт}$ , теплопритоки від однієї людини в спокійному стані складуть  $0,1 \text{ кВт}$ ;

$Q_3 = 0.35 \text{ кВт}$ , теплопритоки від побутової техніки (комп'ютер).

Розрахунок потужності кондиціонера був зроблений за допомогою електронного ресурсу (Рис.2) для того, щоб дізнатися, яка кількість елементів Пельтьє необхідна для охолодження приміщення площею  $10 \text{ м}^2$ .

#### Розрахунок потужності кондиціонера

##### Розрахункова потужність охолодження

Основні параметри	Додаткові параметри		
Площа приміщення, м <sup>2</sup>	10	Враховувати вентиляцію	<input type="checkbox"/>
Висота стелі, м	2.75	Кратність воздухообміну	1.0
Ізоляція	Середня	Гарантовані 20°C	<input type="checkbox"/>
Кількість людей	1	Верхній поверх	<input type="checkbox"/>
Кількість комп'ютерів	1	Велике вікно	<input type="checkbox"/>
Кількість телевізорів	0	Площа скління, м <sup>2</sup>	2.5
Потужність іншої побутової техніки, кВт	0		
Потужність охолодження Q:	1.36 кВт		
Рекомендований діапазон Q <sub>range</sub> :	1.3 - 1.6 кВт		

Рис. 2. Фрагмент розрахунку потужності пристрою

**Висновки.** Досліджено системи формування кліматом на основі адіабатичного охолодження, холодної стелі, абсорбційної холодильної машини, елемента Пельтьє.

В результаті отриманих теоретичних розрахунків можна констатувати, що вирішені наступні завдання:

- розроблено схему, яка враховує недоліки вищезазначених систем охолодження приміщення;
- розрахована необхідна кількість елементів Пельтьє для приміщення площею 10 м<sup>2</sup> й вони відмінні від роботи "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє". Це пов'язано з тим, що в роботі не використовували розрахунки потужності елемента для площі приміщення.

Основними перевагами запропонованої схеми є: використання енергії сонця для формування сприятливого клімату в приміщенні; використання збільшеної кількості елементів Пельтьє ніж в роботі "Кондиціонер на базі елемента Пельтьє"; використання більш точних комбінованих датчиків температури та вологості; впровадження точних датчиків напруги та струму.

Основний напрямок подальшої роботи полягає в розробці експериментальної установки, отриманні теоретичних даних, їх обробка.

#### Література

1. Deutsche Welle. Східна Європа потерпає від нестачі вологості більше інших [Електронний ресурс] / Deutsche Welle. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/4cQvxxkT>.
2. Втумані. Адіабатичне охолодження чілерів, драйкулери [Електронний ресурс] / Втумані. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/AcLsQLA>.
3. Vencon. Що таке холодна стеля і як вона працює [Електронний ресурс] / Vencon. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/gcLdYiR>.
4. TopClimat. Що таке абсорбція холодильної машини [Електронний ресурс] / TopClimat. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/RcLd66I>.
5. Школа для електрика. Елемент Пельтьє - як влаштувати і працює, як перевірити і підключити [Електронний ресурс] / Школа для електрика. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/ScLgoQw>.
6. Електросам. Елементи Пельтьє. Робота і застосування. Зворотній ефект [Електронний ресурс] / Електросам. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://cutt.ly/scLgkeu>.
7. Розробка системи керування життєзабезпеченням "Розумний будинок". // Всеукраїнський конкурс студентських робіт. – 2014.
8. Кондиціонер на базі елемента Пельтьє / М. В. Чусовитин, О. Л. Наумов., 2018. – 13 с.
9. Nair A. REVIEW PAPER ON THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONER USING PELTIER MODULES / Anu Nair. // International Journal of Mechanical Engineering (IJME). – 2015. – С. 49–56.

#### References

1. Deutsche Welle. Skhidna Yevropa poterpaie vid nestachi volohy bilshe inshykh [Elektronnyi resurs] / Deutsche Welle. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/4cQvxxkT>.
2. Vtumani. Adiatychnе okholodzhennia chileriv, draikulery [Elektronnyi resurs] / Vtumani. – 2020. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/AcLsQLA>.
3. Vencon. Shcho take kholodna stelia i yak vona pratsiuie [Elektronnyi resurs] / Vencon. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/gcLdYiR>.
4. TopClimat. Shcho take absorbttsiia kholodylni mashyny [Elektronnyi resurs] / TopClimat. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/RcLd66I>.
5. Shkola dlia elektryka. Element Peltie - yak vlashtovanyi i pratsiuie, yak pereviryty i pidkliuchyty [Elektronnyi resurs] / Shkola dlia elektryka. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/ScLgoQw>.
6. Elektrosam. Elementy Peltie. Robota i zastosuvannia. Zvortnii efekt [Elektronnyi resurs] / Elektrosam. – 2021. – Rezhym dostupu do resursu: <https://cutt.ly/scLgkeu>.
7. Rozrobka systemy keruvannia zhyttiezabezpechenniam "Rozumnyi budynok". // Vseukrainskyi konkurs studentskykh robit. – 2014.
8. Kondytsioner na bazi elementa Peltie / M. V. Chusovytyin, O. L. Naumov., 2018. – 13 s.
9. Nair A. REVIEW PAPER ON THERMOELECTRIC AIR-CONDITIONER USING PELTIER MODULES / Anu Nair. // International Journal of Mechanical Engineering (IJME). – 2015. – С. 49–56.

#### Tarasov V.R., Sotnikova T.G. Analysis of the current state of room cooling systems

*The paper investigated alternative types of climate formation systems based on such types of cooling systems as: adiabatic cooling; cold ceiling; absorption refrigeration machine using lithium bromide; system using the Peltier element. A scheme is proposed and developed, which takes into account the shortcomings of the considered systems. The proposed system has a simple design, more environmentally friendly, it has no refrigerant. The number of Peltier elements required for the formation of a given temperature in the room is calculated. The development of alternative cooling systems is a very important issue today. In residential areas, there is a widespread demand for air conditioners using freon as a refrigerant. These systems are not reliable due to the risk of freon leakage. There is also a problem that the air conditioner is a source of high humidity, which in turn causes the growth of bacteria and fungi. Along with the tightening of sanitary requirements for living quarters and living quarters and bans on the use of old varieties of CFCs, scientists and manufacturers have been forced to look for new, more environmentally friendly types of refrigeration without the use of CFCs. These include: the use of water and its solutions as refrigerants; use of the difference of ambient temperatures; heat pumps based on the Peltier effect.*

*As a result of research it was found that it is better to use the Peltier element to cool the room, as it is environmentally friendly (no emissions of CO<sub>2</sub>, CO, CFH<sub>3</sub>, CFCI<sub>2</sub>), no mechanical parts. To cool a room of 10 m<sup>2</sup> requires about 8 pcs. It is better to use accurate temperature sensors for precise system control.*

*The obtained data are useful and important: it is proved that the system using the Peltier element can work on cold generation; The proposed calculations are universal because it has the ability to calculate the power of Peltier elements.*

*The use of the Peltier element will allow you to use the power of the sun to reduce the negative effects on humans, in particular the effects of high temperatures.*

**Key words:** *alternative cooling systems, absorption refrigeration machine, Peltier element.*

**Тарасов Володимир Русланович** – аспірант кафедри комп’ютерно-інтегрованих систем управління, асистент кафедри програмування та математики Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, tarasov\_v@snu.edu.ua

**Сотнікова Тетяна Генадіївна** – к.т.н., доц. кафедри комп’ютерно-інтегрованих систем управління, Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.

Стаття подана 12.08.2021.