

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____ Петро ПЛЄШКОВ
“___” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Аналіз можливості використання ефекту Пельтьє
для створення теплових насосів малої потужності
Analysis of the possibility of using the Peltier effect to
create low-power heat pumps»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____ Андрій ЖЕРДІЙ
«___» _____ 2023 р.

Керівник роботи
к.т.н, доцент
_____ Олександр СІРІКОВ
«___» _____ 2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЕСКОВ

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Жердія Андрія Ігоровича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Аналіз можливості використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності

Analysis of the possibility of using the Peltier effect to create low-power heat pumps

2. Керівник роботи Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 22.12.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є аналіз можливості використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності, що застосовуються в системі опалення приміщень.

Завдання роботи: аналіз, проблеми та шляхи підвищення ефективності теплопостачання в Україні; тепловий насос як вискооефективне джерело тепла; проектування теплового насосу з термоелектричними модулями Пельтьє; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>13.10.23</i>	
2	<i>Аналіз, проблеми та шляхи підвищення ефективності теплопостачання в Україні</i>	<i>27.10.23</i>	
3	<i>Тепловий насос як високоефективне джерело тепла</i>	<i>10.11.23</i>	
4	<i>Проектування теплового насосу з термоелектричними модулями Пельтьє</i>	<i>24.11.23</i>	
5	<i>Охорона праці</i>	<i>08.12.23</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>15.12.23</i>	
7	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації до неї</i>	<i>22.12.23</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Жердій А.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Жердій А.І. Аналіз можливості використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності.

Кваліфікаційна робота за другим (магістерським) рівнем вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз можливості використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності, що застосовуються в системі опалення приміщень. Задача дослідження полягає в аналізі залежностей коефіцієнта перетворення тепла модулів Пельтьє від фізичних параметрів (різниці температур між спаями, струму термомодулю).

Сучасний стан систем теплозабезпечення України знаходиться в критичному стані, що пов'язано з використанням застарілого не ефективного обладнання, неналежною тепловою ізоляцією трубопроводів, великими втратами на етапі використання. Як вимушений крок, для підвищення якості та зниження вартості теплопостачання споживачі переходять на автономне опалення.

Одним з високоефективних джерел тепла є тепловий насос, його перевагою є те, що генерація тепла перевищує витрати електроенергії в 2,5-4 рази. Найбільш розповсюджений тип побутового теплового насосу паро-компресійного типу. Його недоліком є компресор, який як елемент, що має рухомі частини виступає слабкою ланкою теплонасосної установки.

Розглянута можливість застосування термоелектричних елементів Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності. Перевагою такого підходу є можливість створення блочної структури теплового насосу. А перевагою термоелектричних елементів є відсутність рухомих частин, що призводить до підвищення надійності та повна відсутність шуму при роботі.

Ключові слова: тепловий насос, елемент Пельтьє, коефіцієнт перетворення тепла, різниця температур.

ABSTRACT

Zherdiy A.I. Analysis of the possibility of using the Peltier effect to create low-power heat pumps.

Qualification work for the second (master's) level of higher education in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics», educational and professional program «Energy Management», Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the qualification work is to analyze the possibility of using the Peltier effect to create low-power heat pumps used in the space heating system. The task of the study is to analyze the dependence of the heat conversion coefficient of Peltier modules on physical parameters (temperature difference between junctions, thermomodule current).

The current state of Ukraine's heat supply systems is in a critical state, which is associated with the use of outdated inefficient equipment, inadequate thermal insulation of pipelines, and large losses at the stage of use. As a forced step, to improve the quality and reduce the cost of heat supply, consumers switch to autonomous individual heating.

One of the highly efficient sources of heat is a heat pump, its advantage is that the generation of heat exceeds the consumption of electricity by 2.5-4 times. The most common type of household heat pump is the vapor-compression type. Its disadvantage is the compressor, which as an element with moving parts is the weak link of the heat pump installation.

The possibility of using Peltier thermoelectric elements to create low-power heat pumps is considered. The advantage of this approach is the possibility of creating a block structure of the heat pump. And the advantage of thermoelectric elements is the absence of moving parts, which leads to increased reliability and a complete absence of noise during operation.

Key words: heat pump, Peltier element, heat conversion coefficient, temperature difference.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ.....	11
1.1. Аналіз стану теплопостачання в Україні.....	11
1.2. Проблеми систем теплозабезпечення	12
1.3. Аналіз шляхів підвищення ефективності теплопостачання.....	14
1.4. Установка автономного опалення, як вихід із кризового стану	17
1.5. Висновки	20
РОЗДІЛ 2 ТЕПЛОВИЙ НАСОС ЯК ВИСОКОЕФЕКТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ТЕПЛА	21
2.1. Характеристика і призначення теплових насосів	21
2.2. Термодинамічний принцип роботи теплового насосу	24
2.3. Загальна класифікація та існуючі типи теплових насосів	26
2.4. Будова та принцип роботи побутових паро-компресійних теплових насосів	31
2.5. Джерела енергії (тепла) для теплових насосів	34
2.6. Аналіз ринку сучасних теплових насосів побутового призначення.....	37
2.7. Висновки	40
РОЗДІЛ 3 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТУ ПЕЛЬТЬЄ.....	41
3.1. Основні термоелектричні явища	41
3.2. Фізичні явища, що відбуваються в термоелементі при переносі теплоти....	44
3.3. Розрахунок режимів роботи термоелектричного модуля.....	47
3.4. Розрахунок параметрів матеріалу термоелектричних модулів	55
3.5. Каскадне підключення термоелектричних модулів.....	59
3.6. Переваги та недоліки термоелектричного охолодження.....	63
3.7. Висновки	64
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ З ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ ПЕЛЬТЬЄ	67
4.1. Вибір розрахункової різниці температур	67
4.2. Термоелектричні характеристики модулів Пельтьє.....	70

4.3. Вибір кількості каскадів термоелектричного теплового насосу.....	78
4.4. Порівняння теплотехнічних характеристик паро-компресійного та термоелектричного теплового насосу	80
4.5. Проектування системи теплопостачання з термоелектричним тепловим насосом потужністю 2 кВт	82
4.6. Висновки	86
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	89
5.1. Охорона праці під час використання теплового насосу	89
5.2. Розрахунок блискавкозахисту	99
5.3. Висновки	100
ВИСНОВКИ.....	101
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	104

ВСТУП

Підвищення енергоефективності та здобуття енергетичної незалежності залишається важливою задачею для України. Одним з енерговитратних секторів економіки є побутові споживачі і населення. Так, на побутові потреби і опалення в Україні щорічно витрачається біля 20 млрд. м³ природного газу, ледь частка якого йде на опалення. Вартість природного газу для населення та теплокомуненерго наближається до світових цін, що призводить до відчутних рахунків за природний газ та опалення для більшості сімей українців. Побутовий сектор має найбільший потенціал з підвищення енергоефективності та переходу на альтернативні джерела енергії.

Отримання тепла на опалення можливо шляхом використання різних видів палив але найбільш розповсюдженим в Україні залишається використання природного газу. Останнім часом помічається тенденція збільшення використання альтернативних видів палив (пелетів, брикетів, дров), але стрімко зростаючий попит випереджає швидкість приросту виробництва, що призводить до дефіциту та зниження якості альтернативних видів палив. Актуальною залишається і логістична проблема. Пряме використання електричної енергії на опалення хоча і має найменші капіталовкладення в обладнання, але має найбільшу вартість на одиницю отриманого тепла.

Актуальність роботи. Одним з енергоефективних і екологічно чистих джерел тепла є використання теплових насосів, які мають найменшу вартість на одиницю отриманого тепла, випереджаючи використання органічних видів палив. В той же час, теплові насоси мають найбільші капіталовкладення, що стримує їх широке впровадження в побуті. До того ж в певних випадках є технічні труднощі застосування теплових насосів з використанням в якості джерела тепла ґрунту або води. Найбільш зручним є використання в якості джерела тепла оточуючого повітря, тому такі теплові насоси отримали найбільше розповсюдження.

Наявність компресору з рухомими частинами в тепловому насосі обмежує їх надійність і термін експлуатації. Загустівання масла у компресорі під час морозів потребує особливого «холодного» старту. Регулювання потужності

компресора в сучасних моделях теплових насосів здійснюється шляхом зміни швидкості обертання електродвигуна компресора з допомогою інвертора. Все це збільшує вартість та ускладнює конструкцію теплового насосу, що стримує їх широке застосування в якості джерела тепла.

Запропоновано використати ефект Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності. Перевагою елементів Пельтьє є відсутність рухомих частин, що значно спрощує конструкцію та підвищує надійність теплового насосу, а керування теплопродуктивністю можливо шляхом регулювання струму крізь елементи з допомогою керованого випрямляча. Хоча ефект Пельтьє відомий вже давно, використання його для створення теплових насосів був обмежений занадто високою їх вартістю, що дозволяло їх використання лише у вузькоспеціальних пристроях. Здешевлення виробництва елементів Пельтьє, яке спостерігається останнім часом, робить їх використання в теплових насосах конкурентоздатним. В той же час теплова ефективність елементу Пельтьє, що виражається коефіцієнтом перетворення теплоти – COP, сильно залежить від різниці температур між спаями і сили струму, та на думку деяких експертів не може перевищувати 1,5. Отже, дослідження теплоелектричних характеристик елементів Пельтьє є важливою науково-практичною задачею, що потребує вирішення.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є аналіз можливості використання ефекту Пельтьє для створення теплових насосів малої потужності, що застосовуються в системі опалення приміщень. Задача дослідження полягає в аналізі залежностей коефіцієнта перетворення тепла від фізичних параметрів (різниці температур між спаями, струму термомодулю) та розрахунку техніко-економічних показників теплових насосів з використанням модулів Пельтьє.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- проаналізувати проблеми та шляхи підвищення ефективності теплопостачання в Україні;
- розглянути характеристики теплового насосу та проаналізувати можливості його використання в системах індивідуального опалення;

- розглянути методику розрахунку теплотехнічних та електричних характеристик елемента Пельтьє;
- спроектувати тепловий насос з термоелектричними модулями Пельтьє для опалення житлового приміщення 40 м^2 ;
- провести техніко-економічний розрахунок характеристик спроектованого термоелектричного теплового насоса та порівняти з іншими варіантами теплопостачання житлового приміщення 40 м^2 .

Об'єкт дослідження процес отримання тепла в теплових насосах з використанням елементів Пельтьє.

Предмет дослідження аналіз залежності коефіцієнта перетворення тепла теплових насосів з використанням елементів Пельтьє від фізичних параметрів та його техніко-економічні показники.

Методи досліджень базуються на використанні: математичного моделювання роботи термоелектричного модуля Пельтьє, аналізі техніко-економічних показників.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

1. Розглянута методика розрахунку теплотехнічних характеристик елементів Пельтьє дозволяє визначити техніко-економічні показники теплових насосів на їх основі.
2. Розроблена методика розрахунку технічних показників елементів системи індивідуального теплопостачання з термоелектричним тепловим насосом для її проектування.
3. Спроектована система теплопостачання на базі термоелектричного теплового насоса для житлового приміщення площею 40 м^2 та тепловим розрахунковим навантаженням 2 кВт .

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ, ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ

1.1. Аналіз стану теплопостачання в Україні

У спадок від СРСР Україні залишилася розвинена система централізованого теплопостачання. Біля 75% споживачів були приєднані до централізованого і лише 25% споживачів до індивідуального теплопостачання. Так, наприклад, система централізованого теплопостачання м. Києва – третя за потужністю в світі. За часи незалежності обсяги постачання теплової енергії від централізованих джерел значно скоротились, що пояснюється скороченням обсягів виробництва в галузях економіки. За десять років споживання теплової енергії скоротилося у промисловості на понад 60%; у сільському господарстві – на понад 80%; у житлово-комунальному секторі – на понад 9% [1]. Загальне споживання теплової енергії в нашій країні скоротилося майже на 45%. Сьогодні система централізованого теплопостачання житлового фонду викликає справедливі нарікання через високу вартість та незадовільну якість послуг. Переважає твердження про необхідність відмови від централізованого тепло- та гарячого водопостачання та переходу на індивідуальні теплові установки. Сьогодні установки локального теплопостачання (дахові та мінікотельні) встановлюють в новобудовах практично усіх міст України. Такі тенденції в теплопостачанні зумовлені низкою негативних факторів, що склалися впродовж останніх років в економіці України. У той же час централізоване теплопостачання не має альтернативи з точки зору екологічної і енергетичної безпеки держави [2].

Енергозбереження на об'єктах споживання має перевагу в тому, що ефект від нього не обмежується лише сферою використання енергії. Кожна заощаджена одиниця теплоти дає значний ефект на всіх попередніх енергетичних стадіях, пов'язаних з видобуванням палива, його збагаченням, переробленням та транспортуванням, а також розподілом між споживачами. Отже, існує необхідність розпочати масову термореновацію наявного житлового фонду.

Прикладом такого підходу може бути демонстраційний проект «Підвищення ефективності системи тепlopостачання в містах Полтава, Чернігів, Рівне, Кропивницький», що виконувався за програмою TACIS [3].

Отже, як висновок слід зауважити:

- 1) в Україні спостерігається великий відсоток централізованого тепlopостачання;
- 2) має місце тенденція переходу від централізованого тепlopостачання до індивідуального (відмовляються не тільки окремі оселі, а навіть цілі міста).

1.2. Проблеми систем теплозабезпечення

На сьогодні в системах теплозабезпечення країни накопичилась значна кількість проблем, починаючи від технічного стану джерел тепла та розподільчих мереж, неефективного споживання та закінчуючи проблемами з фінансовим забезпеченням. Особливо гострими є проблема інвестицій, тарифного регулювання, оплати за спожиту теплову енергію.

У сфері підприємств комунальної теплоенергетики близько 60 % котелень вже відпрацювали свій нормативний термін, а на 38 % котелень експлуатуються малоефективні та застарілі котли з низьким коефіцієнтом корисної дії (ККД), що обумовлює значні втрати палива. Майже 40 % теплових пунктів перебувають у аварійному стані, що призводить до постійних перебоїв у гарячому водопостачанні та перевитрат паливно-енергетичних ресурсів. Теплові мережі в своїй більшості також мають значний ступінь зношення та не обладнані сучасними видами теплоізоляції, 15,8 % від загальної протяжності мереж є аварійними. Експлуатація морально застарілого та фізично зношеного обладнання призводить до перевитрат палива (які на 20 % вищі від середнього світового рівня) та до значного забруднення навколишнього середовища. Найбільші втрати природного газу, що використовується на виробництво теплової енергії в комунальній теплоенергетиці, припадають на споживання (до 30 %). Існує гостра необхідність у модернізації системи опалення і гарячого водопостачання на всіх рівнях – від теплогенеруючих пристроїв до кожної квартири.

Багато проблем теплопостачання пов'язано із відсутністю чіткої системи державного регулювання цієї галузі, яка на ринку комунальних послуг є природною монополією. Розмежування функцій центральних та місцевих органів влади, органів місцевого самоврядування чітко не встановлено, що не дає можливості оперативно реагувати на зміну ціни на зовнішніх ринках. Управління і встановлення тарифів на теплопостачання знаходиться в одних руках, що призводить до непрозорості системи формування витрат на виробництво і постачання теплової енергії. Недосконалість цінової та тарифної політики, яка заснована на стримуванні тарифів на послуги теплопостачання і встановлення їх на засадах політичної та соціальної доцільності, призводить до неможливості забезпечення рентабельної роботи підприємств галузі, створення фінансової основи для їх модернізації. Перспективи розвитку системи теплопостачання не мають чіткої окресленості, оскільки стратегічне планування у сфері теплопостачання не забезпечує цілісності та комплексності, здійснюється без урахування результатів територіального та енергетичного планування.

Схеми теплопостачання населених пунктів, розробка яких передбачена Законом України «Про теплопостачання», розробляються без урахування або при відсутності схем територіального розвитку та генеральних планів міст, що знаходяться на даній території. Це не дозволяє забезпечити оптимальний розвиток системи у майбутньому на основі поєднання систем централізованого, децентралізованого та автономного теплопостачання [4]. Таким чином, не зважаючи на низку прийнятих законів та нормативних актів, урядових програм і планів (у тому числі Закону України «Про теплопостачання», Закону України «Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу», Закону України «Про житлово-комунальні послуги»), ситуація у теплоенергетичній галузі і сфері споживання теплової енергії залишається критичною [4].

Отже, серед основних проблем систем теплопостачання слід відмітити:

- 1) технічний стан об'єктів генерації, транспортування і споживання теплової енергії потребує заміни та модернізації;

2) низький рівень забезпечення приладами обліку та регулювання теплової енергії;

3) незадовільна система державного регулювання, недосконалість тарифної політики не стимулюють до ефективного використання теплової енергії;

4) зміна ситуації можлива за умови залучення до галузі значних фінансових ресурсів, в першу чергу, приватних і застосування сучасних технологій;

5) важливу роль повинна зіграти розробка та впровадження стратегічних науково обґрунтованих планів реконструкції систем теплозабезпечення з метою підвищення їх економічної і енергетичної ефективності та зменшення шкідливого впливу на довкілля.

1.3. Аналіз шляхів підвищення ефективності теплопостачання

В країнах західної Європи більше 60 % житлового фонду використовує індивідуальне опалення. А в таких країнах як Албанія, Вірменія, Грузія та у більшій частині Молдови й Азербайджану централізоване теплопостачання було практично зруйновано [4].

Системи централізованого теплопостачання з використанням технологій комбінованого виробітку теплової та електричної енергії стали домінуючими в державах Західної Європи. В останні десятиліття такі системи створювали Фінляндія, Швеція, Данія, Норвегія, Австрія та інші країни. Так, у Фінляндії із загальної кількості будинків 45 % обігріваються центральним опаленням. Стале зростання потужностей ТЕЦ і невеликих установок комбінованого циклу спостерігається у Німеччині, Нідерландах, США, Франції, Великобританії. Щорічний приріст електричної потужності ТЕЦ у США становить майже 3000 МВт, теплової – 3500 Гкал/год. В таких країнах як Швеція та Фінляндія обладнання ТЕЦ газовими і паровими турбінами та доповнення їх технологічними лініями зі спалення побутового сміття дозволило майже на 30 % покрити потреби у паливі для енергоустановок за рахунок утилізації твердих побутових відходів. При цьому, спалення 1 тони твердих побутових відходів рівнозначне

використанню 350÷450 кг умовного палива. Когенерація розглядається країнами ЄС як найважливіший захід екологічно ощадної політики в рамках реалізації Кіотського протоколу.

Підвищення ефективності використання наявних ресурсів енергії стало нагальною світовою проблемою у зв'язку з глобальними змінами клімату та вичерпанням запасів викопних ресурсів енергії на планеті. З початку 1970-х років, під час нафтової кризи, коли ціни на нафту збільшились в 4 рази, країни Європейського Союзу (ЄС) розпочали реалізацію активної енергоощадної політики. Ці заходи дали можливість знизити темпи зростання споживання енергоресурсів та зменшити енергоємність ВВП. Даний успіх був реалізований, перш за все, за рахунок використання ринкових механізмів, цінової політики, модернізації основних енергозатратних технологій та обладнання. Європейська Комісія (ЄК) у 2006 році оприлюднила свою Зелену книгу «Європейська стратегія сталої, конкурентоспроможної та безпечної енергетики», а на початку 2007 року – нові амбітні ініціативи, запропонувавши комплекс заходів у контексті запровадження нової енергетичної політики для протидії змінам клімату, підтримки енергетичної безпеки і конкурентоспроможності ЄС, в якій основна увага концентрується на питаннях підвищення енергоефективності та прискорення переходу до низьковуглецевої економіки. Більшість країн ЄС мають детально розроблені програми реалізації енергозберігаючої політики з конкретно визначеними цілями та шляхами реалізації. Деякі країни регулярно проводять перегляд своїх програм, в багатьох є загальноохоплюючі законодавчі акти, що врегульовують питання енергозбереження. Найбільш показовим є досвід Німеччини, яка посідає перше місце з економії енергоресурсів і має найбільший досвід у енергоефективному будівництві. У Німеччині існує понад 100 програм на підтримку енергоощадних технологій. Найбільшу увагу було зосереджено на завданні підвищення енергоефективності у сфері будівництва нових і експлуатації існуючих будинків. В цій сфері, за думкою фахівців, є величезний потенціал економії, який на сучасному етапі можна задіяти як з технічної, так із економічної точки зору. В Німеччині енергоефективним житлом вважається будинок з

показниками, які на 50 % перевищують встановлені нормативи. Завдяки комплексному підходу, вдалося скоротити відсоток шкідливих викидів, забезпечити нові робочі місця в сфері промисловості, а також знизити втрати теплової енергії при енергоспоживанні.

За останні роки серйозного прогресу в питаннях економії в енергоспоживанні досягла інша країна ЄС – Польща. Модернізація в системі теплопостачання Польщі активно відбувається вже понад десять років. Польський уряд прийняв непопулярне рішення, різко піднявши тарифи на теплову енергію до європейського рівня. Разом з тим, уряд запропонував населенню законодавчо закріплену фінансову підтримку заходів щодо зниження енергоспоживання. З коштів держбюджету можна було одержати кредити на енергоефективні заходи. Крім того, держава повертала населенню до 25 % витрат на зазначені заходи. У низці польських міст здійсненню енергозберігаючих заходів сприяли також і муніципальні програми фінансової підтримки населення. При цьому термін окупності повної термомодернізації будинків у Польщі становить чотири–п'ять років. У результаті при підвищенні цін на енергоносії більш як на 60% і одночасному зменшенні споживання енергії майже у два рази, рівень плати за опалення для населення знизився на 13÷17 %, а за гаряче водопостачання залишився приблизно на попередньому рівні. У Словаччині проблема неефективного використання ПЕР вирішувалась протягом багатьох років. Для її вирішення прийнято ряд законів (закон про енергетику, закон про теплоенергетику, закон про ефективне використання енергії). В країні також з'явився ефективний власник житла – мешканці створили співтовариства власників квартир. Протягом 9 років питомі витрати теплової енергії на опалення будівель зменшилися в 2,3 рази, що значно стримало ріст видатків населення на ПЕР.

У Чехії реформування в сфері енергоефективності будівель дозволило скоротити питоме споживання теплової енергії із 150÷250 кВт·год/м² до 80÷140 кВт·год/м². Був запроваджений 100 % облік теплової енергії, ліквідовані субсидії, створено конкурентне середовище, з'явилися власники систем централізованого

теплопостачання (муніципалітети, приватні та напівприватні компанії) та ефективні власники будівель.

Економічна доцільність використання теплонасосних технологій підтверджена світовим досвідом. Вже сьогодні у розвинутих країнах ці технології широко використовуються для систем опалення та кондиціонування (США, Канаді, Швеції, Швейцарії, Німеччині, Австрії та ін.), налагоджено промисловий випуск теплонасосних установок (ТНУ) в досить широких масштабах (США – 1 млн. ТНУ щороку, у Японії – 3 млн.).

Підсумовуючи викладене слід зазначити:

- 1) модернізація централізованого теплопостачання повинна здійснюватися впровадженням когенераційних установок;
- 2) для теплозабезпечення повинно проваджуватися технології нетрадиційних і поновлювальних джерел енергії;
- 3) серед перспективних нетрадиційних джерел теплової енергії слід відмітити використання теплових насосів.

1.4. Установка автономного опалення, як вихід із кризового стану

Далеко не кожне комунальне господарство може похвалитися хорошим або навіть достатньою якістю опалення. Вирішити цю проблему можна за допомогою додаткових джерел тепла – масляних радіаторів, конвекторів і так далі, або радикально: встановити автономну систему опалення власного житла.

Переваги автономних систем.

В силу своїх переваг індивідуальні системи опалення досить легко отримали широке застосування в усьому світі. Сьогодні домовласники віддають перевагу саме автономним системам для обігріву житла. Це пов'язано з цілим рядом переваг порівняно з міськими центральними тепломережами.

- 1) Ціни на такі системи досить демократичні, що дозволяє повністю відмовитися від системи традиційного опалення. Незважаючи на те, що власника чекають витрати на газ, вартість комунальних послуг в підсумку буде набагато менше, ніж при користуванні системою центрального опалення.

Крім того, автономне опалення можна підключати по мірі необхідності, встановлювати температурний режим на свій розсуд, а можна зовсім відключити, наприклад, у випадку тривалої відсутності вдома. Режим подачі тепла – встановлюються за бажанням і можливостям проживаючих у квартирі людей. Продовжити опалювальний сезон або зробити його коротше, або налаштувати на мінімальний рівень прогріву – будь-який варіант доступний. У більшості випадків незалежна система дозволяє встановити термостат на кожен радіатор, що робить можливим створення індивідуального теплового режиму. Централізована система опалення не дає таких можливостей.

2) Встановлення автономних систем знижує вартість житла. На відміну від системи центрального опалення, монтаж автономної не вимагає від будівельної компанії великих витрат – на кошторису, узгодження, сам монтаж і т. д.

3) Часто забудовник стикається з такою проблемою, як відсутність в цьому місці можливості підключитися до міської теплової магістралі. А це робить будівництво багатоповерхівки неможливим. І тільки встановлення в усіх квартирах автономних систем дозволяє вирішити цю проблему.

4) Використання автономних систем допомагає збереженню природних ресурсів, зокрема, газу. Це відбувається в силу того, що система індивідуального опалення дозволяє регулювати температуру нагрівання або зовсім відключати котел. Чим частіше власник відключає систему, тим більшу кількість природного газу він може заощадити.

Також в числі переваг автономної системи потрібно відзначити значне покращення ефективності опалення. Найчастіше це пов'язано з відсутністю постійної витрати тепла, як в централізованих системах. Крім того, не можна не помітити, що часу і грошей на профілактику автономної системи буде також витрачатися набагато менше.

Окрема перевага систем автономного опалення багатоквартирного будинку полягає в можливості нагрівати воду, що дозволяє відмовитися від використання електроводонагрівачів, що вимагають величезних витрат електроенергії.

Недоліки автономного опалення.

Звичайно, індивідуальне опалення має не тільки плюси, але й певні мінуси.

1) Регулярна профілактика. На жаль, в основному користувачі про це просто не пам'ятають або бажають уникнути додаткових фінансових витрат. Тут потрібно розуміти, що вартість профілактичного огляду непорівнянна з можливими витратами на усунення неполадок або серйозних поломок. Ремонт приладів та обслуговування – проводиться представниками сервісних центрів на різних умовах. Необхідна періодичність діагностики системи – один раз на рік.

2) Ще одним з недоліків системи є негативний вплив на екологію, і, як наслідок, необхідність потужної системи вентиляції. Але оскільки в даний час вже розроблені правила проектування опалення та монтажу систем вентиляції, до того ж забудовники стали звертати більше уваги на питання планування схем комунікацій, проблема вже не так актуальна, як була, наприклад, ще в 2005 році.

3) Досить значним недоліком автономної системи опалення багатоквартирного будинку можна вважати залежність ефективності її роботи від наявності-відсутності поруч неопалюваних приміщень. Суміжні з сусідніми квартирами стіни завжди будуть холодними. В силу цих причин ефективність обігріву індивідуальної системи опалення значно впаде.

Однак у більшості багатоповерхівок ця проблема вирішена шляхом встановлення новітніх опалювальних систем, здатних самостійно, без додаткового контролю, підтримувати мінімальну необхідну температуру в приміщенні.

4) Монтаж – всі елементи системи купуються самостійно, встановлюють своїми руками або за допомогою фахівців. Початкові витратні досить значні. Установка обігрівальної системи пов'язана з частковим руйнуванням стінних перегородок, цілісності підлог і так далі. Швидше за все, житло після цього доведеться провести хоча б косметичний ремонт.

Монтаж автономного опалення потребує дозволу. З вищепереліченого це обставина – чи не найскладніше і стомлююче, судячи з відгуків. Однак ці вимоги є не тільки продуктом бюрократичної діяльності, але і дозволяють запобігти установку нелегального не сертифікованого обладнання, яке представляє

серйозну небезпеку всім мешканцям багатоквартирного будинку.

Установка автономних індивідуальних систем опалення в багатоквартирних будинках з кожним днем набирає все більшу популярність серед забудовників. Дані системи постійно оновлюють і покращують, а це дозволяє збільшити ефективність їх роботи і доступність установки.

1.5. Висновки

Сучасний стан систем теплозабезпечення України знаходиться в критичному стані, що пов'язано з використанням застарілого не ефективного обладнання, неналежною тепловою ізоляцією трубопроводів, великими втратами на етапі використання. Система теплозабезпечення потребує комплексної модернізації, що пов'язано з великими капіталовкладеннями. Існуючі теплогенерувальні компанії не мають власних коштів для проведення заходів з модернізації теплових систем. Держава не в змозі в повному обсязі стати інвестором для їх модернізації. Для вирішення цього питання необхідно приволікати кошти приватних інвесторів, як не зацікавленні в владанні коштів з великим терміном повернення. Це призводить до отримання споживачами неякісних та за великими тарифами послуг на теплопостачання. В зв'язку з цим в Україні спостерігається тенденція до відмови від централізованого теплопостачання та перехід на індивідуальне опалення.

З аналізу досвіду розвинених країн для виходу України з кризового стану з теплозабезпеченням необхідно зробити наступні кроки: впровадження когенерації, використання біопалив, вдосконалення державної політики та державна підтримка енергозберігаючих заходів. Серед нетрадиційних, високоефективних теплогенераторів, які отримали розповсюдження в розвинених країнах, є теплові насоси.

Як вимушений крок, для підвищення якості та зниження вартості теплопостачання споживачі переходять на автономне індивідуальне опалення.

РОЗДІЛ 2

ТЕПЛОВИЙ НАСОС ЯК ВИСОКОЕФЕКТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ТЕПЛА

2.1. Характеристика і призначення теплових насосів

Тепловий насос це пристрій для перенесення теплової енергії від низькопотенціального джерела тепла (наприклад, зовнішнє повітря або ґрунт) до споживача тепла з високою температурою. Для роботи теплового насосу необхідно використання зовнішньої енергії: механічної, електричної, хімічної і т.п. Тепловий насос (ТН) або теплонасосна установка (ТНУ) формально не виробляє теплової енергії. Подібно до водяного насосу, що перекачує воду з рівня джерела води на рівень споживача, споживаючи при цьому енергію, тепловий насос перекачує теплоту з низького температурного рівня на споживчий температурний рівень і дозволяє використовувати низькопотенційне (з невисокою температурою), так зване «дармове тепло», яке без теплового насоса використовувати не можна.

При передачі теплової енергії від менш нагрітого середовища (низько потенційного джерела теплової енергії) до більш нагрітого (теплоносій споживача) тепловий насос витрачає енергію, проте в обсягах, значно менших, ніж передає середовищу, що нагрівається. Звідси створюється ілюзія, що ТНУ виробляє енергії більше, ніж витрачає.

У першу чергу до переваг теплових насосів необхідно віднести їх економічність, адже для передачі в організовану на його базі систему опалення 1 кВт·год теплової енергії подібної установки необхідно витратити всього 0,2-0,35 кВт·год електроенергії. Наприклад, забираючи теплову енергію у вентиляційних викидів будівлі з температурою 20 °С (і відповідно охолоджуючи їх), тепловий насос, витративши 1 кВт електроенергії, може отримати і передати в систему опалення до 4 кВт теплової енергії з температурою 80-90 °С (за умови, що вентвиброси містили таку кількість теплової енергії). Для прикладу, коефіцієнт корисної дії при перетворенні тієї ж теплової енергії в електричну на найбільших електростанціях тримається на рівні до 50%, ефективність споживання палива

при застосуванні теплових насосів в цьому випадку значно підвищується. Серед переваг застосування теплових насосів не можна не відзначити і суттєве спрощення у вимогах до систем вентиляції приміщень, а також підвищення рівня пожежної безпеки. Невимогливість до експлуатаційних витрат, за рахунок того, що основні системи теплового насоса практично функціонують з використанням так званих замкнутих контурів. Можливість перемикання в літній період з режиму опалення приміщення на режим його кондиціонування, також є одним з приємних переваг цієї системи. Надійність теплових насосів ще один важливий фактор на їх користь. Можливість застосування автоматики в системі управління також підвищує надійність і ефективність цих систем. Для кожного споживача побудова системи на базі теплового насоса носить суто індивідуальний характер, будучи фактично оптимальним і стабільним рішенням в конкретній ситуації. Сам насос досить компактний за розмірами і практично безшумний.

Серед недоліків теплових насосів, які використовуються для опалення приміщень, можна віднести їх велику вартість, однак вкладені в установку цього обладнання кошти окупляться протягом 4-6 років.

Застосування теплових насосів – один з важливих шляхів утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів. Розпорядженням від 20.05.2009 № 609-р «Питання встановлення теплових насосів» Кабінет Міністрів України визначив перелік проектних пропозицій щодо першочергової установки теплових насосів, що дозволить на конкретних об'єктах перевірити доцільність і раціональні межі використання теплових насосів в різних кліматичних умовах, а також буде сприяти їх використанню в будівництві.

Відомо, що теплота низького потенціалу є продуктом технічної діяльності людини, причому, чим нижчий її температурний рівень, тим більше цієї теплоти безповоротно втрачається, розсіюючись в оточуючому середовищі. Прикладом носіїв такої теплоти може слугувати нагріте повітря, що викидається в атмосферу з систем вентиляції та кондиціонування, або теплі побутові та промислові стічні води, що мають температуру приблизно 20-40 °С. Дуже часто єдиним економічно виправданим способом утилізації теплоти таких вторинних енергетичних

ресурсів є застосування теплових насосів. Теплові насоси можуть використовувати не тільки теплоту, вироблену в різноманітних технічних пристроїв, а й теплоту природних джерел – повітря, води природних водойм, ґрунту. Іншими словами, ТНУ дозволяє корисно використати низькотемпературну теплову енергію ґрунту, повітря, води, господарсько-побутових стоків, шахтних вод, промислових скидів та багато чого іншого. Найважливішою особливістю ТНУ є універсальність по відношенню до виду первинної енергії.

Лінійка потужності теплових насосів досить різноманітна. Можна забезпечити теплопостачання приватного будинку, великого району або промислового підприємства. Головною обставиною при реалізації таких проектів є наявність джерела низькотемпературної теплової енергії та економічна ефективність самого проекту.

Популярність ТН виникана багато в чому через те, що теплова енергія виходить безпосередньо на місці установки обладнання. При високій екологічності (немає шуму, вібрації, запахів, вогню) має високий ступінь пожежо- і вибухобезпеки, тому що немає процесів горіння палива і викидів продуктів згоряння. Теплові насоси не вимагають прокладки паливних (газових) магістралей і систем димовидалення, а отже, відповідних витрат. Якщо порівнювати ТН з централізованими системами теплопостачання, то особливість технології в тому, що не потрібно протяжних теплових мереж до споживача, джерело теплопостачання розташовується безпосередньо на місці або в близькому розташуванні від споживача.

Широкомасштабне використання теплових насосів є основою енергоощадної політики в більшості країн ЄС, Америки, Азії, Австралії. Стабільно збільшуване число впроваджених теплових насосів у системах теплопостачання приватних і багатоквартирних житлових будинків, адміністративних, соціальних і промислових будівель, у технологічних процесах промисловості і сільського господарства сприяє успішному вирішенню проблем економічного (зниження застосування органічного палива), екологічного

(зниження рівня забруднення навколишнього середовища) та соціального (зниження тарифів на комунальні послуги та створення комфортних умов проживання і роботи) характеру.

Отже, головною перевагою теплових насосів є генерація тепла, що перевищує витрати електроенергії в 2,5-4 рази. Це беззаперечно робить тепловий насос для опалення більш вигідним ніж використання електроконвекторів.

2.2. Термодинамічний принцип роботи теплового насосу

Всі теплові машини (двигуни внутрішнього згоряння, холодильні, парові та ін.) працюють циклічно. Термін «цикл» («циклічний процес») вказує на безперервну зміну стану системи (робочого тіла), в результаті якого вона повертається в первісний стан, з якого ці зміни почалися. Графічно циклічний процес (цикл) зображується у вигляді замкнутої лінії. В термодинаміці розглядають цикли, що складаються з чітко визначеної послідовності деяких найпростіших процесів (ізотермічного, ізохоричного, ізобарного, адиабатного), в результаті протікання яких робоче тіло повертається в початковий стан.

У 1824 р інженер С. Карно вперше використав термодинамічний цикл для опису і аналізу роботи ідеальної теплової машини. По суті справи, ККД циклу Карно визначає теоретичну межу можливих значень ККД теплової машини для даного температурного інтервалу. Цей цикл залишається фундаментальною основою для порівняння з ним і оцінки ефективності ТН, оскільки тепловий насос можна розглядати як обернену теплову машину.

У статтях, що популяризують теплові насоси, часто можна зустріти фразу, що «тепловий насос – це холодильник навпаки». Важливо розуміти, що і холодильник, і тепловий насос працюють за одним і тим же термодинамічним циклом – зворотнім. Просто в першому випадку метою є створення зниженої температури усередині холодильної камери, і за допомогою додатково витраченої енергії теплота з холодильника відводиться в навколишнє середовище. А в другому, метою є створення підвищеної температури всередині приміщення, і за допомогою додатково витраченої енергії теплота з навколишнього середовища

відводиться в приміщення, тобто навколишнє середовище охолоджується.

Теплова машина (рис. 2.1 2) отримує тепло Q_H від високотемпературного джерела і скидає його Q_L при низькій температурі T_L , віддаючи корисну роботу W . Тепловий насос (рис. 2.1 1) вимагає витрати роботи W для отримання тепла Q_L при низькій температурі T_L і віддачі його при більш високій T_H .

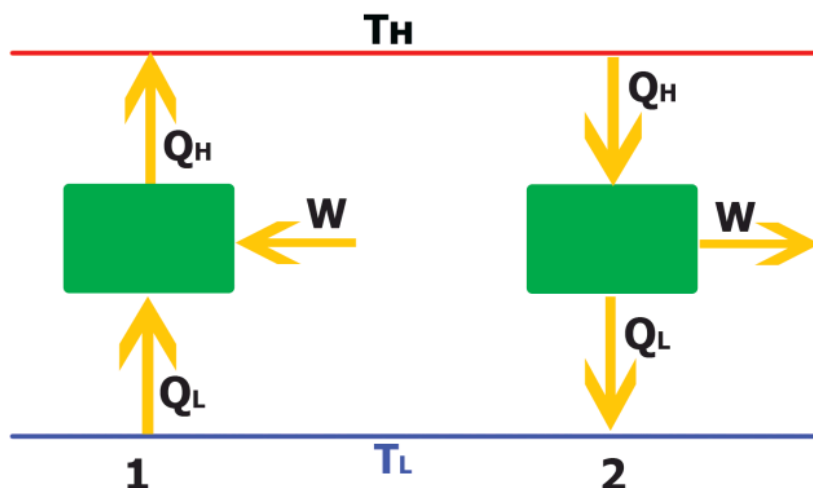


Рис. 2.1. Термодинамічна схема теплового насоса (1) і теплового двигуна (2)

Якщо вважати, що тепло ізотермічно підводиться при температурі T_L і ізотермічно відводиться при температурі T_H , стиснення і розширення здійснюються при постійній ентропії (рис. 2.2), робота підводиться від зовнішнього двигуна, то коефіцієнт перетворення для циклу Карно матиме вигляд:

$$K_T = T_L / (T_H - T_L) + 1 = T_H / (T_H - T_L).$$

Наприклад, при $T_H = 70 + 273 = 343$ К і $T_L = 5 + 273 = 278$ К отримуємо $K_T = 343/65 = 5,3$ і може бути вище тільки при зниженні T_H і / або підвищенні T_L . Тобто при даних температурах ніякий тепловий насос не може мати кращої характеристики, і всі практичні цикли лише реалізують прагнення максимально наблизитися до цієї межі. Отже, ефективність теплового насосу залежить від різниці температур між джерелом тепла і споживачем. З збільшенням різниці температур ефективність теплового насосу знижується.

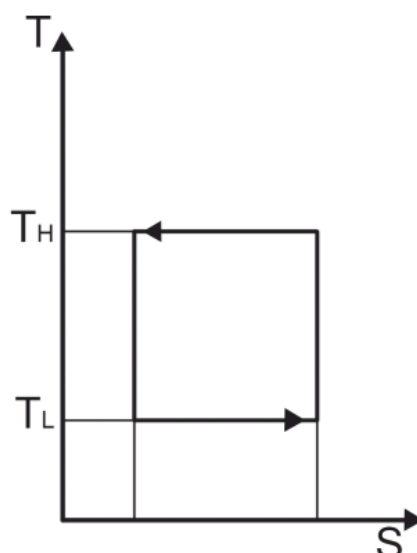


Рис. 2.2. Термодинамічний цикл Карно в T-S координатах до розрахунку теоретично можливого коефіцієнта перетворення тепла

2.3. Загальна класифікація та існуючі типи теплових насосів

Загальна класифікація теплових насосів представлена в [5-7]. Класифікація за чотирма основними ознаками наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Загальна класифікація теплових насосів технічного призначення [7]

Ознака класифікації	Найменування		Види енергії, що використовується
Принцип роботи	1.1 Компресійні		Електрична, механічна
	1.1.1 Парові	1.1.2 Газові	
	1.2 Сорбційні		Теплова енергія
	1.2.1 Абсорбції	1.2.2 Адсорбційні	
	1.3 Струменеві		Кінетична енергія пару або газу
	1.3.1 Ежекторні	1.3.2 Вихрові	
	1.4 Термоелектричні		Електрична
	1.5 Магнітні		
Вид циклу, що використовується	2.1 Замкнуті		
	2.2 Розімкнуті		
Характер трансформації	3.1 Підвищувальні		
	3.2 Розчеплювальні		
Періодичність	4.1 Безперервної дії		
	4.2 Періодичної дії		

Серед великої кількості ознак класифікації найбільш важливим є принцип

класифікації по циклам, серед яких виділяють газові компресійні, парокомпресійні, сорбційні (абсорбція і адсорбційні), вихрові на ефекті Ранка-Хілша, та інші. Загальним для них є виконання другого закону термодинаміки.

Часто до числа теплових насосів також відносять пристрої, що забезпечують спільне вироблення тепла і холоду, такі пристрої знаходять застосування для перерозподілу теплових потоків усередині великих будівель в кільцевих системах цілорічного кондиціювання повітря [9].

Традиційні теплові насоси, це насоси парокомпресійного і абсорбційного типів. Практично 90% всіх теплових насосів, що випускаються за кордоном, працюють в режимі нагріву теплоносіїв на потреби гарячого водопостачання та кондиціювання [10]. Основний практичний розвиток отримали тільки два типи теплових насосів: парокомпресійного на фреонах і абсорбції типів, здебільшого вони працюють на водних розчинах LiBr, та обмежено на суміші аміак/вода [5]. Ці машини є базовою основою для використання тепла поновлюваних і вторинних джерел в сучасних системах теплопостачання розвинених країн.

Теплові насоси адсорбційного типу. Значний прогрес в області спеціальних застосувань теплових насосів численні дослідники [8] пов'язують з тепловими насосами адсорбційного типу, що здійснюються періодичні режими адсорбції і десорбції. Для будинків індивідуальних забудовників становлять великий інтерес адсорбційні теплові насоси малої потужності з робочими тілами цеоліти/вода, селікагель+солі/вода, активоване вугілля/спирт, активоване вугілля з мікрокристалами солі/аміак і т.д. Як ефективні розглядаються комбінації у вигляді мінікрісталлов солі на поверхні пористого тіла, наприклад вугільного волокна або пористої високо теплопровідні матриці (пенометалл).

Перевагою адсорбційних теплових насосів в порівнянні з абсорбційними є можливість їх використання в широкому діапазоні температур, конструктивна простота, нечутливість до сил тяжіння, а головним недоліком періодичність їх роботи (рис. 2.3). Процеси інтенсифікації тепломасообміну для цих машин є більш критичними через більшу товщину шару сорбенту у порівнянні з плівками розчинів в абсорбційних теплових насосах.

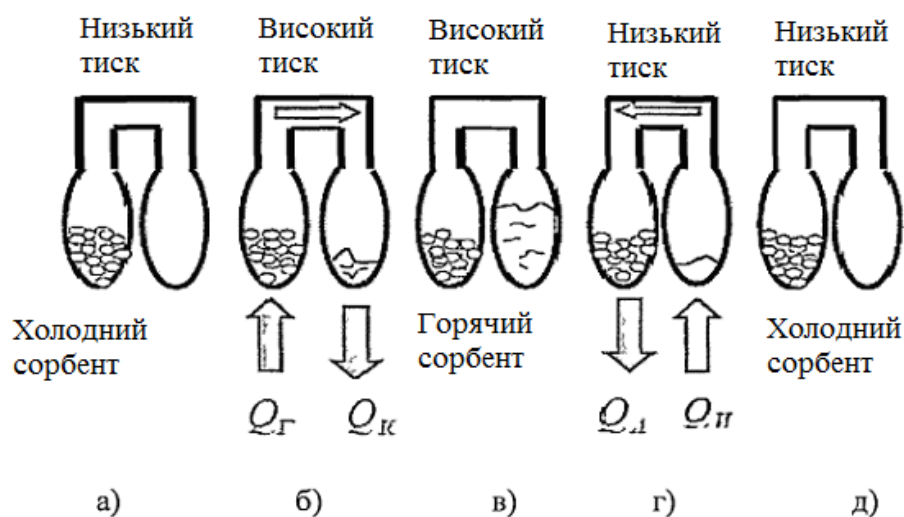


Рис. 2.3. Принцип роботи адсорбційного теплового насосу періодичної дії.

Найпростіший адсорбційний тепловий насос складається з двох замкнутих ємностей, з'єднаних між собою по пару робочого тіла (рис. 2.3, а). Один з них містить сорбент, насичений робочою рідиною, інший використовується як конденсатор-випарник. При нагріванні сорбенту і підводі до нього кількості тепла Q_G (рис. 2.3,б) десорбуються пари робочої рідини (сорбата), що призводить до збільшення температури і тиску в ємностях і здійснюється процес конденсації з відведенням тепла Q_K через стінки ємності. Цей процес відбувається до вирівнювання температур в обох гарячих ємностях (рис. 2.3, в). При відведенні тепла з першої ємності відбувається зниження тиску і сорбент починає адсорбувати пар, теплота абсорбції якого Q_A відводиться через стінки ємності, а в другій ємності відбувається випаровування (кипіння) з відведенням тепла Q_B від зовнішньої охолоджувального середовища. По мірі охолодження стінок система приходить у вихідний холодний стан (рис. 2.3, д) з вирівнюванням тиску в обох ємностях. Аналогічно працює абсорбційний тепловий насос періодичної дії з рідкими сорбентами, наприклад водо-аміачний і бромістолітєвий. Перспективи адсорбційних і абсорбційних теплових насосів періодичної дії пов'язують з розвитком водневих технологій, зокрема, зі створенням ефективних систем тригенерації [8] на основі високотемпературних паливних елементів.

Тепловий насос Стірлінга, що працює по зворотному газовому циклу Стірлінга з зовнішнім підведенням тепла від гарячого джерела, є термодинамічно

досконалим, але технічно важко реалізованим теплотехнічним пристроєм [5, 6]. В ідеальному циклі Стірлінга (рис. 2.4) здійснюються процеси ізотермічного теплообміну з зовнішніми джерелами і зміні тиску при постійному питомому об'ємі, що забезпечується за рахунок регенеративного внутрішнього теплообміну.

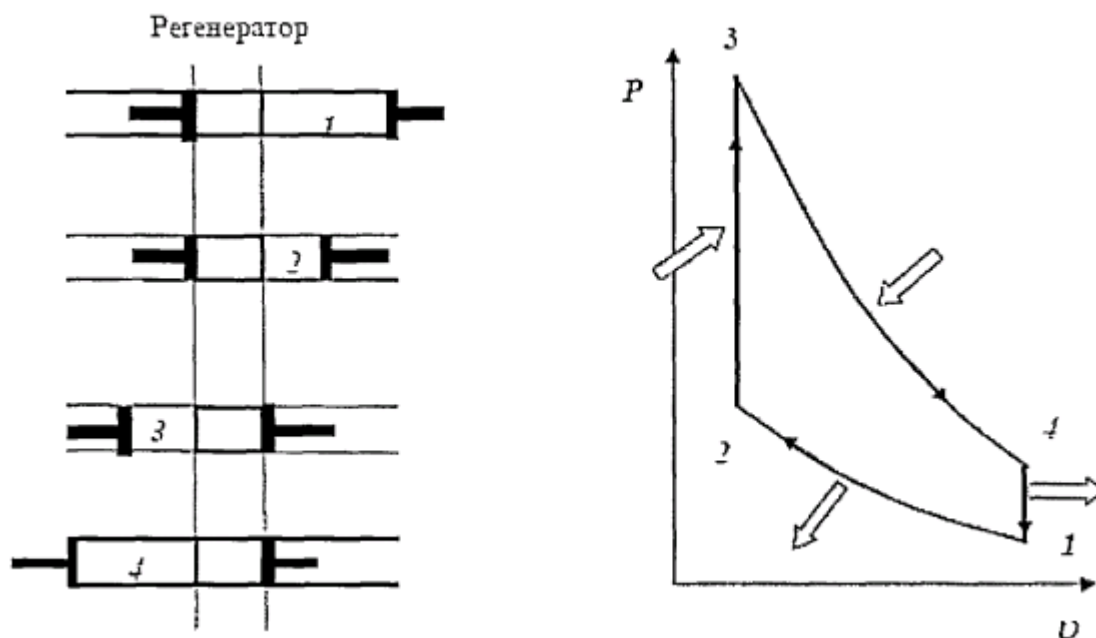


Рис. 2.4. Схема здійснення (а) і теплової цикл Стірлінга (б) з зовнішнім підведенням тепла в координатах «тиск P – питомий об'єм v »

Ідеальний цикл Стірлінга має термічний ККД, рівний ідеальному циклу Карно. Ізотермічне розширення від т. 4 до 1 відбувається при зовнішньому охолодженні газу і відводі тепла. При проходженні через регенератор газ нагрівається за рахунок його внутрішнього тепла. Між т. 3 і 4 до газу підводиться ззовні тепло і він розширюється, виробляючи корисну роботу, а потім, проходячи через регенератор, охолоджується і переходить в початковий стан.

Теплообмінники представляють велику проблему при здійсненні зворотних теплонасосних і холодильних циклів Стірлінга з зовнішнім підведенням високопотенційного тепла. Реальна і технічно проста конструкція замкнутого по робочому тілу теплотехнічного пристрою, що працює за подвійним циклом Стірлінга (цикл Дуплекс-Стірлінг), представлений на рис. 2.5.

Внутрішній робочий простір герметичний, що допускає роботу машини при високому тиску. Всеїдність по теплу подвійної машини Стірлінга з зовнішнім

розвиток в комунальних і промислових системах опалення вищерозглянуті типи теплових насосів зможуть отримати тільки у віддаленій перспективі. Отже, більшість типів теплових насосів мають велику одиничну потужність, що створює складнощі при їх використанні для теплопостачання побутових споживачів.

2.4. Будова та принцип роботи побутових паро-компресійних теплових насосів

Найбільше розповсюдження в даний час отримали паро-компресійні теплові насоси. Їх так багато, що якщо немає спеціальних обмовок, під словом «тепловий насос» частіше всього мають на увазі саме такий тепловий насос.

Розглянемо будову та принцип роботи паро-компресійного теплового насосу, що використовує як джерело відбору тепла – навколишнє середовище. Конструкція паро-компресійного теплового насосу складається з таких основних елементів (рис. 2.6):

- конденсатор;
- дросельний клапан;
- випарник;
- компресор.

В герметичному контурі теплового насосу знаходиться холодоагент (робоче тіло), в основному, використовуються фреони, що не містять хлору і є безпечними для озонового шару нашої планети. Робочий цикл теплового насосу заснований на перенесенні температури робочим тілом (холодоагентом) внаслідок зміни тиску та фазового переходу – з рідкого стану в газоподібний і навпаки, під впливом механічної дії.

Знаходячись під низьким тиском у випарнику холодоагент здатен кипіти при низькій температурі, що дозволяє відбирати тепло від низькопотенційного джерела енергії: повітря, ґрунту, води. Далі робоче тіло (газоподібний стан) надходить в компресор, де стискається внаслідок механічної дії, що призводить до різкого підвищення температури.

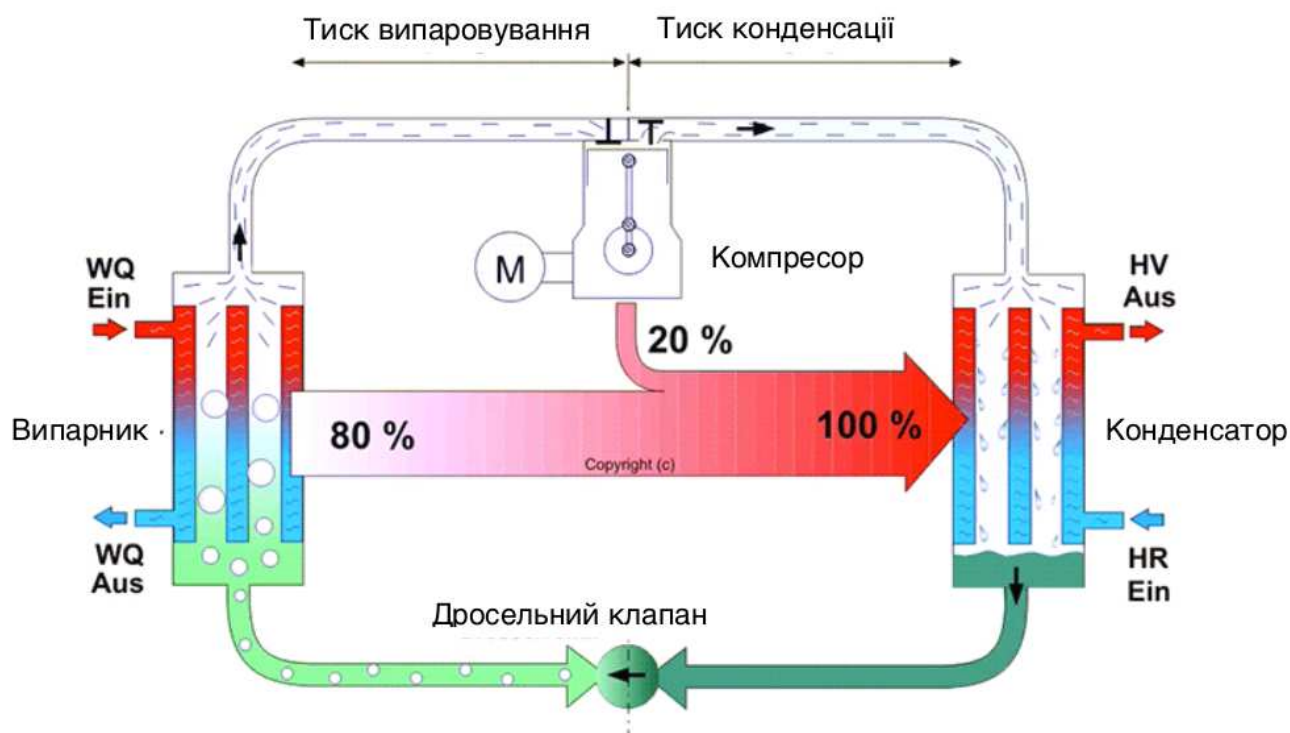


Рис. 2.6. Технологічна схема роботи паро-компресійного теплового насосу

Потім холодоагент подається на теплообмінник – конденсатор, де при високому тиску починає конденсувати. Внаслідок конденсування виділяється тепло, яке передається теплоносію системи опалення. Після конденсатора робоче тіло проходить через дросельний клапан, який знижує тиск, що призводить і до зниження температури. На цьому термодинамічний цикл замикається і холодоагент знову готовий до кипіння та відбору тепла у випарнику. Таким чином теплова потужність теплових насосів на 80% складається з відновлювальної енергії навколишнього середовища і лише 20% енергії використовується для роботи самого теплового насосу. Коефіцієнт енергетичної ефективності, що дорівнює відношенню отриманої корисної теплової потужності до витраченої електроенергії, складає від 3,3 до 4. Температурний діапазон і коефіцієнт енергетичної ефективності визначаються властивостями холодоагенту і параметрами циклу (тиском). Теплові насоси забезпечують опалення приміщень та гаряче водопостачання. А за наявності в контурі теплового насосу реверсивного вентиля, здатні працювати в зворотному режимі – здійснювати охолодження приміщень.

Серцем теплового насосу звичайно є компресор, від якого в основному і залежать технічні характеристики установки. Основні типи компресорів, що використовуються в паро-компресорних теплонасосних установках:

- роторні, в основному застосовуються для установок невеликої потужності. В сучасних повітряних теплових насосах найчастіше використовуються двоохроторні компресори, які характеризуються збільшеним ресурсом та надійністю. Завдяки такій конструкції компресор може працювати при низькій швидкості обертання, тим самим зменшуючи кількість циклів пуску та зупинок, що суттєво підвищує ефективність роботи теплових насосів. Застосування двох роторів також дозволяє знизити вібрацію та шум.
- спіральні, найпоширеніші для комплектації теплових насосів малої та середньої потужності (рис. 2.7). Переваги таких компресорів: висока ефективність, безшумність під час роботи, довговічність, висока надійність (незначна кількість рухомих деталей).

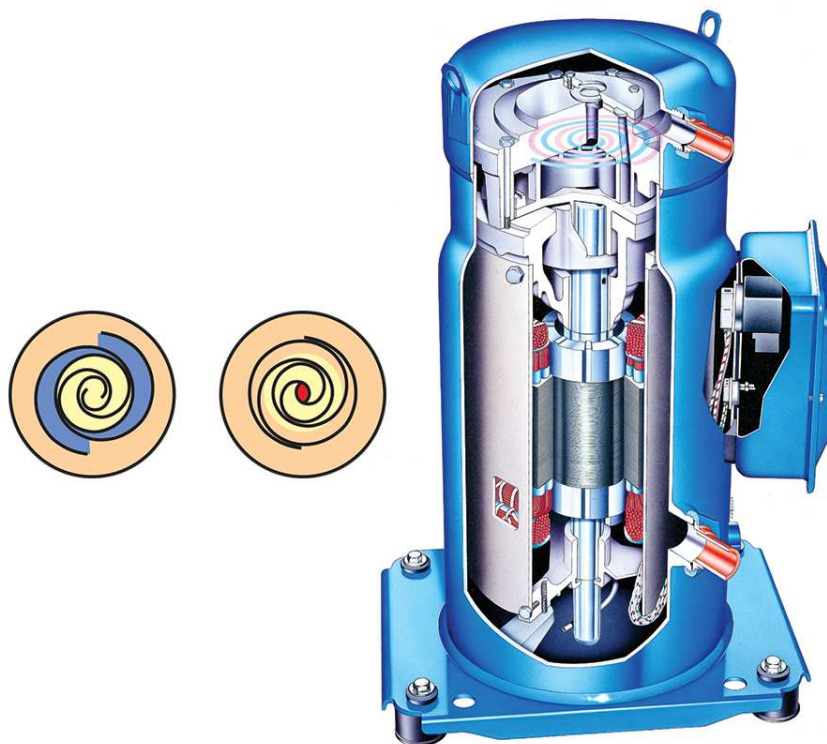


Рис. 2.7. Зовнішній вигляд та розріз компресору спірального типу

Застосування інверторної техніки дозволяє забезпечувати високу ефективність теплових насосів із спіральними компресорами у всьому діапазоні

потужності. Для будівництва теплових насосів середньої та більшої потужності використовується поєднання двох компресорів, так званий тандем. Такі установки гарантують високу ефективність при зміні теплового навантаження.

Переваги паро-компресійних теплових насосів. Головна перевага цього типу теплових насосів – їх висока ефективність, найвища серед сучасних теплових насосів співвідношення підведених ззовні і перекачаної енергії у них може досягати 1:7 – тобто на кожен кіловат підведений до приводу компресора ТН електроенергії із зони охолодження буде відкачано 7 кіловат тепла.

Недоліки паро-компресійних теплових насосів. По-перше, сама наявність компресора, неминуче створюючого шум та схильного до зносу, а по-друге, необхідність використання спеціального холодоагенту і дотримання абсолютної герметичності на всьому його робочому шляху. Майже всі компресорні ТН мають компресори з вбудованим електродвигуном. Перевага – природне охолодження електродвигуна компресора газоподібним холодоагентом в процесі його циркуляції, але в той же час при порушенні режимів роботи і відмові захисної автоматики відбувається коротке замикання на обмотках електродвигуна з подальшим виходом його з ладу.

Отже, слід зазначити, що розповсюджений тип побутового теплового насосу паро-компресійного типу містить компресор, який як елемент, що має рухомі частини є слабкою ланкою теплового насосу.

2.5. Джерела енергії (тепла) для теплових насосів

Умовою роботи теплового насосу є наявність джерела енергії, тепло з якого буде відбиратись для забезпечення процесу кипіння робочого тіла у випарнику. За типом джерела тепла ТН поділяються на наступні групи (рис. 2.8):

- геотермальні: використання тепла ґрунту або підземних вод;
- повітряні: використання тепла навколишнього повітря;
- окремо можна виділити теплові насоси, що використовують вторинне тепло іншого теплового процесу, яке потребує утилізації – наприклад, тепло технологічного процесу чи стічні води.

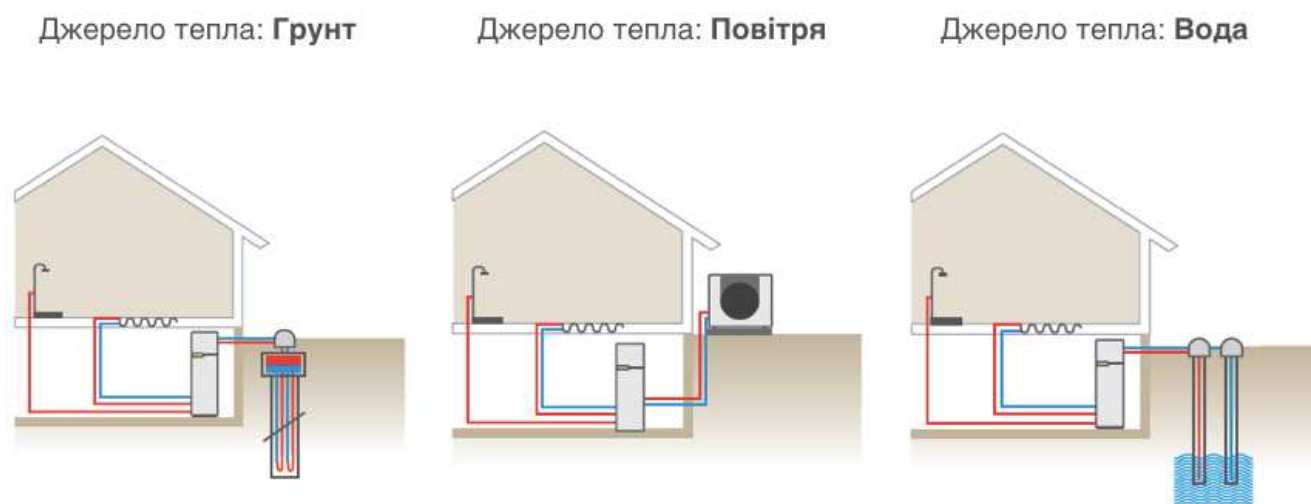


Рис. 2.8. Основні типи джерел тепла (енергії) для теплових насосів

Повітря. Тепло, що міститься в повітрі, може використовуватися безпосередньо в тепловому насосі. Це джерело є доступним. З огляду на те, що температура повітря в опалювальному періоді значно змінюється, застосування даного джерела в цей час не завжди доцільно для якісного і надійного теплопостачання споживача.

У ряді будівель проведення заходів з модернізації та реконструкції огорожувальних конструкцій призводить до того, що вентиляційні викиди складають значну частину теплових втрат. При цьому впроваджуються системи припливно-витяжної вентиляції, які створюють технічні можливості для організації утилізації теплових викидів. ТН дозволяє забезпечувати глибоку і цілорічну утилізацію тепла вентиляційних викидів.

Підземна вода. Тепло, що міститься в підземній воді і підземних озерах, безпосередньо подається в ТН. Вода повинна мати відповідний склад, температуру не менше $+8^{\circ}$ з протягом усього року, а також повинна бути чистою (з точки зору занесення теплообмінника) і в достатній кількості.

Геотермальне тепло або тепло ґрунту. Відомим фактом є та обставина, що на певній глибині ґрунту її температура позитивна (і в міру збільшення заглиблення температура зростає). Теплова енергія, що тримається в ґрунті, за допомогою теплообмінника (колектора) в поглибленні і теплоносія передається через циркуляційну схему в ТН. Теплоносієм в даному випадку повинна бути

незамерзаюча, екологічно нешкідлива рідина, а циркуляцію забезпечує циркуляційний насос. Теплообмінник може бути поміщений в землю на різну відстань, залежно від необхідної потужності. Для отримання великої теплової потужності рекомендується свердловина глибиною 100-150 м. Для отримання низьких потужностей достатньо помістити теплообмінник в площинний або траншейний колектор на глибину 1,5-2 м.

Мінусом установки теплообмінника на малу глибину є та обставина, що навколо майданчика, куди занурений колектор, температура ґрунту через постійний тепловідбір знижується, тим самим при певних температурних умовах ця ділянка ґрунту може промерзнути. Найбільш якісним і надійним способом є буріння свердловин та встановлення теплообмінників на великій глибині.

Поверхнева вода. При використанні поверхневої води до неї пред'являються певні вимоги, як і для підземної води. При впровадженні ТН з використанням даного джерела низькотемпературної теплової енергії дуже часто виникають проблеми з чистотою водою, а також з регулярністю температури (в більшості випадків температура поверхневої води підтримується за рахунок стоків промислових підприємств).

Сонячна енергія. Використання сонячної енергії можливо за допомогою сонячних колекторів або в комбінації з додатковим джерелом низькотемпературної теплової енергії. Можливі варіанти з використанням акумуляторів сонячної енергії у вигляді ставків з розсолем.

Більшість фахівців схиляється до того, що таке використання ТН економічно неефективно через великі капітальні витрати. Більш ефективно при достатній сонячній інтенсивності використовувати системи тепlopостачання без ТН, яких розроблено вже велика кількість.

Відпрацьоване тепло промислових підприємств. В результаті технологічних процесів на промислових підприємствах виникає велика кількість низькотемпературної теплової енергії, яка не використовується в технологічному циклі. Залежно від конкретних умов відпрацьовану теплову енергію можна використовувати в ТН для тепlopостачання цехів, майстерень, складів

промислового підприємства і т.д. У приватних будинках, житлових багатоквартирних будинках відпрацьована тепла енергія використовується вкрай рідко через залежність від графіка роботи промислового устаткування і віддаленості від споживача промислових підприємств.

Для опалення приватних будинків в якості низькопотенційного джерела тепла можуть бути використані основні типи такі, як ґрунт, повітря та вода. В той же час найбільш простим, а отже і найбільш розповсюдженим, джерелом тепла є повітря. Це пов'язано з простотою та меншими капіталовкладеннями в установку теплового насосу. Натомість, для квартир в багатоповерховому будинку повітря є безальтернативним низькопотенційним джерелом тепла для автономного індивідуального опалення.

2.6. Аналіз ринку сучасних теплових насосів побутового призначення

Розглянемо технічні характеристики теплових насосів, які випускаються на теперішній час промисловістю. Враховуючи, що ми розглядаємо установку теплових насосів і для приватних квартир, то проведемо аналіз ринку теплових насосів, що використовують в якості джерела тепла лише повітря. Порівняльна характеристика теплових насосів наведена в табл. 2.2.

Більшість житлового фонду України складають квартири та будинки загальною площею до 70 м². Отже, при питомому тепловому навантаженні, у випадку найгіршого варіанту, 100 Вт/м² загальне навантаження на опалення складе до 7 кВт. У випадку меншої опалювальної площі, або меншого питомого навантаження теплове навантаження буде меншим (рис. 2.9). Якщо проаналізувати табл. 2.2 та рис. 2.9 можна зробити висновок, що ТН навіть з найменшою номінальною тепловою потужністю перевищують потребу теплового навантаження на опалення. Сама найменша одинична потужність складає 2,8 кВт для ТН типу „повітря-повітря” але враховуючи, що вони встановлюються на одну кімнату то потужність 2,8 кВт є завищеною. У випадку використання ТН з отриманням гарячої води найменша тепла потужність складає 3,5 кВт.

Таблиця 2.2. Характеристики теплових насосів побутового призначення

Фірма виробник	Модель теплового насосу	Тип теплового насосу	Теплова потужність, кВт	Сезонний коефіцієнт перетворення тепла (S.C.O.P.)	Діапазон робочих температур на обігрів, °C	Вартість, дол. США
Cooper&Hunter	NORDIC EVO II (INVERTER) CH-S09FTXN-E2WF	Повітря-повітря	2,8	4,51	-23 ÷ +24	531,48
Cooper&Hunter	NORDIC EVO II (INVERTER) CH-S12FTXN-E2WF	Повітря-повітря	3,6	4,51	-23 ÷ +24	575,61
Mitsubishi Electric	Zubadan MUZ-FH25VEHZ/MSZ-FH25VE	Повітря-повітря	3,2	4,9	-25 ÷ +24	1759
Mitsubishi Electric	Zubadan MUZ-FH35VEHZ/MSZ-FH35VE	Повітря-повітря	4,0	4,8	-25 ÷ +24	2158
Fujitsu	ASYG09LTCB Arctic Evo	Повітря-повітря	3,2	4,6	-30 ÷ +43	1563
Cooper&Hunter	CH-HP3.5SWHK	Повітря-вода	3,5	3,17	-15 ÷ +45	1986,5
Cooper&Hunter	Unitherm CH-HP8.0SINK	Повітря-вода	8,5	4,15 (для теплого пола), 3,00 (для фанкойлу або радіатору)	-25 ÷ +45	4137
Mitsubishi Electric	Комплект Power Inverter "Базовий" (тепловий насос PUHZ-SW50VHA + гідромодуль ERSD-VM2C)	Повітря-вода	6,0	4,42 (+7 °C повітря/+35 °C вода), 1,97 (-15 °C повітря/+35 °C вода)	-15 ÷ +35	7268
Mitsubishi Electric	Комплект ZUBADAN 8 кВт (тепловий насос PUHZ-SHW80VHA + гідромодуль Alfa Laval)	Повітря-вода	8,0	4,65(+7 °C повітря/+35 °C вода), 2,52 (-15 °C повітря/+35 °C вода)	-28 ÷ +35	8650
DAIKIN EUROPE	Комплект Daikin "Базовий" 4,4 кВт (тепловий насос ERLQ004CV3+ гідромодуль ENBX04CB3V)	Повітря-вода	4,4	1,85 (-15 °C повітря/+35 °C вода)	-25 ÷ +25	4280
DAIKIN EUROPE	Комплект Daikin "Базовий" 6 кВт (тепловий насос ERLQ006CV3+ гідромодуль ENBX08CB3V)	Повітря-вода	6,0	3,56 (-15 °C повітря/+35 °C вода)	-25 ÷ +25	4437

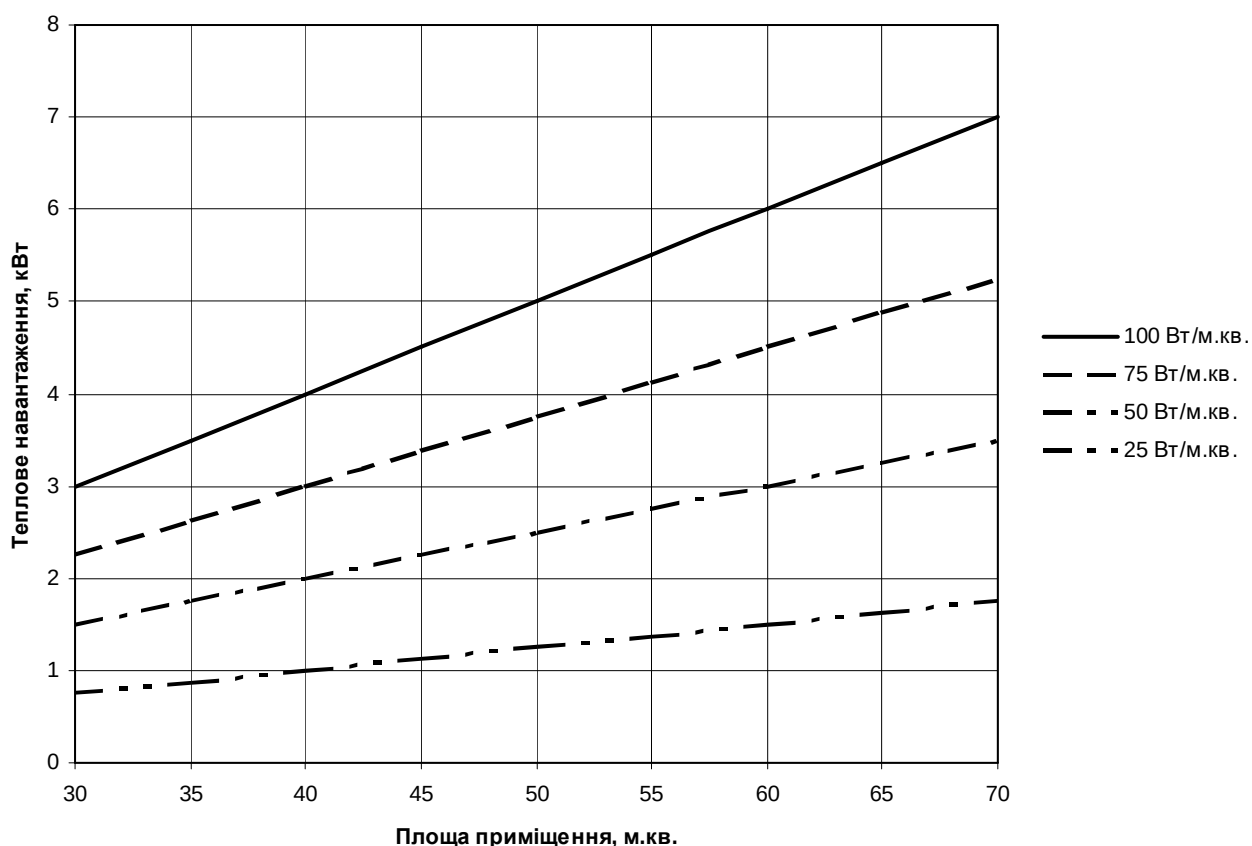


Рис. 2.9. Графік залежності теплового навантаження на опалення від параметрів приміщення.

Установка ТН з завищеною потужністю призводить до ряду негативних наслідків, таких як зайві капіталовкладення, погіршені характеристики за рахунок недовикористання потужності, додаткові втрати теплової і електричної енергії.

Завищена теплова потужність пояснюється складністю масового виробництва спіральних компресорів малої потужності. Адже рухомі спіралі мають бути невеликих розмірів та витримувати високі тиски до 20 атм. Проблему можна було б вирішити використанням компресорів інших типів, наприклад поршневих, як в побутових холодильниках, але вони мають гірші характеристики і тому виробниками при виробництві теплових насосів не використовуються.

Отже, нами запропоновано розглянути можливість застосування термоелектричних елементів (елементів Пельтьє) для створення теплових насосів малої потужності. Перевагою такого підходу є можливість створення блочної

структури теплового насосу. Номінальну потужність можливо змінювати кількістю встановлених елементів. Перевагою термоелектричних елементів є відсутність рухомих частин, що призводить до підвищення надійності та повна відсутність шуму при роботі.

2.7. Висновки

Головною перевагою теплових насосів є генерація тепла, що перевищує витрати електроенергії в 2,5-4 рази. Ефективність теплового насосу залежить від різниці температур між джерелом тепла і споживачем. З збільшенням різниці температур ефективність теплового насосу знижується.

Найбільш розповсюджений тип побутового теплового насосу паро-компресійного типу. Його недоліком є компресор, який як елемент, що має рухомі частини виступає слабкою ланкою теплонасосної установки.

Найбільш простим, а отже і найбільш розповсюдженим, джерелом тепла для побутових теплових насосів є повітря. Це пов'язано з простотою та меншими капіталовкладеннями в установку теплового насосу. Для квартир в багатоповерховому будинку повітря є безальтернативним низькопотенційним джерелом тепла для автономного індивідуального опалення на базі теплових насосів.

Аналіз ринку теплових насосів показує, що навіть їх найменша теплова потужність є завищеною для помешкань з невеликою площею або з гарним утепленням. Це пов'язано зі складністю масового виробництва спіральних компресорів малої потужності.

Запропоновано розглянути можливість застосування термоелектричних елементів (елементів Пельтьє) для створення теплових насосів малої потужності. Перевагою такого підходу є можливість створення блочної структури теплового насосу. Перевагою термоелектричних елементів є відсутність рухомих частин, що призводить до підвищення надійності та повна відсутність шуму при роботі.

РОЗДІЛ 3

ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТУ ПЕЛЬТЬЄ

3.1. Основні термоелектричні явища

В замкнутому ланцюзі, що складається з різномірних матеріалів, виникає термоелектрорушійна сила (ТЕРС), якщо місця контактів (спаїв) підтримувати при різних температурах (ефект Зеєбека). У найпростішому випадку, коли електричний ланцюг складається з двох різних провідників, останній називають термоелементом, або термопарою (рис. 3.1).

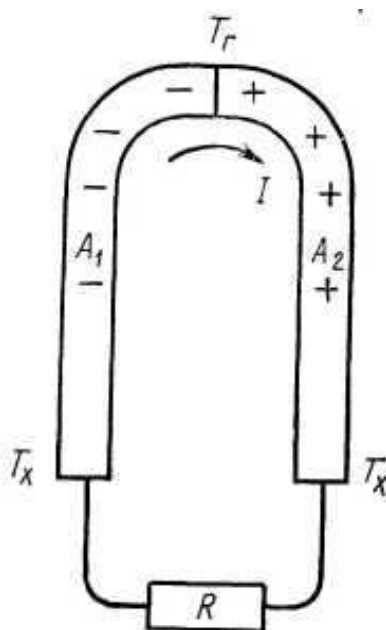


Рис. 3.1. Схема термоелектричного елемента

ТЕРС (E) залежить тільки від температур гарячого (T_r) і холодного (T_x) спаїв і природи матеріалів, що становлять термоелемент. Для невеликого інтервалу температур ТЕРС можна з достатньою для практичних цілей точністю вважати пропорційною різниці температур і деякому коефіцієнту α , що називається коефіцієнтом ТЕРС [14]:

$$E = \alpha(T_r - T_x).$$

Коефіцієнт ТЕРС має розмірність [В/град] і залежить від властивостей

матеріалів гілок термоелементу і інтервалу робочих температур, в деяких випадках він змінює знак зі зміною температури. Якісно явище Зеебека можна пояснити наступним чином. У різних провідниках енергія вільних електронів, що беруть участь в електричному струмі, різна та по-різному змінюється зі зміною температури. При наявності градієнта температури вздовж провідника електрони на гарячому кінці набувають вищих швидкостей і в результаті з'являється потік електронів від гарячого кінця до холодного; на холодному кінці накопичується негативний заряд, а на гарячому залишається некомпенсований позитивний заряд. Накопичення триває до тих пір, поки падіння потенціалу, що виникло не створює зустрічний потік електронів, рівний первинному потоку, викликаного різницею теплових швидкостей. Різниця таких падінь потенціалів в двох провідниках, що утворюють термоелемент, і обумовлює виникнення ТЕРС [14].

Паралельно з виникненням електричного струму при наявності різниці температур в ланцюзі різнорідних провідників спостерігається зворотне явище (ефект Пельтьє): нагрівання або охолодження спайів різнорідних провідників при проходженні через них електричного струму. При цьому виділення або поглинання тепла залежить від напрямку струму. На рис. 3.2 показана схема ланцюга Пельтьє, що містить два різних матеріали А і В (наприклад, сурму і вісмут.)

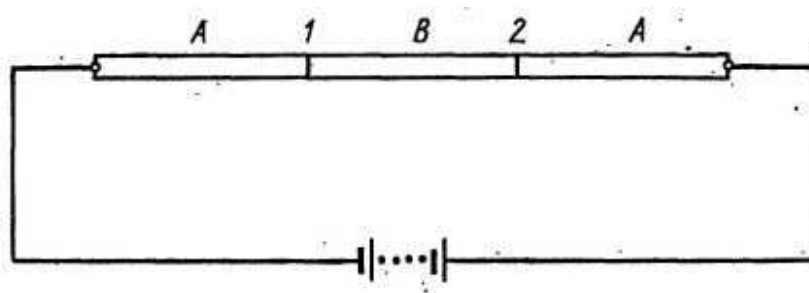


Рис. 3.2. Схема ланцюга для демонстрації ефекту Пельтьє:

А – сурма; В – вісмут

При проходженні електричного струму через цей ланцюг спай 1 нагрівається, а спай 2 охолоджується. При зміні напрямку струму охолоджуватися почне спай 1, а нагріватися – спай 2.

Кількість тепла Пельтьє Q_{π} пропорційна силі струму I і коефіцієнту Пельтьє π , залежному від властивостей матеріалів, що знаходяться в контакті:

$$Q_{\pi} = \pi \cdot I.$$

Коефіцієнт Пельтьє π має розмірність [В] і його добуток на струм в ланцюзі визначає теплову потужність, що виділяється або поглинається в місцях контактів. Відповідно до теорії, підтвердженої експериментальними даними, між коефіцієнтом Пельтьє і ТЕРС існує наступний зв'язок [14]:

$$\pi = \alpha T.$$

Кількість тепла Пельтьє може бути так само визначено за формулою

$$Q_{\pi} = \alpha T \cdot I.$$

Явище Пельтьє можна розглядати як перенесення тепла електричним струмом від одного спаю різнорідних провідників до іншого, який як би збільшує теплопровідність цих провідників. Явище Пельтьє використовується для отримання низьких температур, наприклад в холодильних машинах.

В якості прикладу, розглянемо найпростіший замкнутий термоелемент (рис. 3.3, а), що складається з двох різних матеріалів A_1 і A_2 , при температурі спаїв T_r і T_x . Принципова картина зміни ТЕРС в цьому термоелементі показана на рис. 3.4. ТЕРС в ланцюзі дорівнює сумі складових і характеризується величиною $E = IR$, де R – електричний опір ланцюга. На практиці часто буває необхідно вводити в ланцюг ділянки з третього матеріалу A_3 (наприклад, в термогенераторах або термопарах). Такий ланцюг з трьох матеріалів показана на рис. 3.3, б. Включення в ланцюг будь-якого матеріалу не впливає на величину ТЕРС, якщо температури решт цього матеріалу однакові [14].

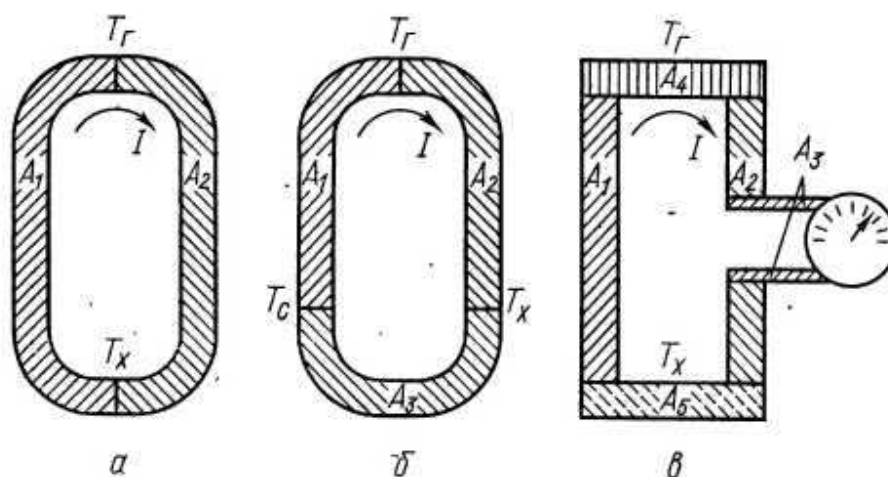


Рис. 3.3. Термоелектричний елемент з декількох провідників:

а – два термоелектричні матеріали: A_1 і A_2 ; б – два термоелектричні матеріали і один провідник A_3 ; в – два термоелектричні матеріали і три провідника A_3 , A_4 , A_5

На рис. 3.3, в показана схема термоелемента з проміжним нейтральним провідником, що використовується для вимірювання температури. Одна з гілок A_2 роз'єднана для під'єднання нейтрального проводу A_3 вимірювального приладу. Провідники A_4 і A_5 служать для підведення і відведення тепла. Ці провідники мають однакову температуру і не змінюють ТЕРС в ланцюзі такого термоелемента. Для визначення ТЕРС будь-якої пари провідників досить знати значення ТЕРС цих провідників щодо третього провідника, прийнятого за зразок. При дотриманні правил використання третього провідника (однакова температура кінців) можна термоелементи з'єднати в батарею, при цьому ТЕРС батареї буде дорівнює сумі ТЕРС її елементів.

3.2. Фізичні явища, що відбуваються в термоелементі при переносі теплоти

Класичний варіант ефекту Пельтьє має вигляд, представлений на рис. 3.4. Він дає якісне уявлення про походження ефекту, але для практичного використання, в тому вигляді, в якому він представлений в лівій частині рис. 3.4, марний. Перш за все, контакти – це точки. Техніці ж потрібна поверхня, тому точка контакту двох різнорідних матеріалів перетворилася в комутаційну пластину, а термопара перетворилася в термоелемент (рис. 3.4).

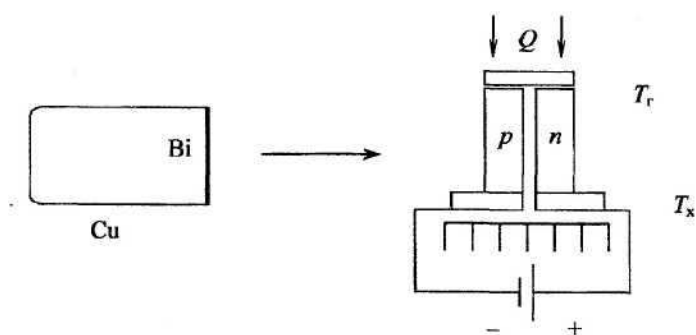


Рис. 3.4. Перетворення термопари в термоелемент Пельтье

Розглянемо провідник зі струмом, в якому є електрони з високою тепловою швидкістю (рис. 3.5). Однак електрони не вилітають за межі поля за рахунок взаємодії з іншими електронами і іонами кристалічної решітки. Необхідна досить велика енергія для їх вильоту. Цю енергію може дати або сильне електричне поле, або висока температура, коли частина електронів дійсно залишає поверхню (ефект Річардсона, який використовується в електронних лампах).

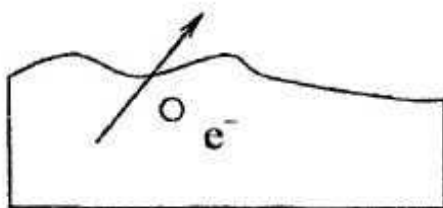


Рис. 3.5. Виліт електрона з поверхні матеріалу

Та робота, яку потрібно виконати для вильоту електрона, називається роботою виходу. Таким чином, електрон долаючи потенційний бар'єр, здійснює стрибок на інший енергетичний рівень. Варіанти руху електронного газу та відповідно і енергій, різні. Тому їх розподіл по енергіях також різний. Є як молекули з малою, так і з високою кінетичною енергією. Середня кінетична енергія молекул і є термодинамічна температура системи

$$\varepsilon = \frac{1}{2} m V^2 - kT ,$$

де k - постійна Больцмана.

Побудуємо розподіл молекул по енергіях для іншої системи, наприклад, з $T = 300$ K. Розглянемо області, які перетинаються. Частина атомів (або молекул) однієї системи (з температурою 400 K) має таку ж швидкість (або енергію), що і молекули іншої системи з температурою 300 K і навіть нижче, хоча їх кількість і мала. Іншими словами, частина електронів виходить з першої системи, так як їх енергія відповідає енергії молекул при більш низькій температурі. В цьому випадку така система буде охолоджуватися – зрушуватися вліво (рис. 3.6), або по іншому втрачати енергію.

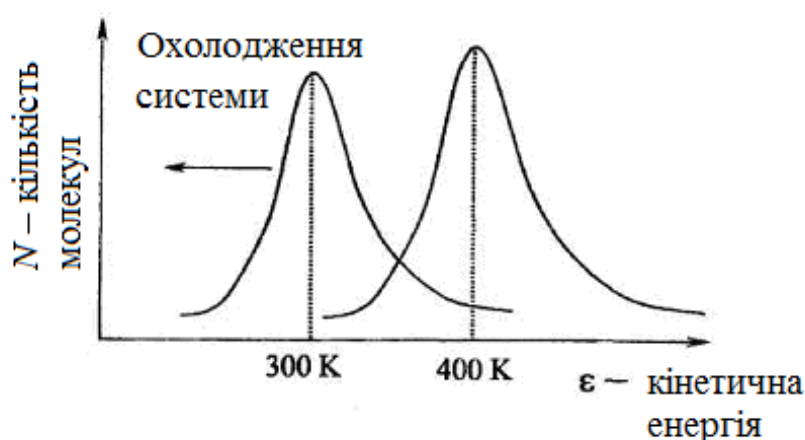


Рис. 3.6. Розподіл молекул системи по енергіях

Варто звернути увагу на одному парадоксі. Для переходу системи з одного стану в інший немає необхідності переводити в цей стан кожен частинку системи окремо, так як існують частинки з енергією набагато більше і менше середньої. Це створюється за рахунок Гауссового розподілу – статистичного розділу часток системи по енергіях (рис. 3.7).

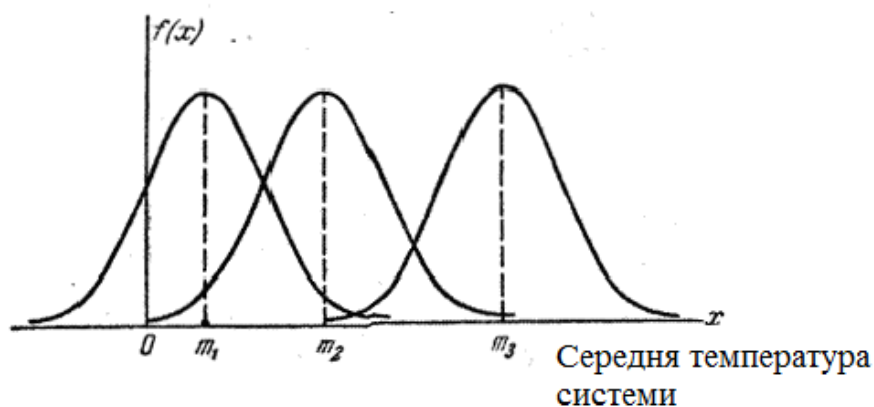


Рис. 3.7. Гаусовий розподіл часток системи по енергіях

Отже, цей процес відбувається природним шляхом, і немає потреби здійснювати роботу. Звідси випливає, що холодильний коефіцієнт зростає при прагненні різниці температур до нуля, і значить при прагненні максимумів систем до поєднання. У разі рівного розподілу температур кожна частка за рахунок броунівського руху може виявитися в будь-який з цих двох систем.

Тепер знову звернемося до термоелемента. Електрон переходить з металу в напівпровідник, що рівнозначно переходу на інший рівень (більш високий), і втрачає деяку частину своєї енергії. Це означає зниження "температури" самого електрона. Однак він потрапляє в систему з більш високою температурою, охолоджує її, забираючи енергію, і рухається далі. На іншому кінці ланцюга електрон переходить з напівпровідника в метал, і тут його енергія виявляється вищою за середню енергію кристалічної решітки. Тому частину своєї енергії він віддає матеріалу. Всі ці ефекти відбуваються на тлі теплоти Джоуля. На корисне перенесення теплоти накладаються втрати на "розгойдування" кристалічної решітки.

Цікаво відзначити, що рух електрона не строго спрямований. Тому говорити про те, що один і той же електрон переходить з напівпровідника в метал і потім потрапляє на інший кінець ланцюга, не зовсім коректно. Насправді цей шлях електрон може виконати за дуже значний проміжок часу, аж до декількох десятків років. Тут, зрозуміло, ми маємо на увазі взаємодію електронів між собою з обміном енергіями. І коли один електрон переходить контакт «напівпровідник - метал», інший електрон долає контакт «метал - напівпровідник».

3.3. Розрахунок режимів роботи термоелектричного модуля

Термопара, яка фігурувала у дослідях Пельтьє, не має для енергетичних застосувань практичного значення – необхідно збільшити робочу поверхню (рис. 3.4). Однак така система буде працювати лише в перший момент. Теплота Джоуля рівномірно виділяється і прогріває всю систему. Тому необхідно стабілізувати поверхню «теплого» контакту при температурі навколишнього середовища. Таким чином, поняття термоелемента невід’ємне від поняття радіатора. Необхідне

скидання теплоти. Причому скидається як теплота Джоуля, так і теплота, яку виділяє охолоджуване тіло. Такий принцип роботи охолоджуюче-нагрівуючого термоелемента – термоелектричного теплового насоса, що переміщує теплоту від середовища з більш низькою температурою до середовища з більш високою температурою. В цьому випадку роботу виконує електричний струм. При роботі термоелементу проявляються три ефекту:

1. Ефект Пельтьє з відведенням теплоти – $Q_{\text{п}}$.

2. Ефект Джоуля з виділенням теплоти в усьому об'ємі. Відповідно до теорії адитивності теплових явищ, половина теплоти Джоуля надходить до гарячого спаю, а половина ($1/2 Q_{\text{Дж}}$) – до холодного (без урахування температурної залежності електричних параметрів матеріалу).

3. Теплопровідність – передача теплоти від системи з більш високою температурою до системи з більш низькою температурою – $Q_{\text{теплпер}}$.

Поставимо перед теплотами, що розглядаються відповідні знаки і одночасно запишемо фізичні параметри, що входять до них,

$$\alpha TI - 0,5I^2R - K(T_{\text{г}} - T_{\text{х}}), \quad (3.1)$$

де α – термоЕРС матеріалу;

T – температура контакту;

I – сила струму;

R – електричний опір;

K – повна теплопровідність елемента.

Очевидно, що чим більша різниця температур, тим більше значення має ефект теплопровідності. Також легко помітити, що при певному значенні сили струму ефект Джоуля починає переважати ефект Пельтьє, оскільки величина сили струму знаходиться у виразі в квадраті. Таким чином, є межа можливості ефекту охолодження за методом Пельтьє. Отже, максимальна різниця температур буде спостерігатися, коли всі ці ефекти будуть скомпенсовані

$$\alpha TI - 0,5I^2R - K\Delta T_{\max} = 0. \quad (3.2)$$

Слід зазначити, що такий режим роботи не представляє практичного інтересу, це лише демонстрація можливостей ефекту. Термічний елемент охолоджує сам себе. Однак для визначення якості термоелемента його робота в режимі $\Delta T_{\max}$ надзвичайно важлива.

Тепер помістимо на холодний спай теплове навантаження. В цьому випадку різниця температур зменшиться, але частина ефекту Пельтьє буде використовуватися для охолодження [14]

$$\alpha TI - 0,5I^2R - K\Delta T_{\text{роб}} = Q_0. \quad (3.3)$$

де $\Delta T_{\text{роб}} < \Delta T_{\max}$, Q_0 – холодопродуктивність.

При збільшенні теплового навантаження робоча різниця температур зменшується. В кінцевому підсумку, при $\Delta T_{\text{роб}} = 0$ маємо $Q_0 = Q_{\max}$.

З двох вище наведених рівнянь знаходимо [14]

$$Q_0^{\max} = K\Delta T_{\max}, \quad (3.4)$$

Визначимо максимально можливий (оптимальний) струм, при якому досягається $\Delta T_{\max}$. Знайдемо похідну по струму рівняння (3.3) [14]

$$\begin{aligned} \alpha T_x &= IR; \\ I_{\text{опт}} &= I_0 = \frac{\alpha T_x}{R}; \\ I_{\text{опт}} &= \frac{\alpha T_x s}{\rho l}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

де ρ , l і s – відповідно питомий електричний опір, довжина та перетин матеріалу термоелемента.

Величина α залежить від властивостей матеріалу. Величини l та s можна варіювати різним чином. Якщо s (перетин гілки) великий, а l (висота гілки) мала, то можна мати дуже великі струми.

Таким чином, є теоретична можливість створити термоелемент будь-якої потужності. Зрозуміло, за умови, що не враховуються технічні фактори (перехідні опори, при контактна структура матеріалу і т. п.). Термоелектрична батарея висотою 2 мм площею кожного елемента 1 см^2 при струмі в 200 А здатна заморозити кілька літрів води менше ніж за 5 с. Тобто ефект охолодження можна зробити дуже потужним.

Знаючи оптимальний струм, можна визначити і $\Delta T_{\max}$ [14]

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 T_x^2}{\rho K}. \quad (3.6)$$

Так як $R = \rho l/s$ та $K = \kappa s/l$, то

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_x^2 = \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 T_x^2}{\kappa \rho}. \quad (3.7)$$

Отримана формула містить в собі ряд принципових положень. Найголовне, не порушуються закони термодинаміки. Чим нижче температура спаю T_x , тим менше $\Delta T_{\max}$. При $T_x = 0 \text{ К}$ $\Delta T_{\max} = 0$. Ніяких технічних параметрів в цій формулі немає, що принципово відрізняє термоелектричний тепловий насос від інших типів холодильних машин. Тут є тільки електричні і теплові параметри речовини. При збільшенні Z збільшуються і можливості охолодження. Звідси випливає важливий наслідок – ефективність термоелектричних машин не залежить від габаритів, на відміну від компресійних холодильних машин, де від потужності на валу компресора і двигуна залежить ефективність машини в цілому.

Розглянемо ще раз ситуацію на холодному спаї термоелемента при

досягненні ним максимальної різниці температур. Принцип аддитивності (незалежності) теплових потоків дозволяє нам формально виробляти щось на кшталт «взаємозаліку» при розгляді теплових потоків, спрямованих назустріч один одному.

Підставимо отримане значення $I_{\max} = 1/2 \alpha T_x / R$ в вираз (3.2) [14]

$$\frac{\alpha^2 T_x^2}{R} - \frac{1}{2} \frac{\alpha^2 T_x^2}{R} - K \Delta T_{\max} = 0. \quad (3.8)$$

Видно, що в цьому випадку $Q_{\text{дж}} = 1/2 Q_{\text{п}}$, отже, можна записати [14]

$$1/2 Q_{\text{п}} - K \Delta T_{\max} = 0 \quad (3.9)$$

або

$$1/2 Q_{\text{п}} - Q_{\text{к}} = 0$$

звідки

$$Q_{\text{к}} = 1/2 Q_{\text{п}} \quad (3.10)$$

Таким чином, при $\Delta T = \Delta T_{\max}$ одна половина теплоти («холоду») Пельтьє витрачається на переміщення $1/2 Q_{\text{дж}}$ на гарячий спай, а інша половина – на компенсацію теплового потоку на холодний спай, що надходить за рахунок теплопровідності гілок термоелемента. Тепер ми можемо сформулювати фізичну картину на холодному спаї термоелемента, що працює в режимі $\Delta T_{\max}$.

У термоелементі, що працює при $I = I_{\max}$, ефект Пельтьє переміщує всю теплоту Джоуля на гарячий спай і компенсує потік за рахунок теплопровідності гілок при температурі нижче температури гарячого спаю на величину $\Delta T_{\max}$.

Існує два шляхи збільшення Q_0 :

- послідовне з'єднання термоелементів в батарею;
- каскадне підключення.

Крім того існує ще один варіант.

Нехай нас влаштовує зниження температури на 30 градусів, але у споживача недостатньо електроенергії. Тоді можна використовувати третій режим роботи термоелементу – режим *максимального (оптимального)* холодильного коефіцієнта або коефіцієнту перетворення тепла в залежності від того охолодження чи нагрівання є процесом, що нас цікавить.

Холодильний коефіцієнт та коефіцієнт перетворення тепла знаходяться за формулами [14]:

$$\varepsilon = Q_0/W, K = \varepsilon + 1, \quad (3.11)$$

де W – електрична потужність, що споживається термобатареєю.

У разі термоелектричного охолодження або нагрівання потужність, що споживається складається з двох частин $W_{дж}$ і $W_{терм}$:

$$W = W_{дж} + W_{терм}, \quad (3.12)$$

де $W_{дж}$ – потужність, що виділяється в гілках термоелемента, може бути визначена за формулою [14]

$$W_{дж} = I^2 R, \quad (3.13)$$

$W_{терм}$ – потужність, що витрачається на подолання термоелектрорушійної сили, може бути визначена за формулою [14]

$$W_{терм} = EI = \alpha(T_{\Gamma} - T_{\chi})I, \quad (3.14)$$

Таким чином,

$$W = I[\alpha(T_{\Gamma} - T_{\chi}) + IR], \quad (3.15)$$

і, згідно (3.3), (3.11) і (3.15),

$$\varepsilon = \frac{\alpha I T_x - 0,5 I^2 R - K(T_r - T_x)}{I[\alpha(T_r - T_x) + IR]}, \quad (3.16)$$

Як видно з отриманих виразів (3.3) і (3.16), різниця температур на парі і холодильний коефіцієнт залежать від сили струму I . Прирівнявши похідні $\frac{\partial(T_r - T_x)}{\partial I}$ і $\frac{\partial \varepsilon}{\partial I}$ до нуля, можна знайти оптимальне значення струму і відповідне йому максимальне значення холодильного коефіцієнта. Холодильний коефіцієнт ε досягає максимального значення при струмі

$$I_0 = \frac{\alpha(T_r - T_x)}{\left(\sqrt{1 + \frac{1}{2} Z(T_r + T_x)} - 1 \right) R}, \quad (3.17)$$

Відповідне падінні напруги на термоелементі:

$$U_0 = I_0 R + \alpha(T_r - T_x),$$

або

$$U_0 = \frac{\alpha(T_r - T_x) \sqrt{1 + \frac{1}{2} Z(T_r + T_x)}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} Z(T_r + T_x)} - 1}, \quad (3.18)$$

тоді

$$\varepsilon_0 = \frac{T_x}{(T_r - T_x)} \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{2} Z(T_r + T_x)} - \frac{T_r}{T_x}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2} Z(T_r + T_x)} + 1}, \quad (3.19)$$

Припустимо, що обидві гілки термоелемента мають однакову питому

теплопровідність ($\chi_1 = \chi_2 = \chi$) однакову електропровідність ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$) і рівні, але протилежні за знаком, коефіцієнти термоелектрорушійної сили ($|\alpha_1| = |\alpha_2| = \alpha$). Також прийнемо, що перетин гілок S_1 , і S_2 та довжини l_1 , і l_2 однакові: $S_1 = S_2 = S$; $l_1 = l_2 = l$.

За цих умов [14]

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\chi}. \quad (3.20)$$

Формули (3.6) і (3.19) показують, що при заданих умовах експлуатації T_r і T_x холодильний коефіцієнт, а також максимальне зниження температури цілком визначаються величиною Z , що характеризує ефективність термоелемента; при зростанні Z холодильний коефіцієнт прагне до свого граничного значення:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_x}{(T_r - T_x)}, \quad (3.21)$$

тобто до холодильного коефіцієнту ідеальної машини. Якщо $T_r - T_x \rightarrow 0$, то $\varepsilon \rightarrow \infty$.

Зупинимося більш докладніше на роз'ясненні того, що холодильний коефіцієнт може бути більше одиниці. Цей парадокс, що викликає зазвичай подив, заслуговує більш детального розгляду. Зробимо це, скориставшись фізичною моделлю, представленої на рис. 3.6. Як видно з графіку, для переходу системи з одного стану в інший (нагрів від 300 до 400 K або охолодження від 400 до 300 K) не потрібно переводити в інший стан кожен частинку системи, так як статистичний розподіл частинок системи по енергіях (гауссовий розподіл) створює частки з енергіями, набагато більшими і меншими середньої. На рис. 3.6 вони будуть належати вже іншій системі. Отже, не потрібно здійснювати роботу і витратити енергію на їх перевід в цю систему. При зближенні максимумів обох систем (рис. 3.7) кількість таких частинок зростає, відповідно зменшується порція енергії, необхідна для переведення однієї системи в стан іншої. Оскільки ця енергія (W) знаходиться в знаменнику виразу (3.11),

холодильний коефіцієнт зростає, прагнучи до нескінченності при прагненні різниці $T_{\Gamma} - T_x$ до нуля (тобто при прагненні максимумів систем на рис. 3.6 до поєднання). Дійсно, за однакового значення температур систем будь-яка частка за рахунок броунівського руху і під час відсутності роботи зовнішніх сил може виявитися в будь-якій з цих двох систем. У цьому принципова відмінність теплового насоса (не тільки термоелектричного) від, наприклад, гравітаційного насоса (водяного), який повинен підняти проти гравітаційного поля всі частинки води. При цьому відповідно до закону збереження повної механічної енергії витрачена насосом енергія принципово не може бути більше енергії, отриманої від зовнішнього джерела, в зв'язку з чим ідеальний ККД такого насоса не може перевищити 100%.

Зворотність ефекту Пельтьє за струмом дозволяє використовувати термоелемент (термобатарей) для цілей підігріву. У цьому випадку на робочому (гарячому) спаї буде вже два корисних ефекти – Пельтьє і Джоуля – при одному «шкідливому» – теплопровідності, що веде теплоту до холодного спаю. В цьому випадку рівновага настане, коли ефекти Пельтьє (нагрів) і Джоуля (нагрів) будуть компенсовані теплопровідністю (охолодження). Оскільки в цьому випадку $|Q_x| = 1/2|Q_p|$ інша половина Q_p , що дорівнює $1/2 Q_{Дж}$ залишається на гарячому спаї. Таким чином, в режимі $\Delta T_{\max}$ термоелемент буде еквівалентний джоулевому нагрівачу. Його енергетичний параметр, названий опалювальним коефіцієнтом (коефіцієнтом перетворення тепла), буде дорівнює одиниці (100%). При $\Delta T_{\text{роб}} < \Delta T_{\max}$ термоелектричний нагрівальний тепловий насос буде економічніше джоулевого нагрівача. При малій робочій різниці температур (10-20 К) опалювальний коефіцієнт може досягати значень 2-3 і більше.

3.4. Розрахунок параметрів матеріалу термоелектричних модулів

Будь-який пристрій, в якому використовуються термоелектричні модулі, попередньо розраховується. Схеми таких розрахунків наведені в численних монографіях і статтях з термоелектрики. Однак у всіх розрахунках фігурують термоелектричні параметри матеріалу: термоЕРС α , електропровідність σ (або питомий опір ρ) і теплопровідність κ . У той же час дані по модулях, які даються

в проспектах фірм, – це струм і напруга, при яких досягається максимальна різниця температур при нульовому тепловому навантаженні на гілку, $I_{\max}$, $U_{\max}$; значення цієї різниці температур $\Delta T_{\max}$, а також холодопродуктивність при струмі $I_{\max}$ і нульовій різниці температур $Q_{\max}$. Тому для розрахунків потрібно вміти переводити одні системи параметрів в інші.

Для спрощення розрахунків зазвичай припускають, що термоелектричні характеристики не залежать від температури. Тому значення термоелектричних параметрів, знайдені з матеріалів, вироблених різними фірмами, мають наближений характер. Для полегшення вибору термоелектричних модулів багато фірм часто приводять їх характеристики в графічному вигляді. Але і ці дані є розрахунковими, а не експериментальними, тобто теж наближеними.

Слід зазначити, що жодна фірма не публікує даних про те, як вона вимірює властивості термоелектричних модулів, тому завжди важко судити навіть про те, що в наведених фірмою характеристиках є експериментальним, а що розрахунковим.

Рівняння, що описує тепловий баланс на холодному кінці термоелектричної гілки, має вигляд [14]

$$\alpha IT_0 - 0,5I^2R - k\Delta T = Q_0. \quad (3.22)$$

де I – струм, що протікає через гілку;

T_0 – температура холодного кінця гілки;

R – опір гілки;

k – теплопровідність гілки;

$\Delta T = T - T_0$ – різниця температур на кінцях гілок;

T – температура гарячого кінця гілки;

Q_0 – теплове навантаження на гілку.

Якщо побудувати залежність $\Delta T_{\max}$ від струму, що протікає в ланцюзі при нульовому тепловому навантаженні $Q_0 = 0$, то ця залежність буде мати вигляд, представлений на рис. 3.8.

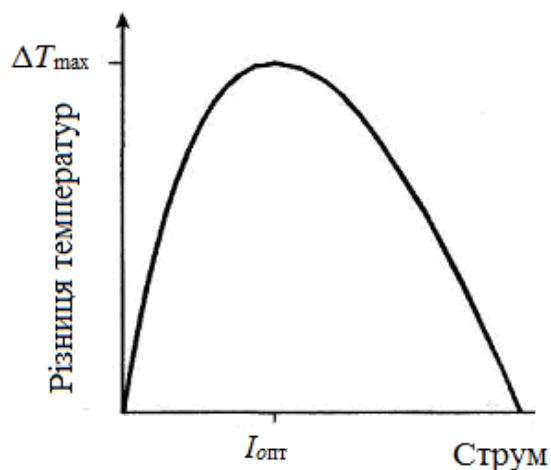


Рис.3.8. Залежність різниці температур на кінцях гілки від струму (температура гарячого кінця фіксована)

З рис. 3.8 видно, яким чином експериментально можливо виміряти $\Delta T_{\max}$ і $I_{\max}$ на гілки (або на модулі) по залежності різниці температур від струму. Слід підкреслити, що ця залежність не симетрична відносно прямої $I = I_{\max}$ і, всупереч загальноприйнятій думці, не є параболою.

Тепер, якщо ми будемо подавати на холодний кінець ланцюга теплове навантаження, а струм буде фіксований на рівні $I = I_{\max}$, то в залежності від теплового навантаження різниця температур на кінцях гілки буде виглядати наступним чином (рис. 3.9).

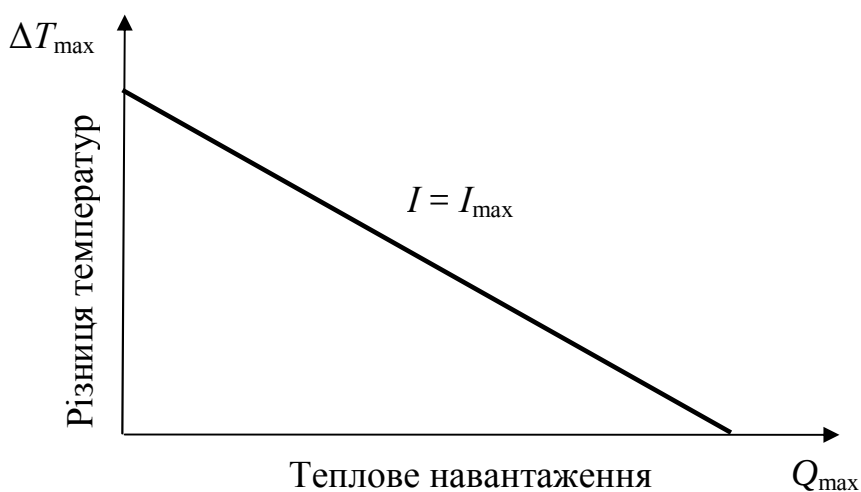


Рис. 3.9. Залежність різниці температур на гілці від теплового навантаження при струмі $I = I_{\max}$

Це так звана навантажувальна пряма. При $Q_{\max} = 0$ маємо $\Delta T = \Delta T_{\max}$. При збільшенні теплового навантаження ΔT зменшується, і, нарешті, при деякому навантаженні настає ситуація, коли $\Delta T = 0$. Теплове навантаження для цього випадку і є $Q_{\max}$.

Якщо тепер розглянути роботу термоелектричного модуля, що має N_p термоелементів (пар) і представляє в електричному сенсі ланцюжок послідовно з'єднаних гілок, то вирази для $U_{\max}$, $I_{\max}$, $Q_{\max}$ мають вигляд, представлений в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Зв'язок параметрів модуля і термоелектричного матеріалу

Вираз параметрів модулю через параметри термоелектричного матеріалу	Вираз параметрів термоелектричного матеріалу через параметри модулю
$U_{\max} = 2N_p \alpha T$	$\alpha = \frac{U_{\max}}{2N_p T}$
$I_{\max} = \frac{\alpha(T - \Delta T_{\max})}{R}$	$R = \frac{U_{\max}}{2N_p I_{\max}} \left(1 - \frac{\Delta T_{\max}}{T} \right)$
$Q_{\max} = 2N_p k \Delta T_{\max} \left(\frac{T + \Delta T_{\max}}{T - \Delta T_{\max}} \right)$	$k = \frac{Q_{\max}}{2N_p \Delta T_{\max} \left(\frac{T + \Delta T_{\max}}{T - \Delta T_{\max}} \right)}$
$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_0^2$	$Z = \frac{2\Delta T_{\max}}{(T - \Delta T_{\max})^2}$

Вирази для максимального значення різниці температур визначаються з рівняння (3.11) диференціюванням різниці температур по струму і прирівнюванням похідної до нуля. Таким чином, величини $U_{\max}$, $I_{\max}$, $Q_{\max}$ перераховуються в параметри α , R і k . З останніми вже нескладно проводити розрахунки за існуючими формулами. Для розрахунків необхідно знання трьох термоелектричних параметрів, а для їх визначення є чотири рівняння, тому при обчисленні термоелектричних параметрів треба враховувати точність визначення $U_{\max}$, $I_{\max}$, $Q_{\max}$.

Формула для визначення α , безумовно, дуже зручна, оскільки $U_{\max}$ можна

виміряти досить точно. Таку ж точність має й визначення R . Величина $Q_{\max}$, як правило, визначається менш точно і, швидше за все, дещо занижена, тому значення теплопровідності також виходить заниженими, а, отже, Z – завищеним. Тому можна рекомендувати брати для розрахунку значення α та R з наведених формул, а k – з виразу для Z . Кількість пар N_p , що входить у вирази для термоелектричних параметрів береться з специфікації модуля, а температура гарячого теплопереходу зазвичай задається.

Розглянемо приклад визначення термоелектричних параметрів з даних фірм по модулю.

Так, фірма «Melcon» для модуля CP 1.4-127-06L дає $\Delta T_{\max} = 67$ °C, $I_{\max} = 6,0$ А, $U_{\max} = 15,4$ В, $Q_{\max} = 51,4$ Вт. Температура гарячого теплопереходу 25 °C. З маркування модуля визначаємо, що він містить 127 пар, висота гілки $h = 1,52$ мм, перетин гілки $d^2 = 1,4 \times 1,4$ мм². Тоді з формул табл. 3.1 отримаємо

$$\alpha = \frac{U_{\max}}{2N_p T} = \frac{15,4}{2 \cdot 127 \cdot 298} = 203 \text{ мкВ/К};$$

$$\rho = \frac{d^2 U_{\max}}{2hN_p I_{\max}} \left(1 - \frac{\Delta T_{\max}}{T}\right) = \frac{0,14^2 \cdot 15,4}{2 \cdot 0,152 \cdot 127 \cdot 6} \left(1 - \frac{67}{298}\right) = 0,00101 \text{ Ом} \cdot \text{см};$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{0,00101} = 990 \text{ 1/Ом} \cdot \text{см}; \quad Z = \frac{2\Delta T_{\max}}{(T - \Delta T_{\max})^2} = \frac{2 \cdot 67}{(298 - 67)^2} = 0,00251 \text{ К}^{-1}.$$

величина k із Z дорівнює 0,0163 Вт/(см·К), або 1,63 Вт/(м·К), величина k з $Q_{\max}$ дорівнює 1,48 Вт/(м·К).

3.5. Каскадне підключення термоелектричних модулів

Уявімо, що величина холодопродуктивності Q_0 достатня для даних запланованих цілей, але величина робочої різниці температур $\Delta T_{\text{роб}}$ для потреб споживача недостатня. Причому необхідно, щоб $\Delta T_{\text{роб}}$ було більше (наприклад, $\Delta T_{\max}$ потрібно отримати $T_x = -70$ °C, а батарея може забезпечити не нижче -50 °C). В цьому випадку можна помістити одну термобатарю на іншу (рис. 3.10). Каскадування це спосіб домогтися того, щоб $\Delta T_{\text{роб}} > \Delta T_{\max}$.

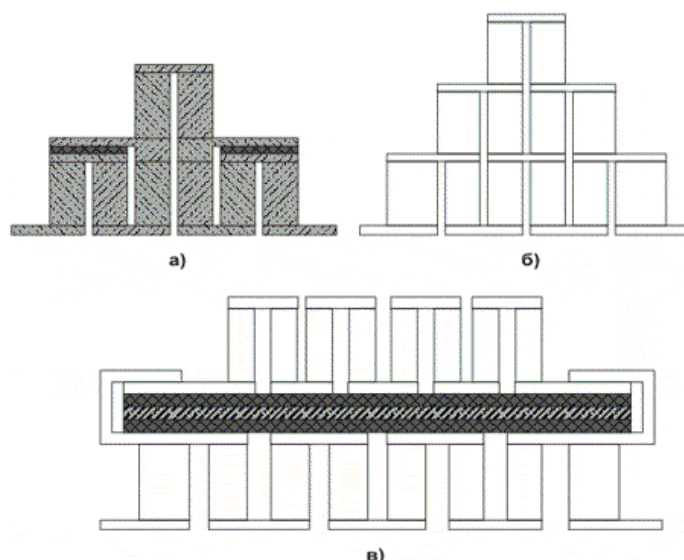


Рис. 3.10. Каскадне з'єднання термоелектричних модулів Пельтьє

Максимальне зниження температури, яке може забезпечити термоелемент, знаходиться за формулою [14]

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_x^2 \text{ або } T_{\Gamma} = \frac{\sqrt{1 + 2 T_x Z} - 1}{Z}. \quad (3.23)$$

Подальше зниження температури можна здійснити шляхом послідовного (каскадного) охолодження. Зрозуміло, однак, що не можна досягти мінімальної температури (3.23), що відповідає $\varepsilon = 0$, і ще далі знизити температуру наступним каскадом, так як цей каскад буде виділяти теплоту, яку повинен поглинати перший. Для найкращого використання кожного з каскадів багатокаскадної батареї, з метою досягнення найбільш низьких температур, батарея повинна складатися з ланок потужності, що різко зменшується (рис. 3.10 а і б). За допомогою каскадної батареї можна досягти і іншої мети – підвищення холодильного коефіцієнта там, де потрібно зниження температури, близьке до максимально доступного при даному Z .

Холодильний коефіцієнт багатокаскадної батареї підраховується наступним чином. Позначимо холодопродуктивність першого каскаду, тобто каскаду, що віднімає тепло безпосередньо від охолоджуваного об'єкта, – Q_1 , його

холодильний коефіцієнт – ε_1 , споживану їм потужність – W_1 . Відповідно величини для другого каскаду позначимо Q_2 , ε_2 і W_2 і т. д. Використовуючи зв'язок $W_1 = Q_1/\varepsilon_1$; отримаємо, [14]

$$\left. \begin{aligned} Q_2 &= W_1 + Q_1 = Q_1 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_1} \right), \\ Q_3 &= Q_2 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_2} \right) = Q_1 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_1} \right) \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_2} \right), \\ &\dots\dots\dots \\ Q_{n+1} &= Q_1 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_1} \right) \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_2} \right) \dots \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_n} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

Але Q_{n+1} складається з двох частин, а саме: з потужності, що споживається всією батареєю (W) та теплового навантаження першої батареї (Q_1):

$$Q_{n+1} = W + Q_1 = Q_1 \left(1 + \frac{1}{\varepsilon} \right), \quad (3.25)$$

де ε – холодильний коефіцієнт всієї термобатарей.

Порівнюючи (3.24) і (3.25) отримаємо вираз для холодильного коефіцієнта багатокаскадної термобатарей:

$$1 + \frac{1}{\varepsilon} = \prod_{i=1}^{i=n} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_i} \right) \quad (3.26)$$

або

$$\varepsilon = \frac{1}{\prod_{i=1}^{i=n} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon_i} \right) - 1}. \quad (3.27)$$

Розглянемо приклад: якщо $Z = 2 \cdot 10^{-3}$ і $\Delta T = 50$ °С, то при одному каскаді $\varepsilon = 0,1$ (10%). При двох каскадах $\Delta T_1 = \Delta T_2 = 25$ °С, $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,8$ і холодильний

коефіцієнт всього пристрою $\varepsilon = 0,25$. Аналогічно для трьох каскадів отримаємо $\varepsilon = 0,275$. Це показує, що застосування трьохкаскадної батареї в даному випадку не має сенсу. Покладемо, що при $Z = 2 \cdot 10^{-3}$ ми хотіли б знизити температуру на 25°C за допомогою двох каскадів по $12,5^\circ\text{C}$. Холодильний коефіцієнт для кожного каскаду складав би $\varepsilon_1 = 2$, а для двох $\varepsilon = 0,8$, тобто те ж саме, що і при одному каскаді.

На рис. 3.11 дана залежність холодильного коефіцієнту ε від різниці температур та Z для одно- і двохкаскадної термобатарей.

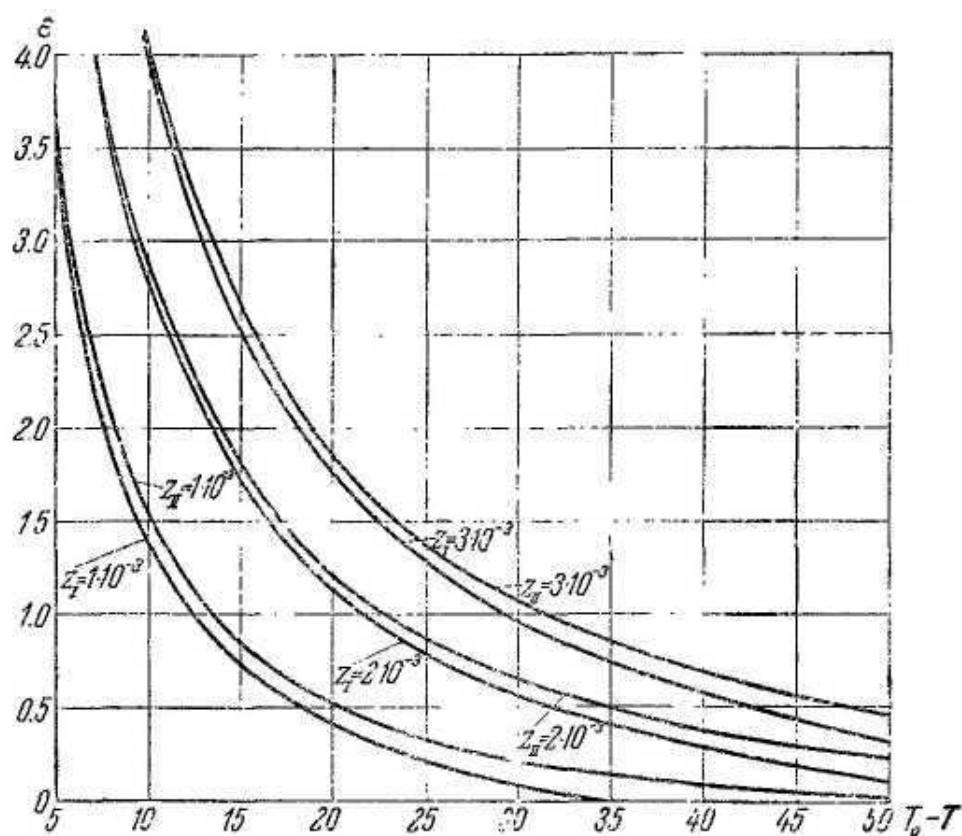


Рис. 3.11. Графік залежності холодильного коефіцієнту ε від різниці температур та Z для одно- і двохкаскадної термобатарей [14]

На гарячому spaї найнижчої термобатарей виділяється найбільша кількість теплоти, оскільки теплота Джоуля підсумовується, і кожен каскад вносить свій внесок. Каскадування дозволяє збільшити $\Delta T_{\text{роб}}$ каскаду термобатарей. Так, якщо однокаскадна термобатарея не може забезпечити різниці температур більше 73°C , то 7-каскадна вже здатна дати 145°C різниці температур.

3.6. Переваги та недоліки термоелектричного охолодження

Протягом останнього десятиліття середньорічний приріст світового виробництва термоелектричних охолоджуючих модулів становить 15-25%. Настільки високі і стійкі темпи зростання властиві хіба що таким високотехнологічним продуктам, як комп'ютерна техніка та програмне забезпечення. Незважаючи на те, що з часу відкриття ефекту термоелектричного охолодження (ефекту Пельтьє) пройшло багато часу, його практичне використання стало можливим лише в останні десятиліття.

Мабуть, головною причиною, що викликала сплеск інтересу до термоелектричного охолодження, є абсолютна екологічна чистота цього методу перетворення енергії, на відміну від традиційного парокомпресійного методу. Даний фактор висувається на передній план завдяки усвідомленню світовою спільнотою важливості збереження навколишнього середовища.

Термоелектричні теплові насоси мають ряд переваг в порівнянні з традиційними пристроями [14]:

1. Легкість переходу з режиму охолодження в режим нагріву. Проста зміна напрямку струму перетворює термоелектричний холодильник в нагрівач, що є також вигідною відмінністю від інших типів холодильних машин.

2. Можливість плавного і точного регулювання холодопродуктивності і температурного режиму.

3. У формулу для $\Delta T_{\max}$ не входить величини s і l , тобто максимальне зниження температури на спаях термоелемента не залежить від геометричних характеристик модуля. Габарити термоелектричного охолоджувача можуть бути практично які завгодно малими. Товщина сучасних плівкових охолоджувачів електронних чипів досягає сотень нанометрів при довжині і ширині порядку десятків мікрон. Важливо підкреслити, що холодильний коефіцієнт термоелектричного холодильника практично не залежить від його розмірів аж до сотень мікрон.

4. Безінерційність. У класичній тепловій машині робочими тілами є холодоагенти. У термоелектричній тепловій машині тепло переносять електрони,

які діють практично безінерційно.

5. Відсутність рухомих частин, а значить, безшумність і відсутність вібрацій. Як наслідок практично необмежений ресурс роботи.

6. Відсутність хладагентів – екологічна безпека використання.

7. Конструктивна пластичність. Довільна орієнтація в просторі і політяжіння, стійкість до динамічних і статичних навантажень.

8. Вічне зберігання. Деякі термоелектричні матеріали навіть покращують свої властивості після 30-річної витримки при кімнатних умовах.

9. Використання постійного струму. Очевидно, ця обставина є перевагою, якщо джерело постійного струму легкодоступне, наприклад, при охолодженні різних об'єктів в автомобілях, поїздах, морських і річкових судах і т. п.

На жаль, термоелектричним елементам притаманні і недоліки. Таких недоліків всього два, але вони досить важливі:

1. Використання постійного струму. Дана перевага (п. 9) перетворюється в недолік, якщо джерело постійного струму відсутнє. Тоді доводиться перетворювати змінний струм за допомогою випрямляча, що підвищує габарити і вартість системи.

2. Низький холодильний коефіцієнт. За інших рівних умов холодильний коефіцієнт термоелектричного охолоджувача виявляється менше, ніж у парокомпресійної машини.

3.7. Висновки

Серед розглянутих термоелектричних явищ практичне застосування для побудови теплових насосів має ефект Пельтьє. Він проявляється в переносі тепла від одного спаю з різномірних провідників до іншого при протіканні електричного струму.

Ефект Пельтьє пояснюється різною роботою виходу електронів в металах або напівпровідниках. Долаючи потенційний бар'єр електрон втрачає енергію, яку потім відновлює за рахунок поглинання тепла – відбувається процес охолодження. Проходячи потенційний бар'єр на іншому спаї електрон отримує енергію і

виявляється більш «гарячим» ніж кристалічна решітка матеріалу. В цьому випадку електрон віддає свою енергію нагріваючи тим самим матеріал. Тобто в явищі Пельтьє відбувається процес переносу тепла електронами.

З трьох розглянутих ефектів (Пельтьє, Джоуля, теплопровідності) позитивним (робочим) є ефект Пельтьє. Обидва інших ефекту йому «протистоять». Оскільки ефект Пельтьє пропорційний силі струму, а ефект Джоуля – квадрату сили струму, і, крім того, при збільшенні різниці температур між спаями збільшується і потік теплоти за рахунок теплопровідності, обов'язково настане рівновага, коли охолодження припиниться, а подальше, збільшення струму викликає вже зворотний процес. При цьому різниця температур є максимальною ($\Delta T_{\max}$) і залежить тільки від параметрів матеріалу ланцюга (гілок термоелементу).

Якщо, не змінюючи величини струму ($I_{\max}$) на холодний спай ланцюга подавати теплове навантаження, то різниця температур у виразу для теплопровідності буде зменшуватися ($\Delta T_{\text{роб}} < \Delta T_{\max}$). За рахунок цього з'явиться така ж величина корисної холодопродуктивності. При $\Delta T_{\text{роб}} \rightarrow 0$ $Q_0 \rightarrow Q_0^{\max}$. Режим $I_{\max}$ дає максимальне значення Q_0 при всіх робочих перепадах температур, проте є найменш економічним.

Збільшення економічності для кожного перепаду температур може дати оптимізація співвідношення Q_0/W яке стає максимальним в одній енергетичній точці для кожного перепаду температур. Це режим максимального холодильного коефіцієнта. При цьому Q_0 буде менше $Q_0^{\max}$, але при істотному зниженні W для даного робочого перепаду температур.

Для розрахунку режимів роботи термоелектричних модулів потрібні параметри матеріалу з якого вони зроблені. Фірмами виробниками наводяться електричні параметри це струм і напруга, при яких досягається максимальна різниця температур при нульовому тепловому навантаженні на гілку, $I_{\max}$, $U_{\max}$; значення цієї різниці температур $\Delta T_{\max}$, а також холодопродуктивність при струмі $I_{\max}$ і нульовій різниці температур $Q_{\max}$. Цих параметрів достатньо для розрахунку характеристик термоелектричного матеріалу модулів Пельтьє.

В даний час ефективність термоелектричних матеріалів (низькотемпературних) становить $Z \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Необхідний наступний якісний крок. Випробувані і вивчаються різні варіанти і нові методи. Однак вони дають істотну надбавку в величині Z лише для матеріалів з низьким початковим значенням ефективності. Тому знову і знову вдається тільки наблизитися до цифри $Z = 3 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. Потрібні нові принципові моделі і підходи.

У разі, якщо необхідний рівень охолодження, що перевищує можливості термоелемента, застосовується каскадування термобатарей. При цьому економічність каскадної термобатарей падає, проте можливе досягнення $\Delta T_{\text{роб}} > \Delta T_{\text{max}}$ в 1,2-1,7 рази. На гарячому спаї найнижчої термобатарей виділяється найбільша кількість теплоти, оскільки теплота Джоуля підсумовується, і кожен каскад вносить свій внесок. Також шляхом каскадного підключення термомодулів можливе за певних умов підвищити коефіцієнт холодопродуктивності.

До переваг термоелектричних теплових насосів слід віднести:

- відсутність рухомих частин, а значить, безшумність і відсутність вібрацій. Як наслідок практично необмежений ресурс роботи;
- можливість плавного і точного регулювання холодопродуктивності і температурного режиму;
- відсутність хладагентів – екологічна безпека використання;
- довільна орієнтація в просторі і полі тяжіння, стійкість до динамічних і статичних навантажень.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСУ З ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ МОДУЛЯМИ ПЕЛЬТЬЕ

4.1. Вибір розрахункової різниці температур

При виборі температури теплоносія керуються кількома факторами:

1. Досягнення комфортного (нормативного) температурного режиму у приміщеннях;
2. Забезпечення стабільної та економічної роботи котельного обладнання;
3. Ефективна передача тепла по трубопроводах.

Опалювальна система повинна працювати так, щоб в приміщеннях завжди було комфортно. Температурний режим регламентується нормативними документами (наприклад, у житлових будинках це 18 °С, в лікарнях і дитячих садках 21 °С). Але залежно від температури на вулиці будівля втрачає різну кількість тепла через огорожувальні конструкції і з потоками повітря при вентиляції.

Нагрівання води в системі опалення будівлі варіюється в досить широких межах залежно від зовнішніх факторів. Це можуть бути температури від 30-40 до 85-90 °С (вище 90 починається розкладання пилу і лакофарбових покриттів, тому більш гарячі труби заборонені санітарними нормами).

В сучасних будинках, які дуже добре утеплені, і мають сучасні теплі вікна та двері, теплої підлоги вистачає для обігріву приміщення. Такий обігрів приміщення дуже комфортний для людини, у зв'язку з рівномірним вертикальним розподілом температури повітря. По горизонталі – температура рівномірно розподіляється по всій площі та не виникають місця перегріву.

Теплу підлогу не встановлюють в спальнях. Тому що джерело тепла близьке до голови, коли ви спите. А це негативно впливає на здоров'я і сон. Також система тепла підлога дуже інерційна, і швидкість нагрівання й охолодження набагато повільніша ніж обігрів радіаторами. В спальнях підлога дуже часто прикривається товстими килимами та заставлена меблями. Через це

встановлюють комбіновану систему обігріву будинку.

Для теплої підлоги температура теплоносія не повинна бути більше ніж 29 °С. А оптимальною вважається 26 °С, для загальних кімнат, кухні та коридору. Для дитячих кімнат вона повинна бути не більше ніж 34 °С. Також вона такою повинна бути для санітарних зон, тобто для ванних кімнат і туалетів. Тому що в цих кімнатах існує вентиляція, по якій певна частина тепла виходить назовні.

Температуру теплоносія для радіаторів потрібно подавати значно вищою, вона повинна коливатися в межах 55-70 °С. А для теплої підлоги вона є за високою. Температура теплоносія, що використовується для теплої підлоги, для радіаторів є за низькою, і потрібно встановлювати більшу кількість радіаторів.

Сучасне житло передбачає подачу холодної і гарячої води для задоволення всіх потреб. Температура холодної води в крані може коливатися в межах 5-15 °С. Значення температурної межі залежать від таких факторів, як: кліматичні умови; глибина залягання водопровідних систем; температура в техпідпіллі (підвальні мережі комунікацій); місце забору води водопровідними мережами (ріки, канали, водосховища, підземні джерела). Температура холодної води підвищується в теплу пору року і знижується в холодну. Будь-яке житло припускає паралельну подачу гарячої води, і шляхом змішування досягається необхідна теплота. Санітарними нормами регламентується температура гарячої води в централізованих мережах гарячого водопостачання в межах 60-75 °С. Допускається відхилення в нічний час з 00.00 до 5.00 - на 5 °С і з 5.00 до 00.00 - на 3 °С [15].

Норматив температури гарячої води в квартирі встановлений СанПіНом. Цей показник може бути на рівні 60-75 градусів. Також є й інші правила:

- не менш 60 градусів – у відкритому теплопостачання;
- не менш 50 – в закритому;
- не більш 75 – для обох систем.

Якщо температура води в крані більш 50 °С, є ймовірність отримати опік. Температура води понад 65 °С – опік шкіри за 2 секунди, температура 65 °С – опік епідермісу за 5 секунд, температура води 55 °С – опік шкіри за 90 секунд.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймаються по [16] в залежності від пункту розташування об'єкту і приведені для м. Кропивницький в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Кліматологічні дані м. Кропивницький за опалювальний період

Тривалість опалюв. періоду, n_o , діб	Температура зовнішнього повітря в холодний період, °C				
	розрахункова		середня		Число діб з $t_{p.v.} < t_{p.o.}$, $n_{оп}$
	опалення, $t_{p.o.}$	вентиляція, $t_{p.v.}$	опалювального періоду, $t_{сер.о.}$	найбільш холодного місяця $t_{сер. х.м.}$	
185	-21	-9	-1,0	-12,6	18

Отже, за результатами вище наведеного можна скласти узагальнюючу таблицю (табл. 4.2), в якій представлені розрахункові значення температур при різних способах обігріву та на гаряче водопостачання.

Таблиця 4.2. Розрахункові значення температур при визначенні ΔT

Споживач тепла	Розрахункова температура теплоносія, °C	Розрахункова температура зовнішнього повітря, °C	Розрахункове значення різниці температур ΔT , °C
Теплі підлоги	34 (max)	-21	55
Радіатори опалення	55 (min)		76
Гаряче водопостачання	50 (min)		71

Для відбору тепла від оточуючого повітря потрібно щоб температура теплоносія (антифризу) була менше ніж температура оточуючого середовища, тобто менше ніж -21 °C. Відповідно і розрахункове значення різниці температур повинно бути більше ніж наведене в табл. 4.2 на певну величину. Враховуючи, що це значення залежить від технічних характеристик повітряного теплообмінника (радіатора), який можна виготовити з наперед заданими характеристиками, то можна задатися значенням падіння температури на

повітряному теплообміннику в 10 °С.

Отже, за розрахункове значення різниці температур приймемо 65 °С, що відповідає використанню теплих полів з температурою 34 °С, температурі оточуючого середовища -21 °С та падінню температури на повітряному теплообміннику в 10 °С. Також, слід зазначити, що в сучасних компресорних теплових насосах «повітря-вода» температура теплоносія на виході з теплового насосу не перевищує 35 °С, а для отримання гарячої води з більшою температурою використовується електричний ТЕН що догріває воду до заданої температури.

4.2. Термоелектричні характеристики модулів Пельтьє

Розглянемо термоелектричні характеристики найбільш потужних модулів Пельтьє, що пропонуються виробниками на сучасному ринку (табл. 4.3).

Таблиця 4.3. Технічні показники термоелектричних модулів Пельтьє

Тип термоелементу	$U_{\max}$, В	$I_{\max}$, А	$Q_{\max}$, Вт	$\Delta T_{\max}$, °С	$T_{\text{роб}}$, °С
TEC1-12705	14,2	5,3	43	66	<138
TEC1-12706	14,4	6,4	50	66	<138
TEC1-12708	15,4	8,5	71	66	<138
TEC1-12709	15,4	9	77,1	67	<90
TEC1-12710	15,2	10,5	85	66	<138
TEC1-12712	15	12	102	66	-50÷80
TEC1-12715	15,4	15	136	70	<90
TEC1-12724	16	21	210,4	70	<100
TEC1-12730	15,6	30,5	257	68	<138
TEC1-12740	15	40	338	66	-50÷100

Примітка. Наведені технічні характеристики відповідають температурі гарячого спаю 30 °С для моделі TEC1-12712 і TEC1-12740, для усіх інших 25 °С.

Термоелектричні модулі наведені в табл. 4.3 мають 127 пар напівпровідникових елементів. Хоча промисловістю пропонується модулі з різною кількістю пар (від 7 до 241) це значення впливає лише на максимальну

робочу напругу, в той час як теплові характеристики залежать від електричної потужності модулю (добутку максимальної напруги та струму).

З аналізу табл. 4.3 видно, що максимальна різниця температур між гарячим та холодним спаєм термомодулю приблизно однакова і не залежить від його потужності. Це пояснюється тим, що максимальна різниця температур залежить лише від характеристик термоелектричного матеріалу і не залежить від потужності. Враховуючи, що матеріал, який використовується в термомодулях однаковий то відповідно і максимальна різниця температур теж однакова.

Слід зазначити, що при збільшенні температури гарячого спаю більше 25 °C технічні характеристики термоелектричних модулів покращуються в порівнянні з наведеними в табл. 4.3. В якості прикладу, для порівняння в табл. 4.4 наведені технічні характеристики при різних температурах гарячого спаю.

Таблиця 4.4. Технічні показники термоелектричних модулів Пельтьє при різних температурах гарячого спаю

Тип модуля	TEC1-12705		TEC1-12730	
Температура гарячого спаю, °C	25	50	25	50
$Q_{\max}$, Вт	43	49	257	282
$\Delta T_{\max}$, °C	66	75	68	79
$I_{\max}$, А	5,3	5,3	30,5	30,5
$U_{\max}$, В	14,2	16,2	15,6	17,8

Для розрахунків термоелектричних характеристик необхідно за параметрами наведеними фірмами виробниками (табл. 4.3) розрахувати параметри термоелектричного матеріалу. Методика розрахунку та необхідні формули наведені в п.п. 3.4. Результати розрахунку зведені до табл. 4.5.

З аналізу табл. 4.5 слід зазначити, що параметри, які характеризують термоматеріал α та Z залишаються приблизно постійними та не залежать від потужності термоелектричного модулю, що також пояснюється використанням однакового термоелектричного матеріалу. Параметри R і k залежать від потужності термоелектричного модулю, що пояснюється збільшенням перетину

гілок з термоелектричного матеріалу при збільшенні потужності, а це в свою чергу призводить до збільшення теплопровідності k та зменшення опору R .

Таблиця 4.5. Параметри термоелектричного матеріалу різних типів модулів Пельтьє

Тип термоелементу	α , мкВ/К	R , Ом	k , Вт/(м·К)	Z , К ⁻¹
TEC1-12705	187,51	0,0082132	0,001635231	0,00245
TEC1-12706	190,15	0,0068974	0,001901432	0,00245
TEC1-12708	203,35	0,0055539	0,002700033	0,00245
TEC1-12709	203,35	0,0052228	0,002867929	0,00251
TEC1-12710	200,71	0,0044377	0,003232434	0,00245
TEC1-12712	194,80	0,0038498	0,003908794	0,00235
TEC1-12715	203,35	0,0030930	0,004740267	0,00269
TEC1-12724	211,28	0,0022954	0,007333472	0,00269
TEC1-12730	205,99	0,0015544	0,009352817	0,00257
TEC1-12740	194,80	0,0011549	0,01295267	0,00235

Електричні характеристики

На рис. 4.1 наведене сімейство вольт-амперних характеристик термоелектричного модулю TEC1-12715 при різних перепадах температур між гарячим і холодним спаєм.

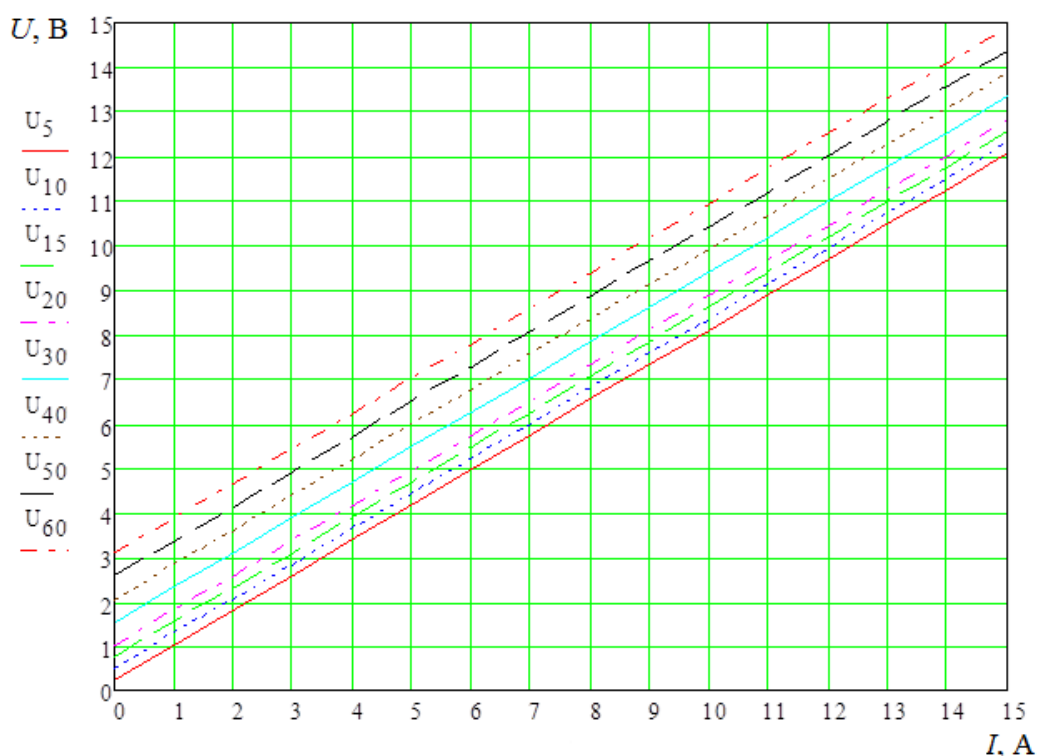


Рис. 4.1. Сімейство ВАХ термоелектричного модулю TEC1-12715

Зсув ВАХ при збільшенні різниці температур між гарячим і холодним спаєм (рис. 4.1) пояснюється виникненням термоЕРС, що обумовлює необхідність прикладання більшої напруги для протікання струму.

Термоелектричні характеристики

Серед термоелектричних характеристик найбільшу цікавість викликає залежність коефіцієнта перетворення тепла (COP) від різниці температур між гарячим і холодним спаєм та струму, що споживається термоелектричним модулем (рис. 4.2 і 4.3).

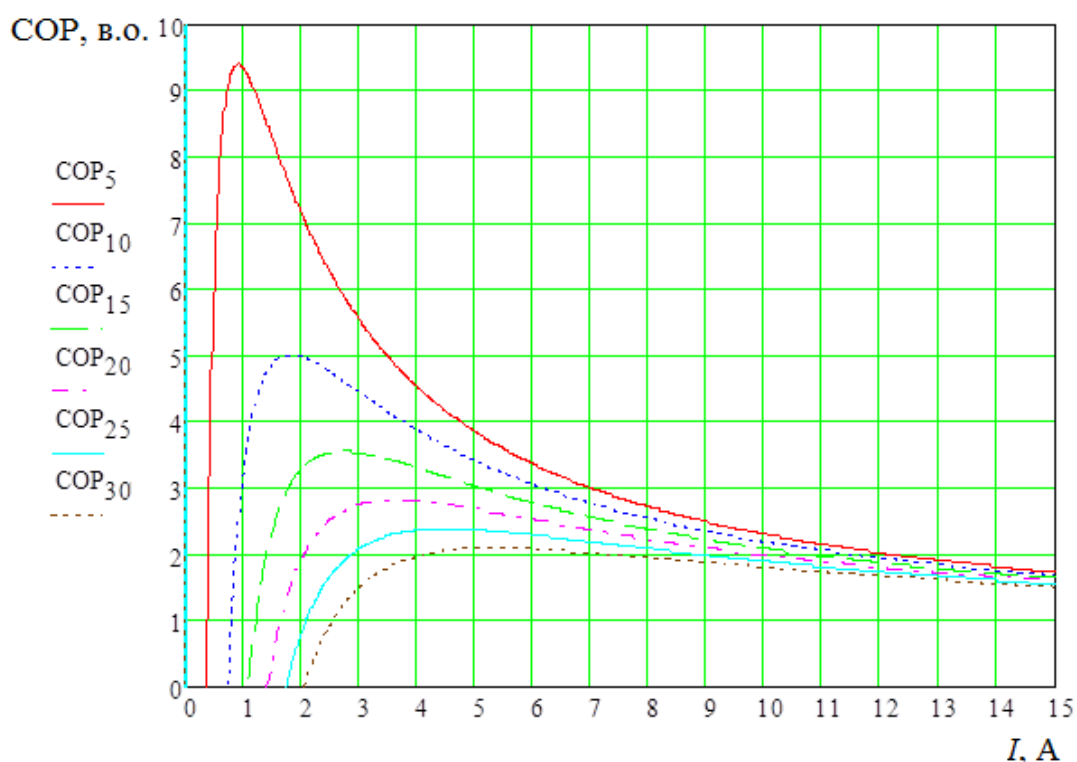


Рис. 4.2. Графік залежності коефіцієнта перетворення тепла (COP) від струму, що споживається термоелектричним модулем TEC1-12715 та різниці температур між гарячим і холодним спаєм в межах температур 5-30 °C.

З аналізу графіків наведених на рис. 4.2 та 4.3 видно, що при кожній конкретній різниці температур між гарячим і холодним спаєм при певному значенні струму $I_{\text{опт}}$, що протікає крізь термоелектричний модуль коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення. Тобто графік залежності $\text{COP} = f(I)$ має явно виражений максимум.

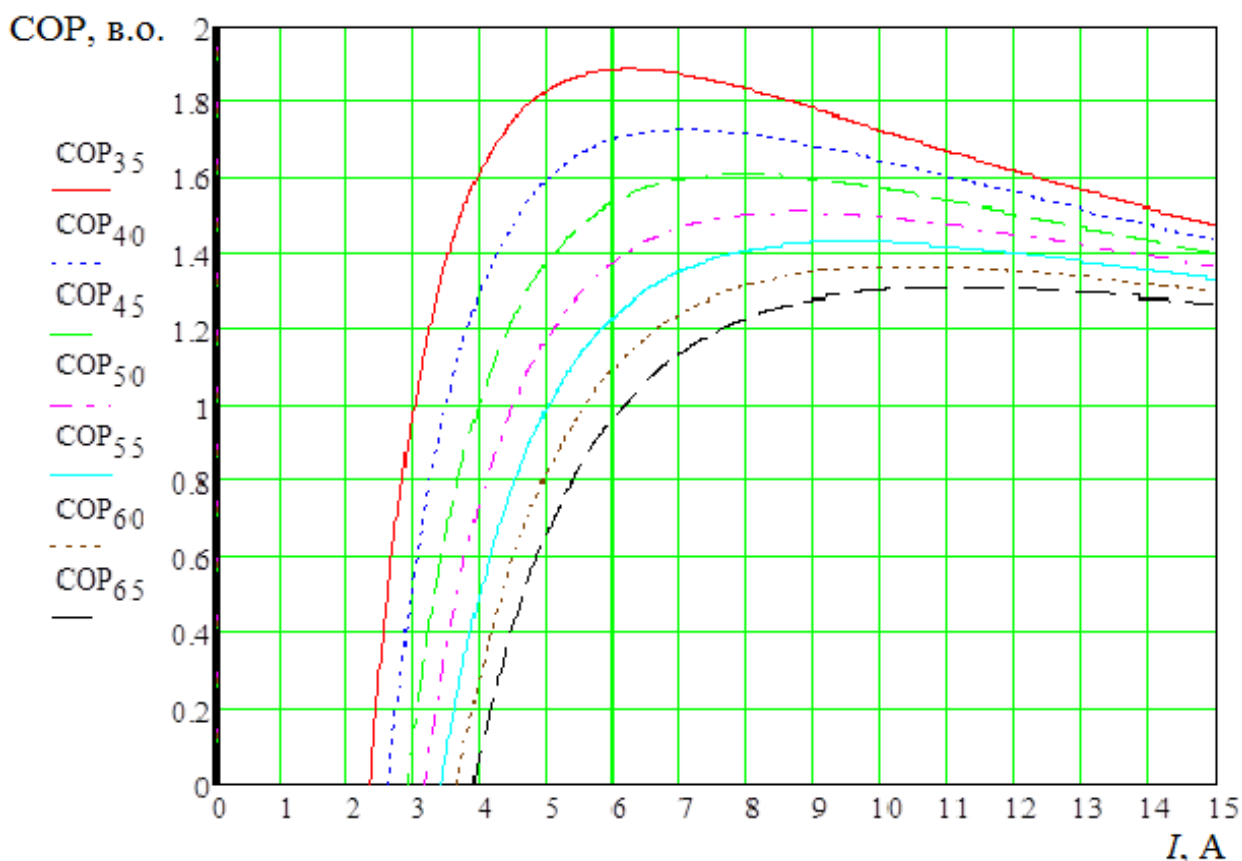


Рис. 4.3. Графік залежності коефіцієнта перетворення тепла (COP) від струму, що споживається термоелектричним модулем TEC1-12715 та різниці температур між гарячим і холодним спаєм в межах температур 35-65 °C.

Також цікавість викликає графіки залежності струму $I_{\text{опт}}$, що протікає крізь модуль (рис. 4.4) та напруги $U_{\text{опт}}$ прикладеної до термоелектричного модулю (рис. 4.5) при яких коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення, від різниці температур між гарячим і холодним спаєм. Дані графіки (рис. 4.4 та 4.5) дозволяють розробити закон керування термоелектричним модулем для підтримання максимальної ефективності теплового насосу (максимального значення коефіцієнту перетворення тепла COP) в функції або струму термоелектричного модулю, або в функції напруги прикладеної до термоелектричного модулю від різниці температур між гарячим і холодним спаєм.

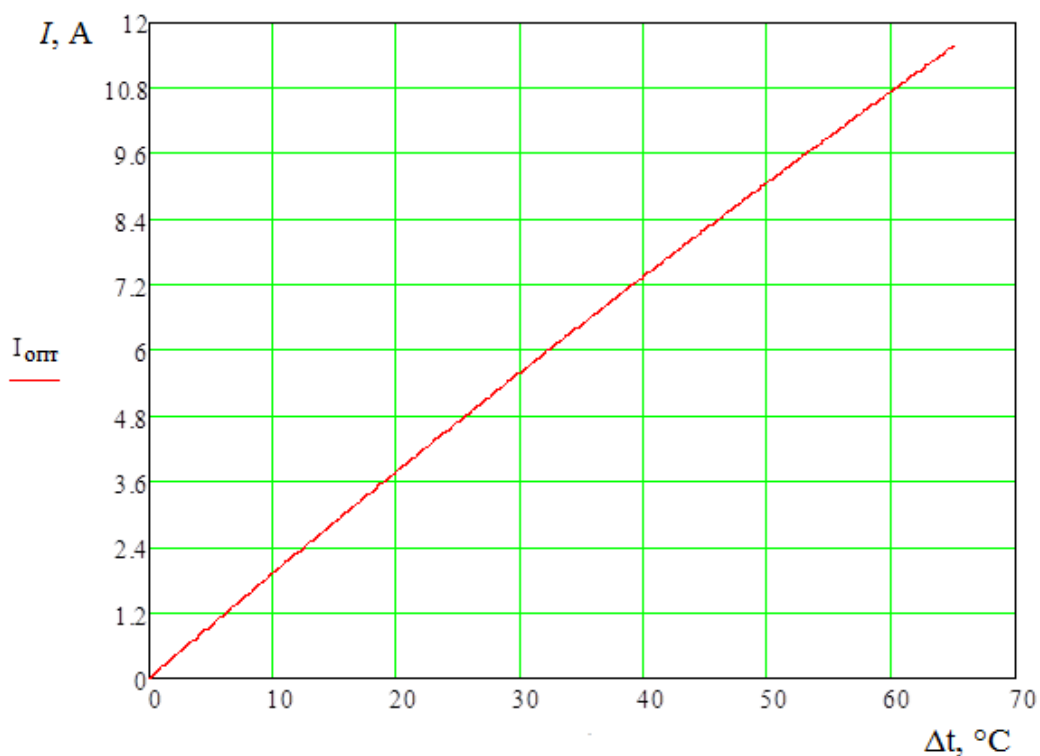


Рис. 4.4. Графік залежності струму $I_{\text{опт}}$ термоелектричного модулю TEC1-12715 при якому COP набуває максимального значення від різниці температур між гарячим і холодним спаєм

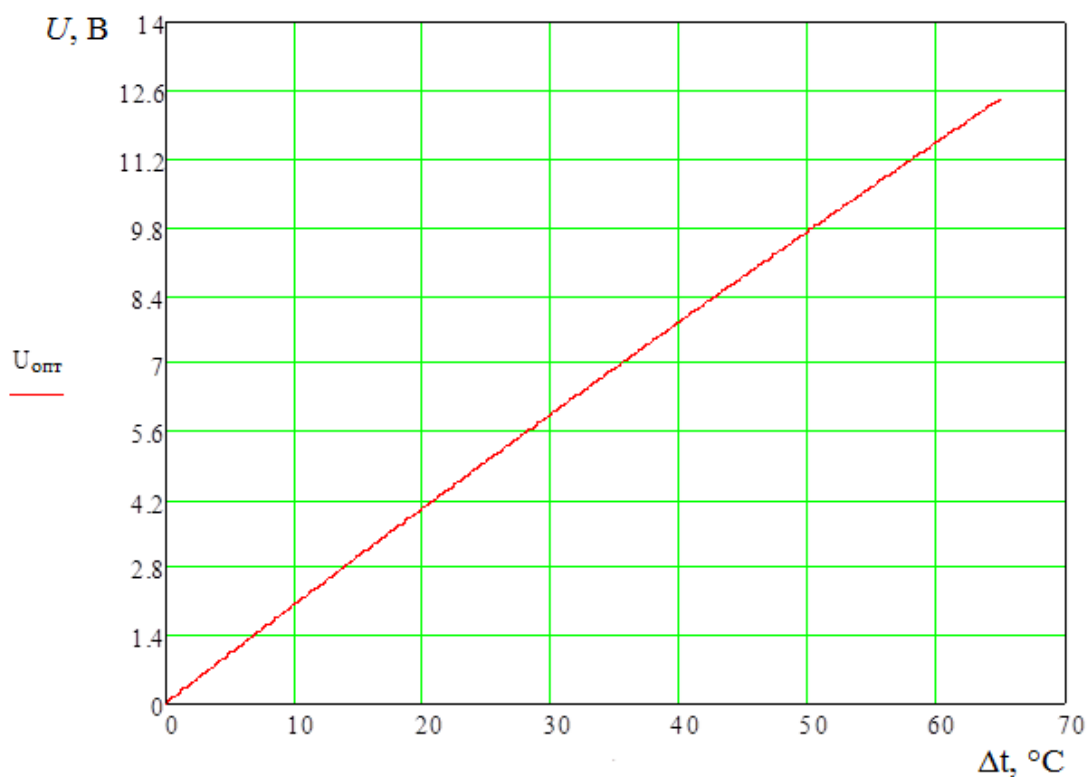


Рис. 4.5. Графік залежності напруги $U_{\text{опт}}$ прикладеної до термоелектричного модулю TEC1-12715 при якому COP набуває максимального значення від різниці температур між гарячим і холодним спаєм

Теплотехнічні характеристики

На рис. 4.6 наведений графік залежності максимумів коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} від різниці температур між гарячим і холодним спаєм.

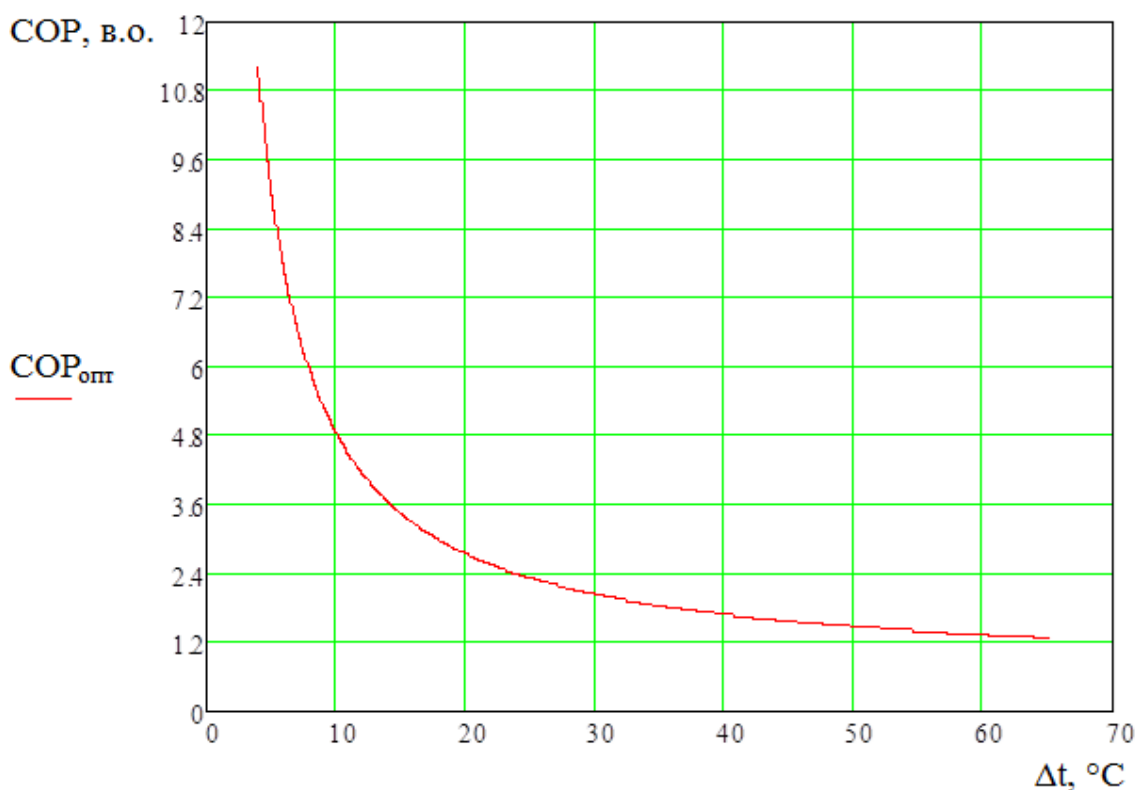


Рис. 4.6. Графік залежності максимального значення коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} від різниці температур Δt між гарячим і холодним спаєм

З графіку рис. 4.4 видно, що при збільшенні різниці температур Δt відбувається швидке падіння максимального значення коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} , що може бути досягнуто. Це пояснюється збільшенням витрат енергії на перевід системи з одного температурного стану в інший (див. пояснення в п. 3.2). Слід також зазначити, що при невеликих перепадах температур до 8 °C коефіцієнт перетворення тепла може сягати значних значень $COP \geq 8$. В межах 8÷15 °C COP не уступає показникам паро-компресійних теплових насосів. Слід зазначити, що так як термоелектричні характеристики не залежать від потужності термоелектричного модулю, а залежать лише від параметрів термоелектричного матеріалу графік наведений на рис. 4.6 буде аналогічним і для термоелектричних модулів різної потужності.

З метою визначення кількості термоелектричних модулів в тепловому насосі, за заданим значенням теплової потужності, необхідно побудувати графік залежності теплової потужності термоелектричного модулю $Q_{\text{опт}}$ в залежності від різниці температур між гарячим та холодним спаєм. Даний графік представлений на рис. 4.7, при його побудові застосована умова максимальної ефективності теплового насосу, тобто максимального значення коефіцієнта перетворення тепла ($\text{COP}_{\text{опт}}$).

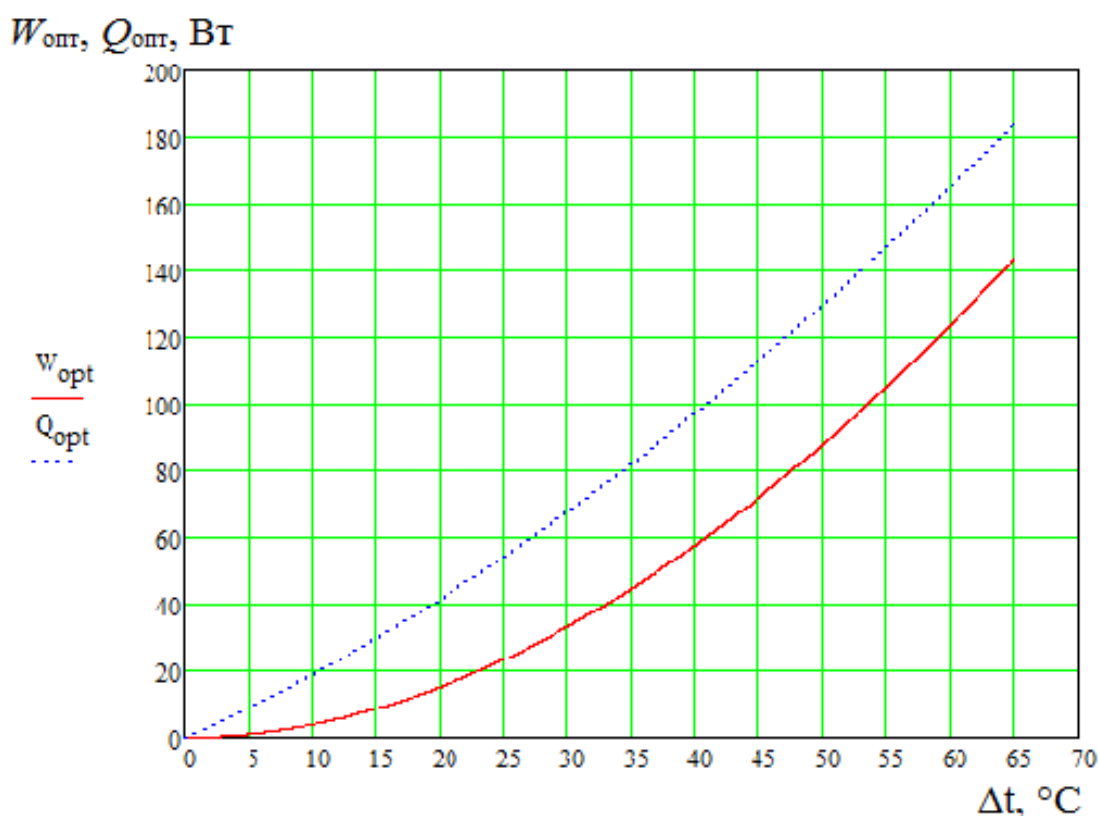


Рис. 4.7. Графік залежності електричної потужності $W_{\text{опт}}$, що споживається термоелектричним модулем TEC1-12715 та теплової потужності $Q_{\text{опт}}$, що виділяється на гарячому спаї за умови максимального коефіцієнта перетворення тепла $\text{COP}_{\text{опт}}$ від різниці температур між гарячим і холодним спаєм

Для вибору потужності блоку живлення термоелектричних модулів необхідно побудувати графік залежності електричної потужності термоелектричного модулю $W_{\text{опт}}$ в залежності від різниці температур між гарячим та холодним спаєм. Даний графік представлений на рис. 4.7, при його побудові також застосована умова максимальної ефективності теплового насосу ($\text{COP}_{\text{опт}}$).

З аналізу графіків наведених на рис 4.7 можна зробити висновок, що в діапазоні різниць температур між гарячим та холодним спаєм $\Delta t = 30 \div 65$ °С теплова потужність $Q_{\text{опт}}$ перевищує електричну $W_{\text{опт}}$ майже на постійну величину, що складає ≈ 40 Вт. При різниці температур близько $\Delta t = 30$ °С теплова потужність перевищує електричну приблизно в двічі, а при менших значеннях різниці температур відношення теплової потужності до електричної (COP) збільшується та набуває суттєвих значень при невеликих різницях температур до $\Delta t = 10$ °С.

Графіки наведені на рис. 4.1-4.7 побудовані при фіксованій температурі холодного спаю в 20 °С. При іншій температурі холодного спаю числові значення теплових характеристик будуть інші, але характер їх залежностей буде аналогічним.

4.3. Вибір кількості каскадів термоелектричного теплового насосу

Враховуючи, що шляхом набору термоелектричної батареї з декількох елементів (каскадування) можливо не тільки збільшити робочу різницю температур, а і підвищити холодильний коефіцієнт або коефіцієнт перетворення тепла (див. п.п. 3.7) дослідимо, як впливає холодильний коефіцієнт окремих модулів ε_i на сумарний коефіцієнт перетворення тепла. При аналізі будемо вважати, що ε_i окремих модулів в каскаді однаковий $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \dots = \varepsilon_n$. Для цього скористаємося (3.27), яка за прийнятих допущень перетвориться на

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{\varepsilon_i}\right)^n - 1}, \quad (4.1)$$

де n – кількість каскадів в термобатарей.

Результати проведених розрахунків сумарного коефіцієнту перетворення тепла каскаду термоелектричних модулів за (3.11) з використанням сумарного холодильного коефіцієнту ε за (4.1) представлені графіками на рис 4.8.

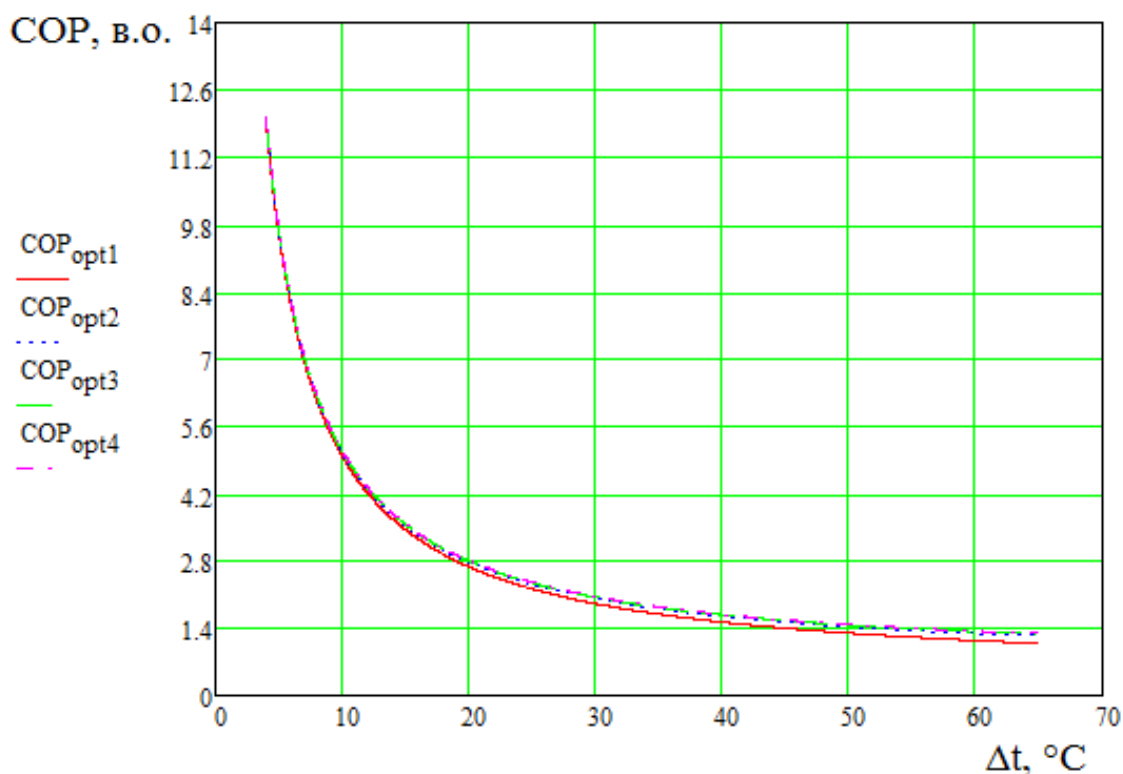


Рис. 4.8. Графіки залежності сумарного коефіцієнту перетворення тепла термоелектричного каскаду модулів TEC1-12715 від різниці температур

З аналізу графіків наведених на рис. 4.8 видно, що до $\Delta t = 30\text{ }^\circ\text{C}$ різниця сумарних коефіцієнтів перетворення тепла для каскадування майже відсутня. Тобто до різниці температур в $30\text{ }^\circ\text{C}$ запровадження каскадування неефективне.

На рис. 4.9 наведена ділянка графіків залежності сумарного коефіцієнту перетворення тепла термоелектричних каскадів від різниці температур в межах $\Delta t = 30\text{--}65\text{ }^\circ\text{C}$. З аналізу графіків наведених на рис. 4.9 видно, що збільшення елементів в каскаді більше двох не призводить до суттєвого підвищення сумарного коефіцієнта перетворення тепла. Відповідно каскадування з кількістю елементів більше двох неефективне.

При побудові графіків представлених на рис. 4.8 та 4.9 фіксувалася температура гарячого спаю на рівні $35\text{ }^\circ\text{C}$, а значення коефіцієнта перетворення тепла окремих термоелектричних модулів в каскаді підтримувалася на максимальному рівні.

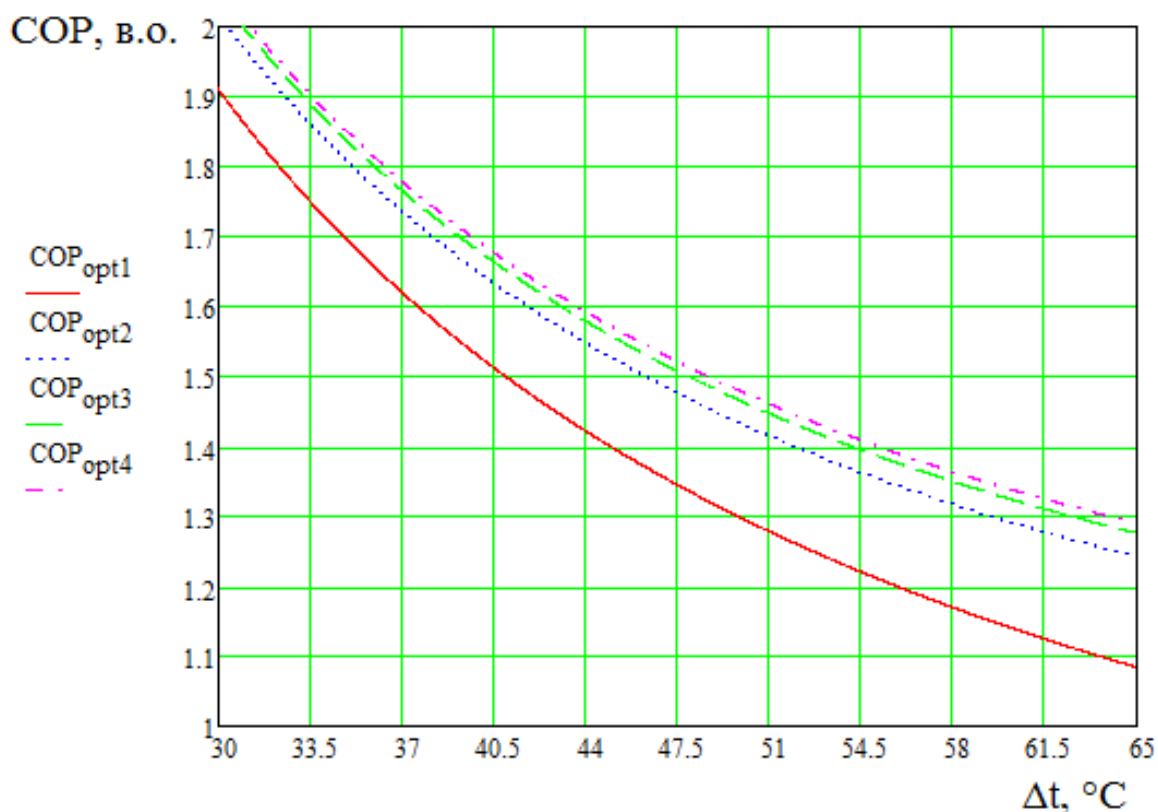


Рис. 4.9. Графіки залежності сумарного коефіцієнта перетворення тепла термоелектричного каскаду модулів TEC1-12715 від різниці температур в межах $\Delta t = 30\text{-}65\text{ }^\circ\text{C}$

4.4. Порівняння теплотехнічних характеристик паро-компресійного та термоелектричного теплового насосу

Для оцінки ефективності термоелектричного теплового насосу порівняємо його теплотехнічні характеристики з паро-компресійним тепловим насосом. В якості теплотехнічної характеристики використаємо залежність коефіцієнта перетворення тепла від температури оточуючого середовища. Типовий графік залежності коефіцієнта перетворення тепла паро-компресійних теплових насосів від температури навколишнього середовища наведено на рис. 4.10.

Для порівняння наведемо на одному графіку залежності коефіцієнта перетворення тепла для різних типів теплових насосів (рис. 4.11). Для цього використаємо дані з рис. 4.10 для вихідної температури в $35\text{ }^\circ\text{C}$ та задамося такою самою постійною температурою на гарячому спаї термоелементу.

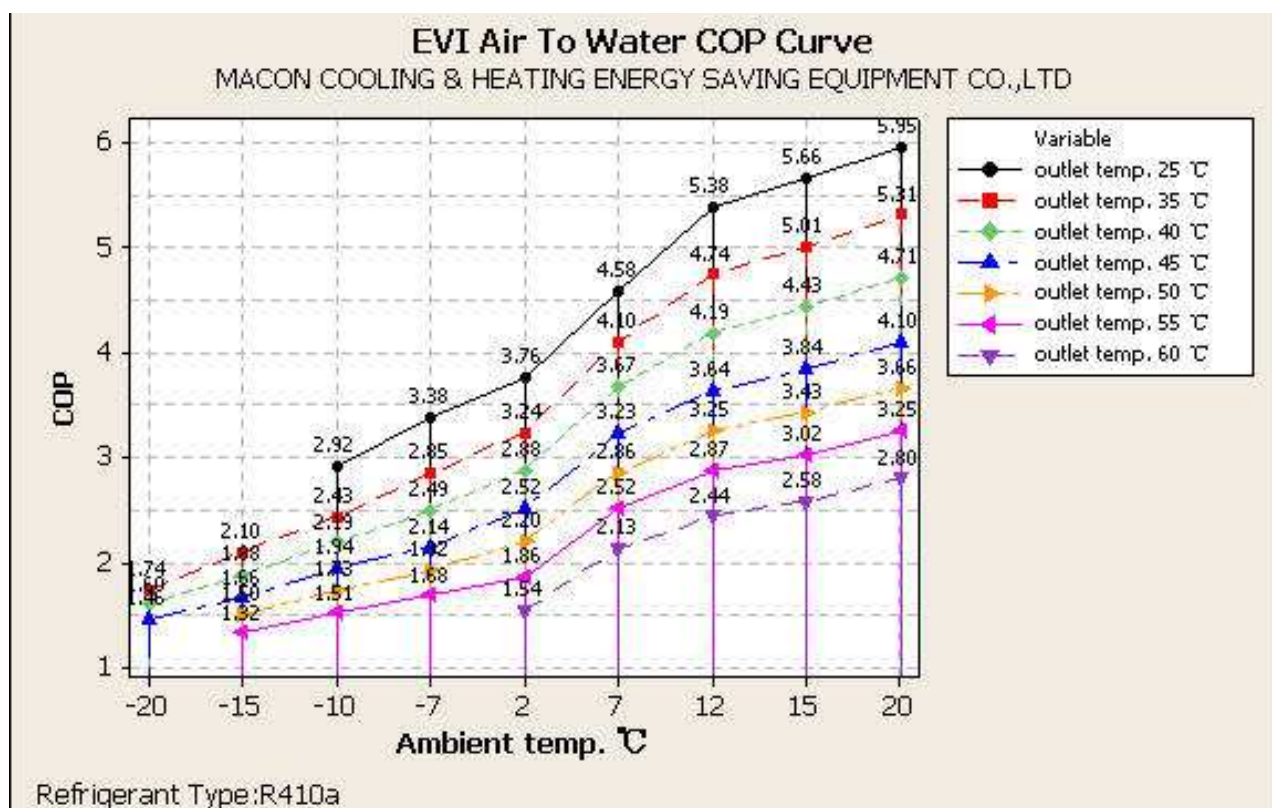


Рис. 4.10. Типові графіки залежності коефіцієнта перетворення тепла (COP) паро-компресійних теплових насосів типу «повітря-вода» в залежності від температури зовнішнього середовища та вихідної температури

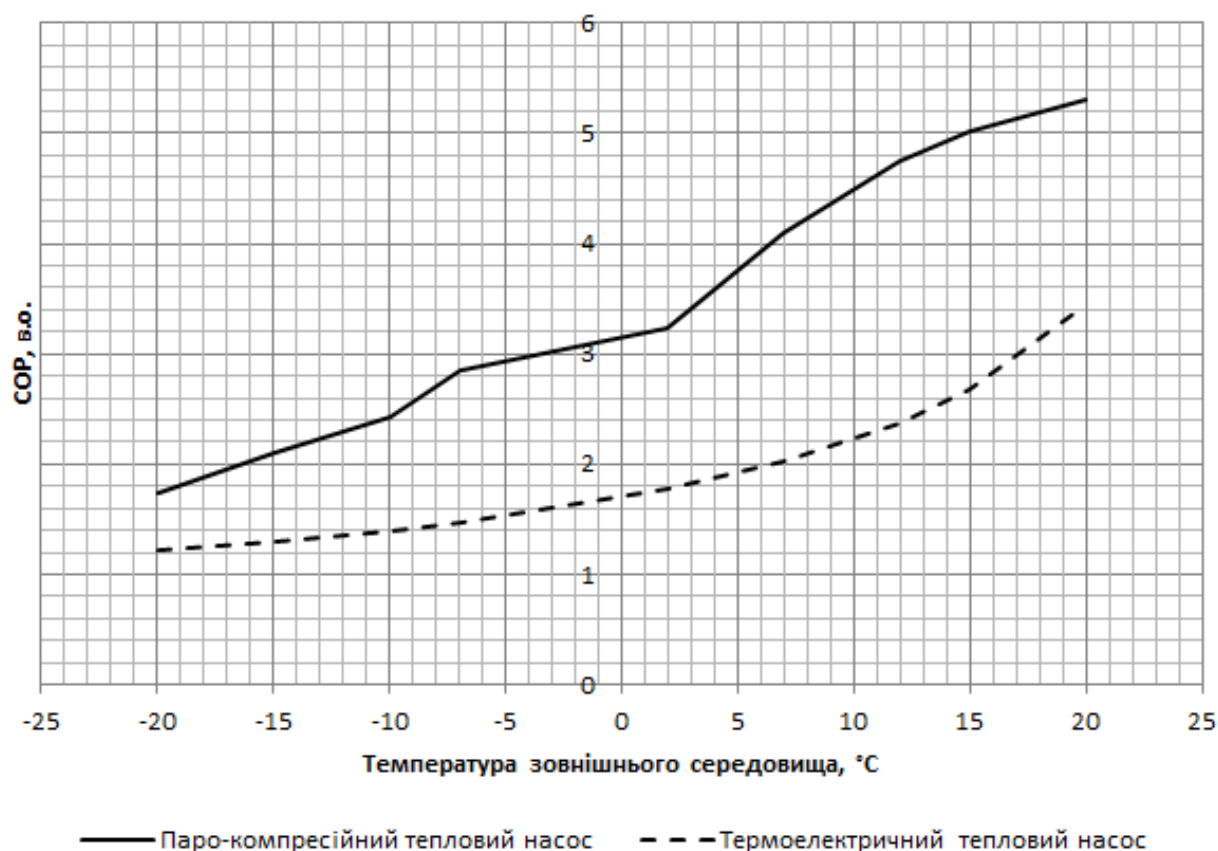


Рис. 4.11. Графіки залежності коефіцієнта перетворення тепла від температури зовнішнього середовища для різних типів теплових насосів при фіксованій вихідній температурі 35 °C

Аналізуючи графік рис. 4.11 можна зробити висновок, що ефективність термоелектричного теплового насосу уступає паро-компресійному на всьому діапазоні зовнішніх температур. Це пояснюється швидким падінням коефіцієнту перетворення тепла для термоелектричного теплового насосу в діапазоні різниць температур до 15 °С (рис. 4.6). Отже, термоелектричний тепловий насос буде ефективніше паро-компресійного лише при різниці температур між джерелом тепла і споживачем менше 10 °С.

Втім, слід зазначити, що термоелектричний тепловий насос споживатиме менше електричної енергії в порівнянні зі звичайним електричним обігрівачем, тому для остаточного вирішення питання, щодо ефективності термоелектричного теплового насосу слід провести техніко-економічне порівняння різних варіантів теплопостачання.

4.5. Проектування системи теплопостачання з термоелектричним тепловим насосом потужністю 2 кВт

Обране значення теплової потужності на опалення 2 кВт відповідає опаленню житлового приміщення площею до 40 м², що відповідає площі стандартних однокімнатних та малогабаритних двокімнатних квартир.

Система теплопостачання з термоелектричним тепловим насосом (рис. 4.12) складається з зовнішнього повітряного теплообмінника 1, термоелектричного теплового насосу 2, насосу для перекачування антифризу 3, насосу для перекачування води в системі опалення 4, радіаторів системи опалення або теплої підлоги 5, блоку живлення з системою керування 6.

Для забезпечення заданої теплової потужності розрахуємо необхідну кількість термоелектричних модулів теплового насосу за формулою

$$n = \frac{Q}{Q_m} = \frac{2000}{201,4} = 9,93 \approx 10 \text{ шт.}, \quad (4.2)$$

де Q – задана теплова потужність системи опалення при розрахунковій температурі зовнішнього середовища (-21 °С) $Q = 2$ кВт;

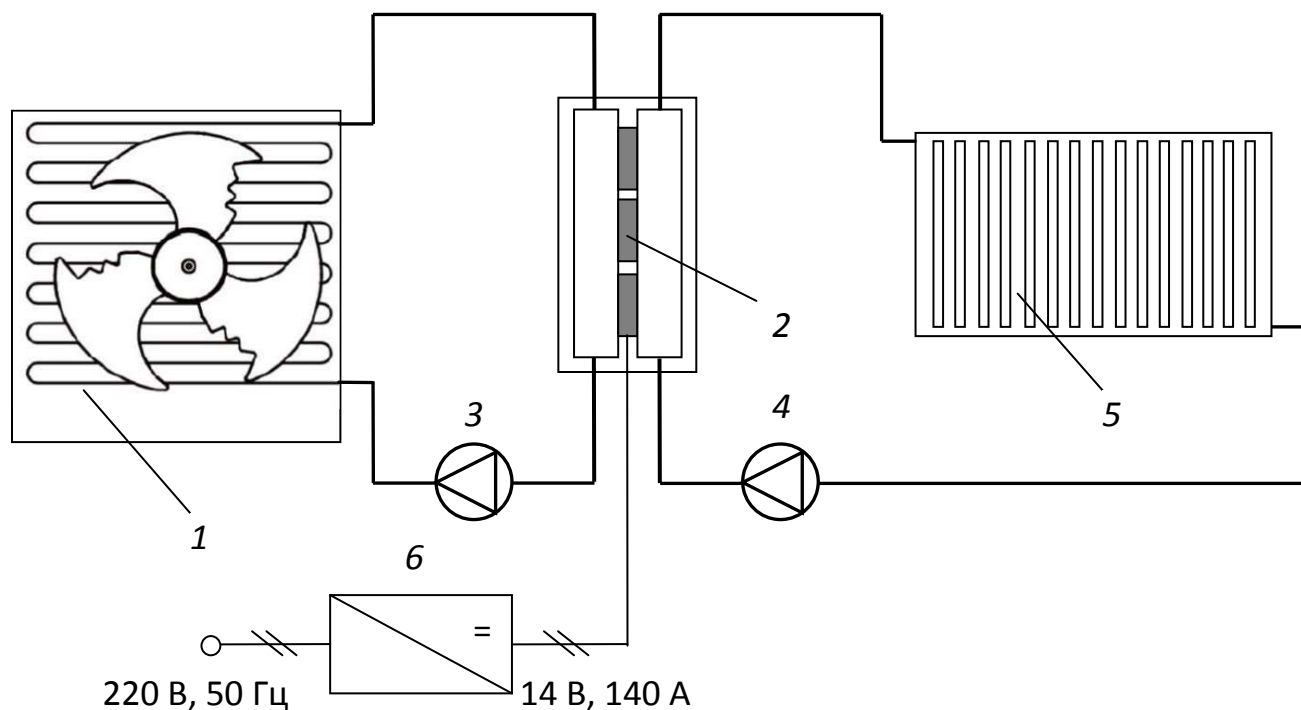


Рис. 4.12. Технологічна схема системи тепlopостачання з використанням термоелектричного теплового насосу

Q_m – теплова потужність одного термоелектричного елемента при розрахунковому значенні різниці температур між гарячим та холодним спаєм ($\Delta t = 65^\circ\text{C}$ див. п. 4.1) $Q_m = 201,4$ Вт (визначено при температурі гарячого спаю $T_1 = 34^\circ\text{C}$ та $\Delta t = 65^\circ\text{C}$).

Визначимо необхідну електричну потужність блоку живлення для забезпечення струмом термоелектричних модулів за формулою

$$P = n \cdot P_m = 10 \cdot 186,4 = 1864 \text{ Вт}, \quad (4.3)$$

де P_m – електрична потужність одного термоелектричного елемента при розрахунковому значенні різниці температур між гарячим та холодним спаєм $P_m = 186,4$ Вт (визначено при температурі гарячого спаю $T_1 = 34^\circ\text{C}$ та $\Delta t = 65^\circ\text{C}$).

Максимальний струм, що споживатиметься від блоку живлення визначимо за формулою

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1864}{13,4} = 139,1 \text{ А}, \quad (4.4)$$

де U – напруга на термоелектричному елементі при розрахунковому значенні різниці температур між гарячим та холодним спаєм $U = 13,4$ В (визначено при температурі гарячого спаю $T_1 = 34$ °С та $\Delta t = 65$ °С).

Отже, вимоги до керованого джерела живлення

$$U_{\max} = 14 \text{ В}, I_{\max} = 140 \text{ А}.$$

Зовнішній повітряний теплообмінник повинен забезпечувати необхідну теплову потужність при прийнятій різниці температури $\Delta t = 10$ °С. Враховуючи, що теплова потужність, що відбирається від зовнішнього теплообмінника Q_T менша теплової потужності Q на величину електричної потужності W і є функцією різниці температур Δt між гарячим і холодним спаєм термоелементів

$$Q_T(\Delta t) = Q(\Delta t) - W(\Delta t), \quad (4.5)$$

то для визначення максимальної теплової потужності зовнішнього теплообмінника побудовано графік залежності його теплової потужності в функції різниці температур між гарячим і холодним спаєм термоелементів на один термомодуль рис. 4.13.

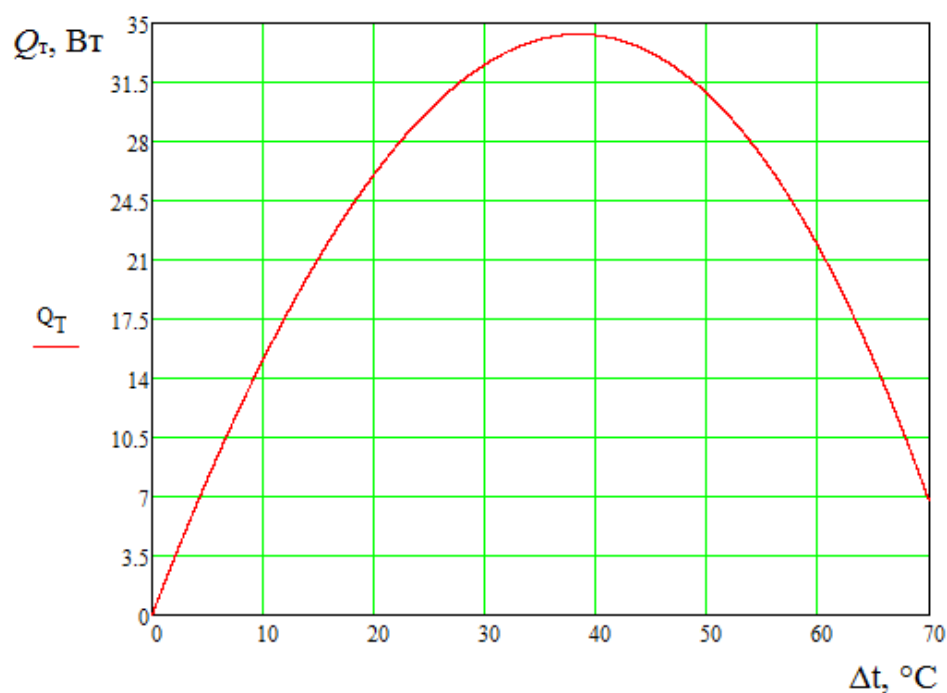


Рис. 4.13. Графік залежності теплової потужності, що споживається від теплообмінника від різниці температур між гарячим і холодним спаєм термоелементу (на один термомодуль TEC1-12715)

З графіку наведеного на рис. 4.13 визначено, що максимальна теплова потужність, що споживається від теплообмінника складає $Q_{T \max} = 34,3$ Вт при $\Delta t = 37,45$ °С.

Отже, максимальна теплова потужність, що споживатиметься від зовнішнього теплообмінника тепловим насосом

$$Q_T = n \cdot Q_{T \max} = 10 \cdot 34,3 = 343 \text{ Вт.} \quad (4.6)$$

Вимоги до зовнішнього теплообмінника

$$Q_T = 350 \text{ Вт при } \Delta t = 10 \text{ °С.}$$

Розрахункова витрата антифризу циркуляційним насосом 3 визначена за формулою:

$$G_T = \frac{Q_T}{c \Delta \tau} = \frac{350}{4190 \cdot 1} = 0,084 \text{ кг/с.} \quad (4.7)$$

де $\Delta \tau$ – різниця температур антифризу в прямому і зворотному трубопроводі теплообміннику теплового насосу 2 (рис. 4.12), $\Delta \tau = 1$ °С;

c – теплоємність антифризу (прийнята рівною теплоємності води) $c = 4,19$ кДж/(кг·°С).

Розрахункова витрата води циркуляційним насосом 4 визначена за формулою:

$$G = \frac{Q}{c \Delta \tau} = \frac{2000}{4190 \cdot 1} = 0,477 \text{ кг/с.} \quad (4.8)$$

де $\Delta \tau$ – різниця температур води в прямому і зворотному трубопроводі теплообміннику теплового насосу 2 (рис. 4.12), $\Delta \tau = 1$ °С;

c – теплоємність води $c = 4,19$ кДж/(кг·°С).

Отже, циркуляційний насос антифризу повинен мати розрахункову витрату

$$G_T = 0,084 \text{ кг/с або } V_T = 0,084 \text{ л/с} = 302,4 \text{ л/год.}$$

Циркуляційний насос води повинен мати розрахункову витрату

$$G = 0,477 \text{ кг/с або } V = 0,477 \text{ л/с} = 1717,2 \text{ л/год.}$$

У випадку використання теплового насосу для охолодження приміщення необхідно щоб циркуляційний насос антифризу мав витрату рівну розрахунковій витраті води, а зовнішній теплообмінник повинен мати теплову потужність рівну тепловій потужності на опалення (за умови рівності потужності опалення і охолодження).

4.6. Висновки

При виборі розрахункової різниці температур між гарячим та холодним спаєм термоелементів прийняті наступні умови: розрахункова температура зовнішнього середовища $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає I температурній зоні України; температура теплоносія для обігріву $34\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає максимальному значенню для теплої підлоги; падіння температури на зовнішньому теплообміннику $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отже, розрахункове значення різниці температур складає $65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розраховані параметри термоелектричного матеріалу термомодулів різної потужності за їх технічними характеристиками. Отримані значення параметрів термоелектричного матеріалу можна використовувати для розрахунку термоелектричних характеристик термомодулів. Параметри, які характеризують термоматеріал залишаються приблизно постійними та не залежать від потужності термоелектричного модулю, що пояснюється використанням однакового термоелектричного матеріалу.

Побудовано сімейство вольт-амперних характеристик термоелектричного модулю TEC1-12715 при різних перепадах температур між гарячим і холодним спаєм. Серед термоелектричних характеристик побудовані графіки залежності коефіцієнта перетворення тепла (COP) від різниці температур між гарячим і холодним спаєм та струму, що споживається термоелектричним модулем. З цих графіків видно, що при кожній конкретній різниці температур між гарячим і

холодним спаєм при певному значенні струму, що протікає крізь термоелектричний модуль коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення. Тобто графік залежності $COP = f(I)$ має явно виражений максимум. Побудовані графіки залежності струму, що протікає крізь модуль та напруги прикладеної до термоелектричного модулю при яких коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення, від різниці температур між гарячим і холодним спаєм. Дані графіки дозволяють розробити закон керування блоком живлення термоелектричних модулів для підтримання максимальної ефективності теплового насосу. Побудований графік залежності максимумів коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} від різниці температур між гарячим і холодним спаєм. З цього графіку видно, що при збільшенні різниці температур Δt відбувається швидке падіння максимального значення коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} , який може бути досягнутий. Слід також зазначити, що при невеликих перепадах температур до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт перетворення тепла може сягати значних значень $COP \geq 8$. В межах $8\div 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ COP не уступає показникам паро-компресійних теплових насосів.

Побудовані графіки залежності теплової та електричної потужності термоелектричного модулю TEC1-12715 в залежності від різниці температур між гарячим та холодним спаєм. Дані графіки дозволяють обчислити теплову потужність термоелектричного теплового насосу за заданим значенням перепаду температур та визначити необхідні параметри джерела живлення.

З аналізу графіків залежності коефіцієнта перетворення тепла від кількості каскадів термобатарей, видно що до різниці температур в $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ запровадження каскадування неефективне. В межах $30\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ збільшення елементів в каскаді більше двох не призводить до суттєвого підвищення сумарного коефіцієнта перетворення тепла. Відповідно каскадування з кількістю елементів більше двох неефективне.

Аналіз ефективності термоелектричного теплового насосу показує, що він уступає паро-компресійному на всьому діапазоні робочих зовнішніх температур. Це пояснюється швидким падінням коефіцієнту перетворення тепла для

термоелектричного теплового насосу в діапазоні різниць температур до 15 °С. Втім, слід зазначити, що термоелектричний тепловий насос споживатиме менше електричної енергії в порівнянні зі звичайним електричним обігрівачем, тому для остаточного вирішення питання, щодо ефективності термоелектричного теплового насосу слід провести техніко-економічне порівняння різних варіантів теплопостачання.

Спроектована система теплопостачання з термоелектричним тепловим насосом потужністю 2 кВт, що відповідає опаленню житлового приміщення площею до 40 м². Обчислені технічні параметри елементів системи теплопостачання.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Охорона праці під час використання теплового насосу

Забезпечується технічно справний стан теплового насоса. Проводиться, щоквартальне технічне обслуговування і щомісячна перевірка рівня холодоагенту в ресивері і масла в компресорі. Нормальні параметри роботи теплового насоса записані в журналі і раз на місяць звіряються з реальними для виявлення неполадок. У журнал, який веде господар будинку вносяться всі істотні маніпуляції, які проводилися з тепловим насосом (заправка фреоном, заміна фільтрів, і т.д.).

Обслуговують установку особи мають відповідну кваліфікацію за професією (спеціальністю), що пройшли в установленому порядку навчання, стажування, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці. Робітники, допущені до експлуатації холодильної установки, знають:

- можливий вплив шкідливих і (або) небезпечних виробничих факторів;
- улаштування і принцип дії холодильної установки, що обслуговується;
- схеми і натурне розміщення трубопроводів холодильної системи;
- характеристики і властивості холодильного агента;
- вимоги локальних нормативних правових актів, що регламентують безпечну експлуатацію холодильних установок;
- порядок заповнення та спорожнення холодильних установок холодильним агентом;
- порядок і прийоми дії в аварійних ситуаціях;
- правила користування засобами індивідуального захисту, інструментом і пристосуваннями.

У приміщенні де встановлений тепловий насос на видному місці вивішені:

- принципові технологічні схеми трубопроводів з розміщенням на них холодильного та технологічного обладнання з пронумерованою запірною арматурою, нанесенням місць розміщення контрольно-вимірювальних приладів і автоматики;

- плани розміщення холодильного та технологічного обладнання, трубопроводів та запірної арматури;
- графік технічного обслуговування і ремонту устаткування холодильних установок;
- телефони осіб, відповідальних за експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт холодильних установок, швидкої медичної допомоги, органів і підрозділів з надзвичайних ситуацій, аварійно-рятувальних служб та інших спеціальних підрозділів, які повинні бути негайно повідомлені про аварію або пожежу;
- покажчики місцезнаходження аптечки першої медичної допомоги та засобів індивідуального захисту.

Машинне відділення достатніх розмірів, щоб усе приладдя холодильних установок були легкодоступними і знаходилися на достатній відстані для того, щоб належним чином забезпечувати догляд за ним і експлуатацію. Двері в даному приміщенні добре підігнані і відкриваються у бік виходу. Підлога в даному приміщенні горизонтальна, негорюча, така що не піддається швидкому зносу, маслостійка і неслизька. Освітлення відповідає вимогам технічних нормативних правових актів і забезпечує його достатньою освітленістю для безпечного виконання робіт.

При експлуатації теплового насоса виконуються вимоги, що забезпечують зниження впливу на людей шкідливих і (або) небезпечних виробничих факторів:

- підвищеної або зниженої температури поверхні установки;
- підвищеного тиску холодильного агента в апаратах і трубопроводах;
- підвищеного рівня шуму;
- підвищеного рівня вібрації;
- замикання електричних ланцюгів через тіло людини;
- недостатнього освітлення робочих зон.

Матеріали, що застосовуються для конструювання, зварювання та пайки систем, відповідають вимогам хімічного, механічного та температурного впливу на них. Матеріал, товщина стінок, межа міцності, пластичність, корозійна стійкість,

формування та методи випробувань труб відповідають вибраному холодильному агенту, холодоносію і тиску, механічного та температурного напруженням, передбаченим робочими умовами. При виконанні монтажних робіт холодильних установок дотримуються вимог технічних кодексів усталеної практики "Технологічне обладнання. Правила монтажу і випробувань" (ТКП 45-3.05-166-2009 (02250) і "Технологічні трубопроводи. Правила монтажу і випробувань" (ТКП 45-3.05-167 -2009 (02250), інших нормативно-правових актів, технічних нормативів їх правових актів, проектної документації.

Тепловий насос вибирається на підставі теплотехнічних і гідравлічних розрахунків відповідно до вимог технічних нормативних правових актів, проектною документацією. При експлуатації холодильних установок дотримуються вимоги Правил будови і безпечної експлуатації технологічних трубопроводів, правил будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском, технічного кодексу усталеної практики ТКП 181-2009 "Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів", інших нормативно-правових актів, технічних нормативних правових актів, експлуатаційних документів. Також під час експлуатації проводиться візуальний огляд обладнання холодної установки, перевірка її герметичності, очищення поверхні від бруду і пилу. Не використовуються ртутні термометри. Витоку шукаються за допомогою течепошукачів і мильної піни. При виявленні витоку холодної агента, видаляється холодної агент з пошкодженої ділянки холодної установки, попередньо зупинивши її, перекривши запірну арматуру пошкодженої ділянки, включити витяжну вентиляцію і усунути витік. У разі перерви в роботі холодної установки в зимовий час, при небезпеки замерзання води, остання віддаляється з усіх машин і апаратів з водяним охолодженням, а також з водяних магістралей.

Технічне обслуговування, ремонт холодної установки здійснюється відповідно до вимог нормативних правових актів, технічних нормативних правових актів, експлуатаційних документів. Застосування зварювання і пайки при ремонті устаткування холодної установки, в якій знаходиться холодної агент, проводиться після його відключення і звільнення від холодної агента при

наявності наряду-допуску, виданого в установленому порядку. Мостила застосовуються відповідно до технічних нормативно-правових актів, експлуатаційних документів.

Системи контролю, автоматичного і дистанційного керування (системи управління), протиаварійного автоматичного захисту, в тому числі що поставляються комплектно з обладнанням холодильних установок, відповідають вимогам технічних нормативно-правових актів, проектної документації і забезпечують задану точність підтримки технологічних параметрів, надійність і безпеку експлуатації холодильної установки. Системи контролю, управління і протиаварійного автоматичного захисту холодильної системи розміщуються в місцях, зручних і безпечних для обслуговування, що виключають неприпустиму вібрацію, механічні та інші шкідливі впливи, що впливають на точність і надійність. При монтажі, використанні за призначенням холодильної установки тиск в будь-якій її частині не вище допустимого тиску. Для запобігання підвищенню тиску при роботі холодильної установки використані обмежувачі тиску різного типу (захисні пристрої).

Холодильна установка оснащена справними системами протиаварійного захисту, що зупиняють компресор або які блокують його пуск при досягненні гранично допустимих значень контрольованих параметрів, передбачених організацією-виробником або проектною документацією. Система протиаварійного захисту та системи управління холодильної установки виключають ризик небезпечного впливу на людей, зайнятих обслуговуванням холодильної установки. Справність приладів протиаварійного захисту компресора холодильної установки перевіряється в терміни, передбачений організацією-виробником і проектною документацією. Холодильна установка оснащена реле високого тиску, що зупиняє компресор при підвищенні тиску нагнітання до певної заданої величини. Системи протиаварійного захисту мають замкнутий вихідний ланцюг або замкнуті контакти при нормальному стані контрольованих параметрів. Контакти цих приладів розмикаються в разі їх спрацювання. Електричні схеми холодильної установки повинна виключати можливість автоматичного пуску компресора після

спрацьовування систем протиаварійного захисту. Пуск його повинен бути можливий тільки після ручного деблокування протиаварійного захисту.

Перед заповненням холодильної установки холодильним агентом впевнилися в тому, що в балоні міститься відповідний холодильний агент. Відкривати колпачкову гайку на вентилі балона необхідно в захисних окулярах. При цьому вихідний отвір вентиля балона направлено в сторону від працюючого. При заповненні холодильної установки холодильним агентом користуємося осушувальним патроном. Залишати балони з холодильним агентом приєднаними до холодильної установки, якщо не проводиться заповнення або видалення з неї холодильного агента, забороняється. У машинному відділенні холодильної установки допускається зберігати не більше одного балона з холодильним агентом. Балон з холодильним агентом забороняється розміщувати біля печей, опалювальних пристроїв, парових труб, інших джерел тепла і струмоведучих кабелів і проводів. Для наповнення холодильним агентом з холодильної установки використовуватися тільки балони з непростроченої датою їх технічного огляду та відповідним маркуванням. Норма заповнення не повинна перевищувати допустимих значень. Перевірка наповнення балонів виконуватися зважуванням. Перше заповнення холодильної установки холодильним агентом оформляється актом з додатком розрахунку необхідної кількості холодильного агента. У разі відсутності витoku холодильного агента при транспортуванні холодильної установки повної заводської готовності акт про первинне заповнення холодильної установки холодильним агентом не складається.

Проїзди до будинку не перекрито і не захищені для пожежної аварійно-рятувальної техніки. У зимовий час проїзди регулярно очищаються від снігу.

У в'їзду на територію садівничого товариства вивішені схеми з нанесеними на них як діючими, так і тими, що будуються і тимчасовими будівлями (спорудами), в'їздами, під'їздами, пожежними проїздами, місцезнаходження джерел протипожежного водопостачання. При механізованому відкритті в'їзних воріт вони мають пристрій, що забезпечує можливість ручного відкривання.

В межах нормативно встановлених протипожежних розривів між будівлями

і спорудами не складаються горючі матеріали, будівництво тимчасових і установка мобільних будівель (споруд), а також стоянка транспортних засобів.

Територія об'єкта очищена від сухої трави та листя, що згорає сміття і відходів, що володіють пожежовибухонебезпечними і пожежонебезпечними властивостями (далі - відходи). На майданчику, що прилягає до будівлі (споруди), і в протипожежних розривах періодично викошувати трава. На території об'єкта скошена трава сушиться і складається в спеціально відведеному для цих цілей місці. Рослинність, стерня не випалюється.

Для збору відходів споживання і сміття на ділянці встановлені контейнери з кришками. Контейнери для відходів споживання виконані з негорючих матеріалів.

На ділянці допускається відкрите зберігання відходів у спеціально обладнаному місці (площадці) на відстані не менше 30 м від меж будівель (споруд) і відкритого майданчика зберігання в достатній кількості.

Контейнерний майданчик має з трьох сторін по периметру огорожу з негорючих матеріалів висотою вище ємностей для збору відходів і тверде покриття з негорючих матеріалів в межах огорожі.

У будівлі (споруді) та приміщенні заборонено застосування:

- піротехнічних виробів;
- відкритого вогню в сценічних постановках (свічки, факели та інші ефекти із застосуванням вогню).

Горище приміщення міститься в чистоті. Приміщення, будівельні конструкції і комунікації очищаються від пилу і горючих відкладень. Очищення від горючих відкладень не проводиться пожежонебезпечними методами (випалюванням, за допомогою іскроутворюючого інструменту). Сміття щодня віддаляється на спеціально відведене та обладнане для цих цілей місце.

З метою швидкого відкривання дверей в технічне приміщення будівлі є комплект ключів з номерними бірками. Ключі знаходяться в доступних для отримання в будь-який час доби місцях.

У будівлі не встановлені глухі ґрати на вікнах, а також не закладені віконні прорізи і не захищені підступи до них з метою забезпечення безпечної евакуації,

при необхідності.

Зберігання (складування) речовин і матеріалів здійснюється з урахуванням їх агрегатного стану, сумісності зберігання. Не застосовуються і не зберігаються речовини і матеріали невідомого складу і з невивченими пожежовибухонебезпечними властивостями.

Зберігання продукції в будівлі здійснюється із забезпеченням вільного доступу для контролю за її станом. Проходи між ділянками зберігання утримуватись вільними. Дотримуються проходи між ділянками зберігання шириною не менше 1 м.

Блискавкозахист будівлі (споруди), пристрої захисту від статичної електрики міститися в справному стані.

Під час грози не проводиться ремонт блискавкозахисних пристроїв.

При експлуатації електроустановок:

- не застосовуються нестандартні (саморобні) електронагрівальні прилади;
- не застосовуються електронагрівальні прилади, які не мають пристроїв теплового захисту (автоматичного відключення), без підставок з негорючих теплоізоляційних матеріалів, а також при відсутності в них або несправності терморегуляторів, передбачених конструкцією, що виключають можливість виникнення пожежі;
- не допускається використовувати електрообладнання в умовах, що не відповідає вимогам експлуатаційної документації виробників, або використовувати електрообладнання, що має несправності;
- не допускається струмове навантаження електромережі;
- не прокладаються електричні дроти та кабелі по повітроводам і трубопроводам;
- не обклеюються і не фарбуються електричні дроти та кабелі;
- не допускається встановлення і експлуатація тимчасової електропроводки, крім тимчасових ілюмінаційних установок, а також електропроводок, що живлять місця виконання будівельно-монтажних, ремонтних та аварійно-відновлювальних робіт;

- не використовуються проводи та кабелі з пошкодженою або такою, що втратила свої захисні властивості ізоляцією;
- не використовуються пошкоджені (несправні) комутаційні апарати, апарати захисту, роз'ємні контактні з'єднання, відгалужувальні коробки та інші електроустановочні вироби;
- не застосовуються в якості електромереж радіо- та телефонні проводи;
- не експлуатуються відкриті розподільні електрощити і пускорегулюючі апарати;
- не застосовуються для захисту електромереж та електрообладнання замість автоматичних запобіжників і каліброваних плавких вставок захисту не заводського (кустарного) виготовлення (скручування дроту, «жучки» та ін.);
- не використовуються в підсобних приміщеннях з наявністю горючих матеріалів, горючої упаковки світильники без захисних ковпаків;
- не допускається безпосереднє з'єднання між собою жил електричних проводів (кабелів), виконаних з різномірних матеріалів (мідь і алюміній).

При експлуатації ручного електромеханічного інструменту і переносного електрообладнання застосовуються заходи захисту їх кабелів від механічних пошкоджень.

Чи не залишається без нагляду увімкнені в електромережу електричні прилади та обладнання, за винятком приладів, експлуатаційними документами на які допускається їх робота без нагляду. Після закінчення роботи всі електроустановки в будівлі (споруді) відключаються, за винятком чергового освітлення, джерел електроживлення УПА, систем оповіщення та управління евакуацією, систем протидимного захисту, а також електроустановок, які за умовами технологічного процесу повинні працювати цілодобово.

Переносні електричні світильники обладнані скляними ковпаками і металевими сітками. Для цих світильників та іншого переносного і пересувного електрообладнання застосовуються переносні гнучкі кабелі з мідними жилами, гумовою ізоляцією, в оболонці, стійкій до навколишнього середовища.

Відстань від світильників з лампами розжарювання і електричних приладів

до горючих матеріалів не менше 0,5 м.

Перед початком опалювального сезону теплогенеруючі апарати і опалювальні прилади перевірені та відремонтовані.

При експлуатації котельних установок, теплогенеруючих апаратів і опалювальних приладів забороняється:

- сушка і складування на них і трубопроводах одягу або інших горючих матеріалів. Відстань до горючих матеріалів в напрямку випромінювання має бути не менше 1,25 м;

- закриття цільної засувки димоходу печі (каміна) проводиться тільки після повного згоряння палива або після видалення вугілля (золи) з печі (каміна).

Перед початком опалювального сезону димоходи печі очищаються від сажі. Подальша їх очищення проводиться не рідше: одного разу на 3 місяці - для опалювальних печей.

Печі, поверхні труб і стін, в яких проходять димові канали справні, без тріщин, а на горищах - оштукатурені й побілені.

Зола і шлак, які вигрібаються з топки, проливаються водою і видаляються в місце, розташоване на відстані не менше 15 м від будівлі (споруди). А також складається зола, шлак в контейнерах, що виготовлені з негорючих матеріалів, і щільно закривається кришкою, які розташовуються на відстані не менше 6 м від будівлі (споруди).

При експлуатації пічного опалення не допускається:

- використовувати для топки печі дрова, довжина яких перевищує розміри топки;

- топити піч з відкритими дверцятами;

- перегартовувати піч;

- залишати без нагляду піч, а також доручати нагляд за нею дітям;

- топити вугіллям, коксом і газом піч, не призначену для цих видів палива;

- експлуатувати піч при відсутності стаціонарного захисту підлоги з горючих матеріалів негорючим листовим або плитних матеріалом розмірами не менше 0,7 x 0,5 м, що розташовується довгою його стороною уздовж печі.

При експлуатації вентиляційних систем: не допускається:

- не порушується цілісність повітропроводів і їх з'єднань;
- не підключаються до них газові опалювальні прилади;
- не підключаються до них не передбачені проектом відгалуження;
- не відключати чи не знімати вогнезатримуючі пристрої;
- не зачиняються витяжні канали, отвори й решітки.

Розміщувати первинні засоби пожежогасіння на ділянці необхідно на видному місці, з урахуванням забезпечення вільного доступу до них. Первинні засоби на території будівлі (поза приміщенням) групуються в спеціально пристосованому місці на пожежному щиті, захищаючи їх від впливу атмосферних опадів.

Розміщення первинних засобів пожежогасіння не повинно перешкоджати безпечній евакуації людей. Переносний вогнегасник розміщується на відстані від дверей, достатній для її повного відкривання, і на висоті не більше 1,5 м від рівня підлоги (до нижньої частини вогнегасника).

Протипожежне полотнище просушується і очищається від пилу не рідше ніж один раз на 3 місяці.

Запірна арматура вогнегасника (крани, важільні клапани) опломбована. Вогнегасники із зірваними пломбами вилучаються для перевірки і перезарядки.

Зарядка, огляд і перезарядка вогнегасника виконується відповідно до технічних умов, паспортом виробника або інструкцією по експлуатації. При періодичній перевірці, в разі виявлення невідповідностей встановлених параметрів усуваються виявлені відхилення і перезаряджається вогнегасник.

Вогнегасники не встановлені в таких місцях, де значення температури виходять за температурний діапазон, вказаний на вогнегаснику.

На території споруджуваного будинку не допускалось знаходження (проживання) робітників, службовців та інших осіб поза робочим часом (за винятком осіб, які здійснюють цілодобове чергування (охорону)).

Внутрішній протипожежний водогін був введений в дію до початку опоряджувальних робіт, а автоматичні системи пожежогасіння й сигналізації - до

моменту пусконаладжувальних робіт (у кабельних спорудах - до укладання кабелів).

5.2. Розрахунок блискавкозахисту

Найбільш небезпечним при появі блискавки з точки зору ураження будівель є прямий удар. Очікуване число уражень блискавкою в рік будівель і споруд висотою не більше 60 м, не обладнаних грозозахистом і які мають незмінну висоту, визначають за формулою:

$$N = (B + 6h_x)(L + 6h_x)n \cdot 10^{-6},$$

де B – ширина об'єкту, що захищається, м;

L – довжина об'єкту що захищається, м;

h_x – висота об'єкту по його боковим сторонам, м;

n – середнє число уражень блискавкою 1 км² земної поверхні в рік, значення якого наведено в табл.12.2 [17] в залежності від інтенсивної грозової діяльності.

З табл. 12.3 [17] приймається, що захисна зона відноситься до типу Б категорії грозозахисту III. Під зоною захисту грозовідводу розуміють частину простору, всередині якого споруда чи будівля захищена від прямих ударів блискавки з деякою ступінню надійності. Розрізняють зони захисту типу А, де ступінь захисту складає 99,5% і вище, та зону захисту типу Б зі ступінню надійності 95% і вище.

При інтенсивності грозової діяльності 60-80 год/рік приймається $n = 9$ (табл.12.2 [17]) та $B = 36$ м; $L = 90$ м; $h_x = 11$ м:

$$N = (36 + 6 \cdot 11)(90 + 6 \cdot 11)9 \cdot 10^{-6} = 0,143$$

Приймається виконання захисту двома окремо розміщеними металевими грозовідводами стрижневого типу висотою $h = 50$ м на відстані $l = 110$ м.

Для зони Б при $l > 1,5h$ ($110\text{м} > 75\text{м}$) параметри зони захисту визначаються (див. рис. 5.1):

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м}, r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \left(50 - \frac{11}{0,92} \right) = 57,065 \text{ м},$$

$$h_0 = 0,92h = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м}, h_c = h_0 - 0,14(l - 1,5h) = 46 - 0,14(110 - 1,5 \cdot 50) = 41,1 \text{ м},$$

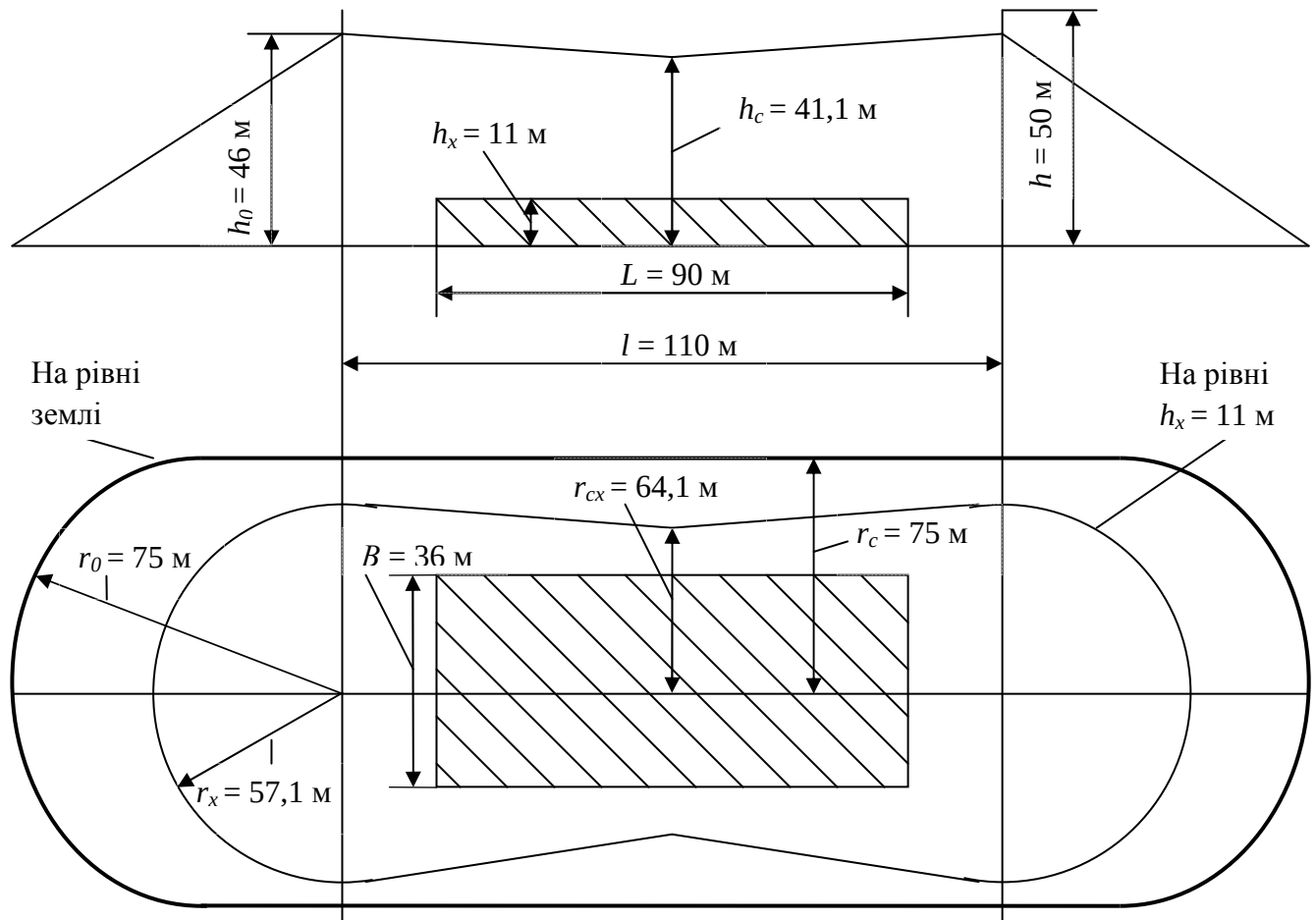


Рис. 5.1. Зони дії грозозахисту.

$$r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c} = 75 \frac{41,1 - 6}{41,1} = 64,051 \text{ м}, r_c = r_0 = 75 \text{ м}.$$

На основі отриманих значень будуються зони захисту даного об'єкту на різних рівнях (рис. 5.1).

5.3. Висновки

Розглянуто основні положення, що до питання охорони праці при експлуатації теплових насосів. Основними факторами небезпеки є ємності з тиском, елементи теплового насосу з підвищеною на низькою температурою, можливість ураження електричним струмом. Розглянуті заходи упередження нещасних випадків при експлуатації теплових насосів.

Проведено розрахунок блискавкозахисту приміщення, як заходу з підвищення надійності роботи теплового насосу та підвищення безпеки його експлуатації.

ВИСНОВКИ

Сучасний стан систем теплозабезпечення України знаходиться в критичному стані, що пов'язано з використанням застарілого не ефективного обладнання, неналежною тепловою ізоляцією трубопроводів, великими втратами на етапі використання. Система теплозабезпечення потребує комплексної модернізації, що пов'язано з великими капіталовкладеннями. Існуючі теплогенерувальні компанії не мають власних коштів для проведення заходів з модернізації теплових систем. Держава не в змозі в повному обсязі стати інвестором для їх модернізації. Це призводить до отримання споживачами неякісних та за великими тарифами послуг на теплопостачання. В зв'язку з цим, як вимушений крок, споживачі переходять на автономне індивідуальне опалення.

Серед нетрадиційних, високоефективних теплогенераторів, які отримали розповсюдження в розвинених країнах, є теплові насоси. Головною перевагою теплових насосів є генерація тепла, що перевищує витрати електроенергії в 2,5-4 рази.

Найбільш розповсюджений тип побутового теплового насосу парокompресійного типу. Його недоліком є компресор, який як елемент, що має рухомі частини виступає слабкою ланкою теплонасосної установки.

Найбільш простим, а отже і найбільш розповсюдженим, джерелом тепла для побутових теплових насосів є повітря. Це пов'язано з простотою та меншими капіталовкладеннями в установку теплового насосу. Для квартир в багатоповерховому будинку повітря є безальтернативним низькопотенційним джерелом тепла для автономного індивідуального опалення на базі теплових насосів.

В роботі розглянуто можливість застосування термоелектричних елементів (елементів Пельтьє) для створення теплових насосів малої потужності. До переваг термоелектричних теплових насосів слід віднести:

- відсутність рухомих частин, а значить, безшумність і відсутність вібрацій. Як наслідок практично необмежений ресурс роботи;
- можливість плавного і точного регулювання холодопродуктивності і

температурного режиму;

- відсутність хладагентів – екологічна безпека використання;
- довільна орієнтація в просторі і полі тяжіння, стійкість до динамічних і статичних навантажень.

Для розрахунку режимів роботи термоелектричних модулів потрібні параметри матеріалу з якого вони виготовлені. Фірмами виробниками наводяться електричні параметри це струм і напруга, при яких досягається максимальна різниця температур при нульовому тепловому навантаженні на гілку. Цих параметрів достатньо для розрахунку характеристик термоелектричного матеріалу модулів Пельтьє. В роботі розраховані параметри термоелектричного матеріалу термомодулів різної потужності за їх технічними характеристиками.

У разі, якщо необхідний рівень охолодження, що перевищує можливості термоелемента, застосовується каскадування термобатарей. При цьому економічність каскадної термобатарей падає, проте можливе досягнення $\Delta T_{\text{роб}} > \Delta T_{\text{max}}$ в 1,2-1,7 рази. На гарячому спаї найнижчої термобатарей виділяється найбільша кількість теплоти, оскільки теплота Джоуля підсумовується, і кожен каскад вносить свій внесок. Також шляхом каскадного підключення термомодулів можливе за певних умов підвищити коефіцієнт холодопродуктивності.

Побудовано сімейство вольт-амперних характеристик термоелектричного модулю TEC1-12715 при різних перепадах температур між гарячим і холодним спаєм. Серед термоелектричних характеристик побудовані графіки залежності коефіцієнта перетворення тепла (COP) від різниці температур між гарячим і холодним спаєм та струму, що споживається термоелектричним модулем. З цих графіків видно, що при кожній конкретній різниці температур між гарячим і холодним спаєм при певному значенні струму, що протікає крізь термоелектричний модуль коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення. Побудовані графіки залежності струму, що протікає крізь модуль та напруги прикладеної до термоелектричного модулю при яких коефіцієнт перетворення тепла набуває максимального значення, від різниці температур між гарячим і холодним спаєм. Дані графіки дозволяють розробити закон керування

блоком живлення термоелектричних модулів для підтримання максимальної ефективності теплового насосу. Побудований графік залежності максимумів коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} від різниці температур між гарячим і холодним спаєм. З цього графіку видно, що при збільшенні різниці температур Δt відбувається швидке падіння максимального значення коефіцієнта перетворення тепла COP_{opt} , який може бути досягнутий. Слід також зазначити, що при невеликих перепадах температур до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ коефіцієнт перетворення тепла може сягати значних значень $COP \geq 8$. В межах $8 \div 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ COP не уступає показникам паро-компресійних теплових насосів.

Побудовані графіки залежності теплової та електричної потужності термоелектричного модулю TEC1-12715 в залежності від різниці температур між гарячим та холодним спаєм. Дані графіки дозволяють обчислити теплову потужність термоелектричного теплового насосу за заданим значенням перепаду температур та визначити необхідні параметри джерела живлення.

З аналізу графіків залежності коефіцієнта перетворення тепла від кількості каскадів термобатареї, видно що до різниці температур в $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ запровадження каскадування неефективне. В межах $30\text{--}65\text{ }^{\circ}\text{C}$ збільшення елементів в каскаді більше двох не призводить до суттєвого підвищення сумарного коефіцієнта перетворення тепла. Відповідно каскадування з кількістю елементів більше двох неефективне.

Аналіз ефективності термоелектричного теплового насосу показує, що він уступає паро-компресійному на всьому діапазоні робочих зовнішніх температур. Це пояснюється швидким падінням коефіцієнту перетворення тепла для термоелектричного теплового насосу в діапазоні різниць температур до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Втім, слід зазначити, що термоелектричний тепловий насос споживатиме менше електричної енергії в порівнянні зі звичайним електричним обігрівачем, тому для остаточного вирішення питання, щодо ефективності термоелектричного теплового насосу слід провести техніко-економічне порівняння різних варіантів теплопостачання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року та дальшу перспективу (проект) // Міністерство палива та енергетики України, Національна академія наук України. – 2003. – 364 с.
2. Колієнко А.Г. Енергоефективність житлових будинків та деякі питання підвищення ефективності систем теплопостачання / А.Г. Колієнко, О.В. Мельниченко, Ш. Егердинк // Ринок інсталяційний. – 1998. – №1. – С.5-7.
3. Основні засади національної стратегії теплозабезпечення України. [Електронний ресурс]: / ЕСКО №3(99) березень 2010. – Режим доступу: <http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal99.htm>
4. Матеріали круглого столу "Індивідуальне опалення: проблеми та можливості" 28 травня 2009р. [Електронний ресурс]: / Міжгалузева Асоціація "Укртеплокомуненерго". – Режим доступу: http://utke.houa.org/info_krugliy_stil_28_05_09.html
5. Морозюк Т.В. Теория холодильных машин и тепловых насосов. - Одесса: Студия "Негоциант", 2006. - 712 с.
6. Безродний М. К. Теплові насоси та їх використання. [Текст] : посіб. / М. К. Безродний, І. І. Пуховий, Д. С. Кутра. – К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 289 с.
7. Безродний М.К. Енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання / М.К. Безродний, Н.О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 208 с
8. Безродний М. К. Термодинамічна та енергетична ефективність теплонасосних схем теплопостачання: монографія / М. К. Безродний, Н. О. Притула. – К.: НТУУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 272с
9. Новітні принципи теплонасосних та когенераційних технологій використання викидного тепла [Текст]: моногр. / М.М. Табаченко, В.І. Самуся, Р.О. Дичковський та ін. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 247 с.
10. Горшков В. Г. Теплові насоси. Аналітичний огляд // Методичка промислового устаткування. 2004. № 2.

11. Вихрова труба. (2022, червня 4). Вікіпедія. Процитовано 04:17, грудня 21, 2023 3
https://uk.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%92%D0%B8%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B1%D0%B0&oldid=36046472.
12. HoSung Lee Thermoelectrics: Design and Materials. - John Wiley & Sons, 2023, ISBN 1118848950, 9781118848951. – 448 p.
13. HoSung Lee Thermal Design: Heat Sinks, Thermoelectrics, Heat Pipes, Compact Heat Exchangers, and Solar Cells. - John Wiley & Sons, 2022, ISBN 1119685974, 9781119685975. – 928 p.
14. Anatychuk L. I. Thermoelectricity. Vol. 2. Thermoelectric power converters //Kyiv, Chernivtsi: Institute of Thermoelectricity. – 2003. – Т. 376.
15. Норми температури води в крані [Електронний ресурс]: / Режим доступу: <http://banyka4you.ru/vanna/santehnika/1177-normi-temperaturi-vodi-v-krani.html>
16. Енергетичні установки: Методичні вказівки до курсової роботи для студентів спеціальності 8.090603/ Укл. С.П. Богатирьова та ін. Кіровоград: КДТУ, 2002, - 73 с.
17. Шкрабець, Ф. П. Основи електропостачання : навч. посіб. / Ф. П. Шкрабець, П. Г. Плешков. - Кіровоград : РВЛ КНТУ, 2010. - 408 с.