

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

«Системи опалення на елементах Пельтьє»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Виконав: студент групи МГЗЕМ-22

Колинько В. М.

Науковий керівник: к.т.н., доц.,

Біла Т. Я.

Рецензент: к.т.н., доц.,

Демішонкова С. А.

Київ 2023

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Інститут Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КІЕМ

«_____» Борис ЗЛОТЕНКО

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Колиньку Владиславу Миколайовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Системи опалення на елементах Пельтьє

Науковий керівник роботи Біла Тетяна Яківна, к.т.н., доцент
затверджені наказом КНУТД від «12» вересня 2023 року № 210уч.

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи наукові джерела, нормативна та довідкова література за темою магістерської роботи, державні стандарти.

3. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно опрацювати)

Розділ 1. Аналіз сучасних систем опалення

Розділ 2. Застосування ефекту Пельтьє

Розділ 3. Розроблення системи опалення

Розділ 4. Експериментальні дослідження

4. Дата видачі завдання 04 вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проєкту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ	08.09.2023	Підпис керівника і студента
2	Розділ 1. Аналіз сучасних систем опалення.	19.09.2023	Підпис керівника, студента та консультанта
3	Розділ 2. Застосування ефекту Пельтьє	29.09.2023	Підпис керівника, студента та консультанта
4	Розділ 3. Розроблення системи опалення.	17.10.2023	Підпис керівника, студента та консультанта
5	Розділ 4. Експериментальні дослідження	28.10.2023	Підпис керівника, студента та консультанта
7	Висновки	30.10.2023	Підпис керівника і студента
8	Оформлення кваліфікаційної роботи (чистовий варіант)	02.11.2023	Підпис керівника і студента
9	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) науковому керівнику для відгуку	04.11.2023	Підпис керівника і студента
10	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) для рецензування (за 14 днів дозахисту)	09.11.2023	Підпис керівника, студента консультанта, рецензента
11	Перевірка кваліфікаційної роботи (проєкту) на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)	12.11.2023	Підпис керівника і студента на підставі довідки фахівця відділу моніторингу якості підготовки фахівців та аналітичної роботи
12	Подання кваліфікаційної роботи (проєкту) на завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	22.11.2023	Підпис завідувача кафедри

З завданням ознайомлений:

Студент _____

Владислав КОЛИНЬКО _____

Науковий керівник _____

Тетяна БІЛА _____

Анотація

Колинько В.М. Системи опалення на елементах Пельтьє. - Рукопис

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ 2023 рік.

Дипломна робота присвячена глибокому аналізу сучасних систем опалення з метою ідентифікації їхніх основних характеристик та переваг. У першому розділі проведено обстеження та порівняльний аналіз різноманітних систем опалення, враховуючи їхні технічні особливості, витрати енергії та екологічний вплив.

Другий розділ розглядає застосування ефекту Пельтьє в контексті опалювальних систем. Досліджено технологічні можливості елементів Пельтьє та їхній вплив на підвищення ефективності опалювальних установок.

У третьому розділі описано процес розроблення інноваційної системи опалення, в якій використовуються результати аналізу та переваги елементів Пельтьє. Проектування системи включає в себе впровадження новітніх технологій з метою підвищення ефективності та забезпечення стійкості до змін умов експлуатації.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням з інтеграції термоелектричної батареї на елементах Пельтьє в газовий котел. Проводяться вимірювання та оцінювання її ефективності за різних умов експлуатації. Отримані дані використовуються для підтвердження та обґрунтування вибраних технічних рішень.

Отримані результати вказують на те, що використання ефекту Пельтьє в системах опалення може бути перспективним шляхом для покращення енергоефективності та сталості таких систем. Розроблена опалювальна система може слугувати моделлю для вдосконалення та впровадження нових рішень у сфері сучасних опалювальних технологій.

Ключові слова: системи опалення, ефект Пельтьє, елемент Пельтьє.

Abstract

Kolyanko V.M. Heating systems based on Peltier elements. – Manuscript.

Qualification work in the field of 141 Electrical Power Engineering, Electrical Engineering, and Electromechanics – Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, 2023.

The thesis is dedicated to a thorough analysis of modern heating systems with the aim of identifying their key characteristics and advantages. The first section includes a survey and comparative analysis of various heating systems, taking into account their technical features, energy consumption, and environmental impact.

The second section explores the application of the Peltier effect in the context of heating systems. The technological capabilities of Peltier elements and their impact on increasing the efficiency of heating installations are investigated.

The third section describes the process of developing an innovative heating system that incorporates the results of the analysis and the advantages of Peltier elements. The system's design includes the implementation of cutting-edge technologies to enhance efficiency and ensure stability under changing operating conditions.

The fourth section is dedicated to experimental research on integrating a thermoelectric battery with Peltier elements into a gas boiler. Measurements and evaluations of its efficiency under various operating conditions are conducted. The obtained data are used to confirm and justify the selected technical solutions.

The results indicate that the use of the Peltier effect in heating systems could be a promising approach to improve energy efficiency and stability. The developed heating system can serve as a model for refining and implementing new solutions in the field of modern heating technologies.

Keywords: heating systems, Peltier effect, Peltier element.

Зміст

Вступ.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ.....	11
1.1 Типи та характеристики систем опалення.....	11
1.2 Інновації у сучасних системах опалення	19
1.2.1 Використання інтернету речей (IoT) в системах опалення	19
1.2.2 Технології з використанням штучного інтелекту в системах опалення.....	20
Висновки до розділу	22
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТУ ПЕЛЬТЬЄ	23
2.1 Ефект Пельтьє	23
2.2 Розвиток теорії термоелектричних перетворювачів	30
2.3 Принцип роботи термоелектричного насосу.....	32
2.4 Основні розрахункові співвідношення	40
2.5 Розробка конструкції та системи керування контролера елемента пельтьє.....	45
2.5.1 Управління елементом Пельтьє та вимоги до контролера	45
2.5.2 Вимоги до контролера елемента Пельтьє, пов'язані зі специфікою експлуатації холодильної установки	46
2.6 Особливості експлуатації модулів Пельтьє	47
2.7 Надійність термоелектричних модулів охолодження	48
2.7.1 Загальні рекомендації	48
2.7.2 Фізичний вплив на термоелектричні модулі	49
2.7.3 Вплив високих температур на надійність термоелектричних модулів	50
2.8 Переваги та недоліки елементів Пельтьє.....	51
2.10 Види елементів Пельтьє.....	53
2.11 Сфери використання	58
Висновки до розділу	59
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ	61
3.1 Розроблення систем опалення та інтеграція автономного джерела живлення на основі елементів Пельтьє.....	61
Висновок до розділу	71

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ	72
Висновки до розділу	77
Висновки.....	78
Список використаних джерел.....	79

Вступ

Актуальність теми обумовлена тим, що у сучасному світі зростає попит на ефективні та екологічно чисті системи опалення, особливо в умовах стрімкого розвитку технологій та постійного прагнення до сталого розвитку. Однією з інноваційних технологій, яка привертає увагу в галузі опалення, є використання елементів Пельтьє.

Елементи Пельтьє, які базуються на принципі термоелектричного ефекту, дають можливість конвертувати теплову енергію в електричну та навпаки, що робить ці елементи потенційно затребуваними, актуальними та перспективними для створення нових систем опалення. Їхні унікальні характеристики, такі як відсутність рухомих частин, безшумність та екологічна чистота, роблять їх привабливими для використання у різних сферах, включаючи житлове будівництво, промисловість та транспорт.

Вивчення цієї теми важливе не лише для наукового співтовариства, але і для практичного застосування у сучасних умовах, де питання сталого використання енергії набуває все більшого значення. Результати цього наукового дослідження можуть сприяти вдосконаленню та розробці нових технологій опалення, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності та екологічної безпеки.

Ця кваліфікаційна робота присвячена детальному вивченню та аналізу систем опалення, які використовують елементи Пельтьє.

Мета дослідження - розглянути принципи функціонування систем опалення на елементах Пельтьє, їхні переваги та недоліки, дослідити ефективність та придатність систем опалення на основі елементів Пельтьє в різних умовах та сценаріях використання, а також визначити потенційні можливості та перспективи їх використання на практиці; науково підтвердити, що термоелектричний ефект елементів Пельтьє в сучасних умовах може бути ефективно використаний у системах опалення під час генерації електричної енергії. Розробити систему опалення.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження даної дипломної роботи є системи опалення та елементи Пельтьє.

Предмет дослідження. Предметом дослідження даної дипломної роботи є аналіз сучасних систем опалення. Технічні характеристики елементів Пельтьє, вивчення властивостей та параметрів елементів Пельтьє, таких як ефективність, тепловіддача, тощо.

Методи дослідження:

- Літературний аналіз
- Експериментальні дослідження
- Аналіз матеріалів
- Математичне моделювання

Використання цих методів дало можливість отримати комплексні та достовірні дані для аналізу та узагальнення результатів у контексті дослідження систем опалення на елементах Пельтьє

Наукова цінність отриманих результатів. Дослідження основних типів систем опалення виявило їхню значущу різноманітність та унікальні характеристики. Отримана інформація дозволяє визначити ключові фактори вибору оптимальної системи опалення. Такий підхід сприяє раціональному використанню енергоресурсів та забезпечує максимальний комфорт в конкретних умовах.

Інтеграція різних технологій та стратегій, зокрема використання Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту, в системах опалення є актуальним напрямком наукових досліджень. Отримані висновки створюють основу для подальших досліджень у сфері розвитку інтелектуальних систем управління опаленням, спрямованих на підвищення енергоефективності та забезпечення сталості температурного режиму.

Аналіз можливостей використання альтернативних джерел енергії, таких як термоелектричні елементи Пельтьє, в системах опалення відкриває перспективи для подальших наукових досліджень у напрямку створення ефективних та сталих енергозабезпечуючих рішень.

Практичне значення отриманих результатів. Отримана інформація має конкретне застосування в практиці вибору та вдосконалення систем опалення для будівель. Здобуті знання дозволять здійснювати обґрунтований вибір систем опалення, враховуючи індивідуальні потреби та умови конкретного об'єкта.

Практичне значення полягає також у використанні отриманих результатів для розробки нових технологічних рішень в галузі опалювання будівель. Інтеграція Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та використання альтернативних джерел енергії може призвести до створення ефективних, економічних та екологічно чистих систем опалення, що має безпосереднє практичне застосування в будівельній індустрії.

Таким чином, отримані результати мають значуще практичне застосування у виборі, розробці та вдосконаленні сучасних систем опалення для будівель.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

1.1 Типи та характеристики систем опалення

Системи опалення в сучасних будівлях можуть бути різноманітними, забезпечуючи ефективно та комфортно обігрівання приміщень. Основні типи системи опалення включають в себе конвекційні системи, водяні системи опалення, електричні системи опалення, теплові насоси та сонячні системи опалення.

1. Конвекційні системи

Конвекційні системи опалення базуються на принципі циркуляції гарячого повітря. Елементами такої системи є обігрівачі, які нагрівають повітря, що потім піднімається вгору, а холодне опускається вниз, цей процес створює циркуляцію повітря в приміщенні, що сприяє рівномірному розподілу тепла. Ці системи можуть бути ефективними, але їхні можливості обмежені розмірами.

Основні характеристики конвекційних систем опалення.

Радіатори і конвектори: у конвекційних системах використовують радіатори або конвектори для нагрівання повітря. Радіатори можуть мати велику поверхню для ефективнішого випромінювання тепла.

Рівномірне обігрівання: однією з переваг конвекційних систем є можливість рівномірного обігрівання приміщення. Тепле повітря піднімається, а холодне – опускається, створюючи циркуляцію.

Ефективність: конвекційні системи можуть бути ефективними, особливо якщо вони оснащені регулюючими пристроями для контролю температури та швидкості циркуляції повітря.

Затрата енергії: конвекційні системи можуть вимагати значно менше енергії порівняно з деякими іншими видами опалення, такими як електричні системи.

Хоча конвекційні системи є популярними, важливо враховувати їхні переваги та недоліки при виборі системи опалення для конкретного приміщення. Розглянемо більш детально.

Переваги конвекційної системи опалення:

- Рівномірне обігрівання: Конвекційні системи створюють рівномірне обігрівання приміщення, оскільки тепле повітря піднімається, а холодне опускається, створюючи циркуляцію.
- Ефективність: За правильних умов конвекційні системи можуть бути досить ефективними, забезпечуючи ефективне використання тепла.
- Естетика: Радіатори та конвектори можуть мати різний дизайн і вигляд, що дозволяє їм легко вписуватися в інтер'єр будь-якого приміщення.
- Можливість регулювання: Багато конвекційних систем мають вбудовані термостати та інші регулюючі пристрої для забезпечення комфортного рівня тепла.

Недоліки конвекційної системи опалення:

- Затрата часу на прогрів: Конвекційні системи можуть вимагати певного часу для того, щоб повітря в приміщенні досягло бажаної температури.
- Створення пилу: Циркуляція повітря може сприяти розповсюдженню пилу та алергенів.
- Не ефективно на великих площах: На великих площах конвекційні системи можуть бути менш ефективними, оскільки повітря має шлях до проходження, і циркуляція може бути менш ефективною.
- Залежність від розташування: Розташування радіаторів чи конвекторів може впливати на ефективність системи, і нерівномірне розподілення може призвести до "холодних" зон.
- Можливий шум: Деякі конвекційні системи можуть виробляти шум під час роботи, що може бути не комфортним для користувачів.

2. Водяні системи опалення

Системи водяного опалення на сьогоднішній день є найбільш поширеними з усіх відомих опалювальних систем. Водяні системи опалення використовують в якості теплоносія – гарячу воду, для передачі тепла від джерела опалення до радіаторів чи підлоги. Це ефективна система, яка може забезпечити рівномірне

обігрівання приміщень. Радіатори регулюються за допомогою термостатів для забезпечення оптимальної температури.

Компоненти водяної системи опалення:

1. Котел:

- Типи: Газові, на твердому паливі, електричні.
- Принцип роботи: Котел нагріває воду, яка потім циркулює через систему для обігріву приміщення.

2. Трубопровід:

- Матеріали: Зазвичай використовуються металеві труби (сталеві, мідні) або полімерні труби PEX.

3. Радіатори:

- Типи: Панельні, конвекторні, декоративні.
- Принцип роботи: Радіатори отримують гарячу воду з котла і випромінюють тепло в приміщення.

4. Циркуляційний насос - забезпечує циркуляцію гарячої води по системі, підтримуючи постійний потік тепла.

5. Розширювальний бак - забезпечує компенсацію змін об'єму води в системі при нагріванні та охолодженні.

6. Термостатичні вентилятори - регулюють температуру в окремих зонах, дозволяючи оптимізувати споживання енергії.

Переваги водяних систем опалення:

- Рівномірне обігрівання: Система забезпечує рівномірне та комфортне обігрівання приміщень.
- Ефективність: Водяні системи можуть бути дуже ефективними з точки зору енергоспоживання.
- Можливість використання різних джерел тепла: Котли можуть працювати на газі, твердому паливі, електроенергії тощо.
- Можливість зонування: Завдяки термостатичним вентиляторам можна створювати зони опалення для ефективного використання енергії.

- Довгий термін служби: Правильно обслугована система може працювати довгий час без великих витрат на ремонт чи заміну.

Недоліки водяних систем опалення:

- Великі витрати на встановлення: Порівняно високі витрати на встановлення системи трубопроводу та обладнання.
- Потребує регулярного обслуговування: Система вимагає регулярного технічного обслуговування для підтримки ефективності.
- Можливий ризик протікання: Існує ризик виникнення протікань у системі, що може призвести до затоплення.
- Повітря в системі: Необхідно вивільнювати повітря з системи для забезпечення ефективності обігріву.
- Великий час реакції: Система може потребувати певного часу для нагрівання води та початку опалювання.
- Втрати води: У водяних системах може виникнути проблема з втратою води через протікання або випаровування.

3. Електричні системи опалення

Електричні системи опалення використовують електричну енергію для створення тепла і обігріву приміщень. Ці системи швидко розігрівають приміщення та надають функцію індивідуального керування температурою. Однак, вони можуть бути енергоємними та високовитратними.

Типи електричних систем опалення:

1. Електричні конвектори: Конвектори використовують конвекцію повітря для передачі тепла в приміщення. Холодне повітря втягується в конвектор, де воно нагрівається теплообмінником і повертається назад в приміщення вже теплим.

2. Інфрачервоні обігрівачі: Ці системи використовують інфрачервоне випромінювання для прямого обігріву поверхонь та об'єктів у приміщенні, що надає відчуття тепла.

3. Електричні теплі підлоги: Теплі підлоги складаються з провідників чи маток, розташованих під підлогою, які нагріваються, передаючи тепло навколишній області та піднімаючи температуру підлоги.

4. Електричні радіатори: Електричні радіатори подібні до своїх водяних аналогів, але вони мають електричний обігрівач, який нагріває масу радіатора і випромінює тепло в приміщення.

5. Термовентилятори: Електричні термовентилятори використовуються для швидкого обігріву повітря в приміщенні за рахунок вентилятора та обігрівача.

Переваги електричних систем опалення:

- Простота встановлення: Електричні системи легко встановлюються і не вимагають складних трубопроводів або котлів.
- Індивідуальний контроль: Більшість електричних систем мають індивідуальний контроль температури для кожної зони, що дозволяє економно використовувати електроенергію.
- Швидкість нагріву: Електричні системи можуть нагрівати приміщення дуже швидко, що особливо важливо при потребі швидкого обігріву.
- Низькі витрати на обслуговування: Електричні системи мають менше елементів, які вимагають обслуговування, порівняно з іншими системами.

Недоліки електричних систем опалення:

- Високі витрати на електроенергію: Електричні системи можуть бути витратними в експлуатації, особливо при високих тарифах на електроенергію.
- Неefективність використання у великих приміщеннях: Для обігріву великих приміщень може бути неefективно використовувати електричні системи.

- Потребує підвищеної потужності електромережі: Для обслуговування електричних систем опалення потрібна достатньо потужна електрична мережа.
- Залежність від електромережі: У випадку перебоїв електропостачання можуть виникнути проблеми з опаленням. І це мабуть один із головних недоліків сьогодення в Україні. [1]

4. Теплові насоси

Тепловий насос - це система, яка використовує механічну енергію для трансферу тепла з одного середовища в інше. Вони взаємодіють з енергією, яка вже присутня в навколишньому середовищі, і перетворюють її у корисну теплову енергію. Іншими словами основна ідея полягає в тому, щоб взяти тепло з відносно низькотемпературного середовища (наприклад: повітря, ґрунт чи вода) і передати його в приміщення чи гарячий водоспоживач, підвищуючи температуру за допомогою компресора і теплообмінника. Такий вид опалення вважається екологічно чистим методом опалення.

Типи теплових насосів:

1. Водяні теплові насоси: Використовують тепло води чи ґрунтових вод для опалення. Поглиблені в ґрунті або розташовані на поверхні, ці насоси ефективно використовують стабільну температуру ґрунту чи води для теплогенерації.

2. Повітряні теплові насоси: Використовують тепло з повітря навколишнього середовища для обігріву. Забирають тепло з повітря, навіть при низьких температурах, і перетворюють його на тепло для системи опалення. Чудово підходять для об'єктів з помірним кліматом.

3. Ґрунтові теплові насоси: Забирають тепло з ґрунту за допомогою теплообмінника. Ефективні в умовах холодного клімату, оскільки ґрунт має стабільну температуру на глибині.

4. Геотермальні теплові насоси: Використовують тепло, яке знаходиться у глибоких шарах Землі, використовуючи теплообмінник і компресор.

Переваги теплових насосів:

- **Енергоефективність:** Теплові насоси можуть бути вкрай енергоефективними, оскільки вони використовують існуючу теплову енергію з навколишнього середовища.
- **Низькі експлуатаційні витрати:** При використанні відновлюваних джерел тепла, таких як повітря чи ґрунт, експлуатаційні витрати можуть бути низькими.
- **Екологічна чистота:** Оскільки теплові насоси використовують відновлювальні джерела тепла, їх вплив на навколишнє середовище зазвичай менший, ніж у традиційних систем опалення.
- **Універсальність:** Підходять для опалення, кондиціонування повітря та нагріву води, що робить їх універсальними системами.
- **Довгий термін служби:** Теплові насоси мають довгий термін служби, оскільки їхні елементи мало піддаються зносу.

Недоліки теплових насосів:

- **Висока вартість установки:** Початкові витрати на встановлення теплових насосів можуть бути високими, хоча з часом ці витрати можуть виправдатися економією на енергії.
- **Залежність від клімату:** Деякі типи теплових насосів можуть бути менш ефективними в холодних кліматичних умовах.
- **Складність обслуговування:** Технічне обслуговування може бути складнішим порівняно з традиційними системами опалення.
- **Потреба в додатковому просторі:** Для деяких видів теплових насосів може знадобитися додатковий простір для установки. [2]

5. Сонячні системи опалення

Сонячні системи опалення використовують сонячну енергію для нагріву повітря або води, яка подається в систему опалення. Ці системи є екологічно чистим та енергоефективним варіантом, який дозволяє використовувати безкоштовну енергію Сонця для забезпечення комфортної температури в приміщенні.

Типи сонячних систем опалення:

1. Сонячні колектори: Використовуються для збору сонячної енергії та перетворення її в теплову енергію. Існують плоскі колектори та вакуумні трубчасті колектори. Плоскі колектори частіше використовуються для нагріву води, тоді як вакуумні трубчасті колектори ефективні для опалення.

2. Сонячні теплові насоси: Поєднують принципи сонячних колекторів та теплових насосів для більш ефективного отримання теплової енергії. Вони можуть працювати в умовах низьких температур та забезпечувати опалення і гарячу воду.

3. Фототермічні системи: Використовують фотоелектричні панелі для концентрації сонячної енергії та генерації тепла, яке використовується для опалення.

Принцип роботи сонячних систем опалення:

Сонячні колектори поглиблюють сонячну енергію та перетворюють її в теплову енергію. Отримана теплова енергія може бути використана для нагріву води, яка циркулює в системі опалення або для подальшого використання в теплових насосах.

Переваги сонячних систем опалення:

- Енергоефективність: Використовують безкоштовну сонячну енергію, що зменшує витрати на опалення.
- Екологічна чистота: Сонячні системи не викидають в атмосферу шкідливі викиди, тож вони екологічно чисті та сприяють зменшенню вуглецевого сліду.
- Невисокі експлуатаційні витрати: Після встановлення сонячної системи витрати на експлуатацію зазвичай досить низькі.
- Довгий термін служби: Сонячні системи можуть служити протягом декількох десятиліть з мінімальним технічним обслуговуванням.

Недоліки сонячних систем опалення:

- Залежність від погодних умов: Ефективність сонячних систем може зменшуватися в хмарну чи дощову погоду. В деяких регіонах може

бути необхідним мати додаткове джерело тепла для забезпечення опалення в періоди обмеженої сонячної активності та вночі.

- Висока вартість установки: Вартість встановлення сонячних систем може бути високою, хоча з часом ці витрати можуть окупитися за рахунок економії на енергії.
- Потреба в достатньому просторі для колекторів: Деякі системи можуть вимагати значного простору для встановлення сонячних колекторів, що може бути проблематично у вузьких міських умовах.

Дослідивши основні типи систем опалення можемо сказати, що кожен з них має свої переваги, обмеження та недоліки, і вибір конкретної системи повинен враховувати потреби та умови конкретного будинку чи приміщення. У майбутньому інтеграція різних технологій та підходів може стати ключем до створення більш ефективних та сталих систем опалення. [3]

1.2 Інновації у сучасних системах опалення

1.2.1 Використання інтернету речей (IoT) в системах опалення

Інтернет речей (IoT) в системах опалення представляє собою сучасний підхід до автоматизації та контролю опалювальних систем у будинках чи комерційних приміщеннях. Цей підхід використовує підключені пристроїв та сенсорів, які можуть обмінюватися даними через Інтернет, забезпечуючи високу ефективність, економію електроенергії та комфорт для користувачів.

Ключові аспекти використання IoT в системах опалення:

Системи опалення можуть бути інтегровані в "розумний дім" (Smart Home), де користувачі можуть контролювати температуру, розклад опалення, та інші параметри за допомогою смартфонів або голосових асистентів.

Сенсори температури та присутності розташовані в різних зонах будинку для вимірювання температури та визначення присутності людей. Ці дані допомагають оптимізувати роботу системи опалення та ефективно розподіляти тепло. Системи IoT можуть вивчати звички та графіки присутності мешканців, автоматично адаптуючи режим опалення для оптимальної ефективності та

комфорту. Також користувачі мають можливість дистанційно контролювати опалення через мобільні додатки, навіть якщо вони знаходяться за межами будинку. Це дозволяє оптимізувати витрати енергії залежно від графіку та потреб користувачів.

IoT здатні використовувати алгоритми машинного навчання для прогнозування потреби в опаленні на основі умов навколишнього середовища, погодних умов та інших факторів. Енергоефективність: Завдяки здатності систем IoT аналізувати та оптимізувати використання енергії, можливо досягти значної економії та зменшення викидів CO₂.

Також варто розглянути недоліки використання IoT, а саме: залежність від Інтернет-з'єднання, IoT вимагає безперервного інтернет підключення для ефективного функціонування; Варто звернути увагу стосовно належного забезпечення безпеки даних та захист від несанкціонованого доступу.

Використання IoT в системах опалення є перспективним напрямком, який поєднує комфорт та енергоефективність, сприяючи створенню сучасного та екологічно стійкого середовища в будівлях.

1.2.2 Технології з використанням штучного інтелекту в системах опалення

Штучний інтелект, як одна з ключових інновацій в галузі інформаційних технологій, перетворює не лише спосіб, яким ми взаємодіємо з обчислювальними системами, але й динаміку розвитку численних сфер нашого життя. Серед різноманітних застосувань штучного інтелекту, однією з найбільш важливих є його використання в сфері технологій опалення.

У наш час вимагається не лише забезпечення комфортної та енергоефективної системи опалення, але і активне реагування на змінні умови та індивідуальні потреби користувачів. Саме в цьому контексті виступає технологія з використанням штучного інтелекту, що дозволяє оптимізувати роботу опалювальних систем, забезпечуючи оптимальний баланс між комфортом, ефективністю та енергозбереженням.

Дослідимо як технології штучного інтелекту революціонізують сучасні системи опалення, забезпечуючи інтелектуальне та енергоефективне використання тепла в наших будинках та офісах. Розглянемо які можливості надаються у використанні штучного інтелекту в системах опалення.

Системи опалення, що використовують штучний інтелект, можуть аналізувати різні фактори, такі як прогноз погоди, графіки споживання енергії та інші, для прогнозування оптимального режиму опалення. Система може автоматично адаптуватися до змін зовнішніх умов, таких як температурні коливання або зміни в споживанні енергії в будинку. Інтелектуальні системи здатні оптимізувати графік роботи опалення враховуючи години, коли в приміщення знаходяться або відсутні люди. Використання штучного інтелекту дозволяє системам точно адаптуватися до потреб користувачів, що призводить до ефективнішого використання енергії та зменшення витрат, також штучний інтелект здатний навчатися, аналізувати та вивчати звички та поведінку користувачів, оптимізуючи режим опалення відповідно до їхніх потреб.

Інтелектуальні системи можуть самостійно діагностувати поломки або несправності в опалювальному обладнанні та надсилати повідомлення про необхідність обслуговування. Штучний інтелект може надати сучасні можливості дистанційного керування системою опалення через мобільні додатки або веб-інтерфейс. Використання таких інтелектуальних асистентів та інших розумних технологій є дуже зручним під час експлуатації систем опалення.

Варто звернути увагу на такі аспекти:

- Велика вартість розробки та впровадження систем опалення з використанням штучного інтелекту;
- Відсутність електроенергії або технічні проблеми можуть призвести до втрати функціональності системи;
- Системи з штучним інтелектом можуть вимагати спеціалізованого обслуговування та регулярних оновлень програмного забезпечення.
- Використання деяких інтелектуальних технологій може бути обмеженим в деяких регіонах або країнах.

Штучний інтелект в системах опалення може значно поліпшити зручність використання та забезпечити високу енергоефективність при експлуатації системи. [4]

Висновки до розділу

У результаті дослідження основних типів систем опалення можна зробити висновок, що кожен з них має свої унікальні переваги, обмеження та недоліки, враховуючи які, вибір конкретної системи повинен бути здійснений на основі конкретних потреб та умов будинку чи приміщення. Врахування факторів, таких як розмір приміщення, кліматичні умови та економічні обмеження, є ключовим етапом при виборі оптимальної системи опалення.

Майбутнє розвитку систем опалення полягає в інтеграції різних технологій та підходів. Використання Інтернету речей (IoT) в системах опалення, відкриває перспективи для створення сучасних, комфортних та енергоефективних середовищ у будівлях. Інтелектуальні системи, які використовують штучний інтелект, можуть значно поліпшити зручність управління та забезпечити високий рівень енергоефективності під час експлуатації систем опалення.

Такий комплексний підхід не лише дозволить забезпечити комфорт та сталість температурного режиму, але й сприятиме збереженню енергоресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Таким чином, майбутнє розвитку систем опалення полягає в поєднанні новітніх технологій для створення більш ефективних, економічних та екологічно чистих рішень в галузі опалення будівель.

РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ ЕФЕКТУ ПЕЛЬТЬЄ

2.1 Ефект Пельтьє

Француз Жан-Шарль Пельтьє відкрив ефект Пельтьє у 1834 році. В одному зі своїх експериментів він пропускав електричний струм через смужку вісмуту, підключену до неї мідними провідниками (див. рис. 2.1). Під час цього експерименту виявилось, що одне з'єднання вісмут-мідь нагрівалося, тоді як інше - охолоджувалося.

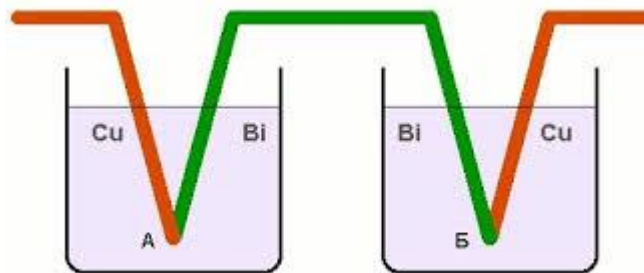


Рисунок 2.1 – Схема досліду для вимірювання тепла Пельтьє

Пельтьє сам не був усвідомлений повністю сутності виявленого ним явища. Реальне значення явища було роз'яснене пізніше, у 1838 році Ленцем. У своєму експерименті Ленц працював з краплею води, що знаходилася між двома провідниками (вісмутом і сурмою). При подачі струму в одному напрямку крапля води замерзала, а при зміні напрямку струму – танула. Тим самим було встановлено, що при проходженні струму через контакт двох провідників в одному напрямку виділяється тепло, в іншому – поглинається. Це явище ми називаємо ефектом Пельтьє.

Тепло Пельтьє пропорційне силі струму і може бути виражене формулою $Q_p = \Pi \cdot q$, де q – заряд, який пройшов через контакт, а Π – так званий коефіцієнт Пельтьє, що залежить від природи матеріалів контактуючих між собою та їх температури. Коефіцієнт Пельтьє може бути виражений через коефіцієнт Томпсона, $\Pi = \alpha T$, де α – коефіцієнт Томпсона, T – абсолютна температура.

Важливо підкреслити, що коефіцієнт Пельтьє суттєво залежить від температури. Деякі значення коефіцієнта Пельтьє для різних пар металів представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Значення коефіцієнта Пельтьє для різних пар металів

Залізо-константан		Мідь-нікель		Свинець-константан	
Т, К	П, мВ	Т, К	П, мВ	Т, К	П, мВ
273	13,0	292	8,0	293	8,7
299	15,0	328	9,0	383	11,8
403	19,0	478	10,3	508	16,0
513	26,0	563	8,6	578	18,7
593	34,0	613	8,0	633	20,6

Величина виділеного тепла і знак Пельтьє залежать від виду контакту речовин, силі струму та часу його протікання. Тому Q_P можна виразити іншим чином, використовуючи формулу: $dQ_P = \Pi_{12} \mathcal{I} dt$.

де Π_{12} - це коефіцієнт Пельтьє для конкретного контакту, пов'язаний з абсолютними коефіцієнтами Пельтьє Π_1 і Π_2 матеріалів, які знаходяться в контакті. При цьому вважається, що струм напрямлений від першого матеріалу до другого. У випадку виділення тепла $Q_P > 0$, $\Pi_{12} > 0$, $\Pi_1 > \Pi_2$.

При поглинанні тепла $Q_P < 0$, $\Pi_{12} < 0$, $\Pi_1 < \Pi_2$. Очевидно, що $\Pi_{12} = -\Pi_{21}$.

Розмірність коефіцієнта Пельтьє $[\Pi]$ у системі СІ - Дж/Кл = В.

Класична теорія пояснює явище Пельтьє тим, що при переміщенні електронів струмом з одного металу в інший, вони прискорюються або сповільнюються через внутрішню контактну різницю потенціалів між металами. При прискоренні, кінетична енергія електронів збільшується, а потім виділяється у вигляді тепла. У зворотньому випадку, коли електрони сповільнюються, кінетична енергія зменшується, і енергія поповнюється за рахунок теплових коливань атомів другого провідника. Таким чином, він починає охолоджуватися. При більш детальному розгляді враховується зміна не лише потенційної, але і повної енергії.

Класична теорія пояснює явище Пельтьє тим, що при перенесенні електронів струмом з одного металу в інший вони прискорюються або

сповільнюються внутрішньою контактною різницею потенціалів між металами. У разі прискорення кінетична енергія електронів збільшується, а потім виділяється у вигляді тепла. У зворотному випадку кінетична енергія зменшується і енергія поповнюється за рахунок енергії теплових коливань атомів другого провідника. Таким чином, він починає охолоджуватися. При більш повному розгляді враховується зміна не тільки потенційної, а й повної енергії.

На (рис. 2.2 і 2.3) зображена замкнуте ланцюг, складена з двох різних напівпровідників ПП1 і ПП2 з контактами А і В.

Ланцюг прийнято називати термоелементом, а її гілки – термоелектроди. Через ланцюг тече струм I , створений зовнішнім джерелом ε . (рис 1.7) ілюструє ситуацію, коли на контакті А (Струм тече від ПП1 до ПП2) відбувається виділення тепла Пельтьє $Q_{\text{П}}(A) > 0$, а на контакті В (струм направлений від ПП2 до ПП1) його поглинання: $Q_{\text{П}}(B) < 0$. В результаті відбувається зміна температур спаев: $T_A > T_B$.

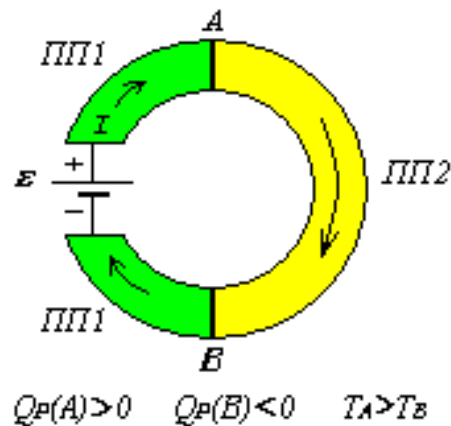


Рисунок 2.2 – Виділення тепла Пельтьє (контакт А)

На рис. 1.8 зміна знака джерела змінює напрямок струму на протилежне: від ПП2 до ПП1 на контакті А і від ПП1 до ПП2 на контакті В. Відповідно змінюється знак тепла Пельтьє і співвідношення між температурами контактів: $Q_{\text{П}}(A) < T_A < T_B$.

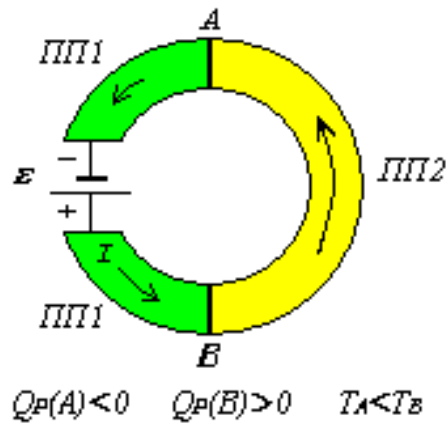


Рисунок 2.3 – Поглинання тепла Пельтьє (контакт А)

Причина виникнення ефекту Пельтьє на контакті напівпровідників з однаковим видом носіїв струму (два напівпровідника n-типу або два напівпровідника p-типу) така ж, як і у випадку контакту двох металевих провідників. Носії струму (електрони або дірки) по різні боки спаю мають різну середню енергію, яка залежить від багатьох причин: енергетичного спектру, концентрації, механізму розсіяння носіїв заряду. Якщо носії, пройшовши через спай, потрапляють в область з меншою енергією, вони передають надлишок енергії кристалічній решітці, в результаті чого поблизу контакту відбувається виділення теплоти Пельтьє ($Q_p > 0$) і температура контакту підвищується. При цьому на іншому спаї носії, переходячи в область з більшою енергією, запозичують відсутню енергію від решітки, відбувається поглинання теплоти Пельтьє ($Q_p < 0$) і зниження температури.

Ефект Пельтьє, як і всі термоелектричні явища, виражений особливо сильно в ланцюгах, складених з електронних (n-тип) і діркових (p-тип) напівпровідників.

В цьому випадку ефект Пельтьє має інше пояснення. Розглянемо ситуацію, коли струм в контакті йде від діркового напівпровідника до електронного (p-n). При цьому електрони і дірки рухаються назустріч один одному і, зустрівшись, рекомбінують. В результаті рекомбінації звільняється енергія, яка виділяється у вигляді тепла. Ця ситуація розглянута на (рис. 2.4), де зображені енергетичні

зони (ϵ_c – зона провідності, ϵ_v – валентна зона) для напівпровідників з дірковою і електронною провідністю.

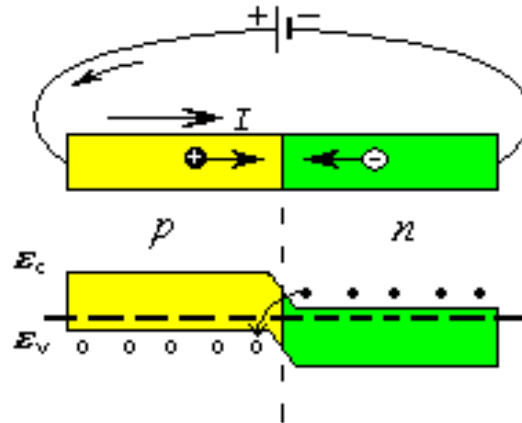


Рисунок 2.4 – Виділення тепла Пельтьє на контакті напівпровідників р- і п-типу

На (рис. 2.5) (ϵ_c – зона провідності, ϵ_v – валентна зона) ілюструється поглинання тепла Пельтьє для випадку, коли струм йде від п до р напівпровідника (п – р).

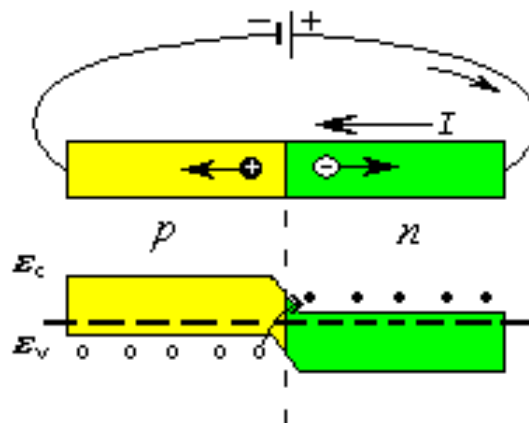


Рисунок 2.5 – Поглинання тепла Пельтьє на контакті напівпровідників р- і п-типу

Тут електрони в електронному та дірки в дірковому напівпровідниках рухаються в протилежні сторони, йдучи від кордону розділу. Спад носіїв струму в прикордонній області заповнюється за рахунок попарного народження електронів і дірок. На освіту таких пар потрібна енергія, яка поставляється тепловими коливаннями атомів решітки. Утворені електрони і дірки захоплюються в протилежні сторони електричним полем. Тому поки через контакт йде струм, безперервно відбувається народження нових пар. В результаті в контакті тепло буде поглинатися.

Застосування напівпровідників різних типів в термоелектричних модулях представлено на рис. 2.6.

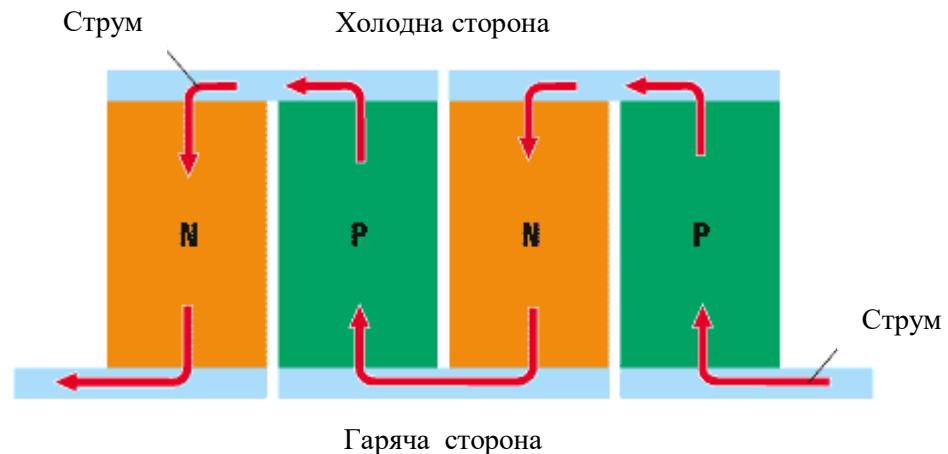


Рисунок 2.6 – Використання напівпровідникових структур в термоелектричних модулях

Розглянемо два різних провідника а й б з однаковою площею поперечного перерізу A , які з'єднані, як це показано на (рис. 2.7). Поверхня S є контактною поверхнею провідників. Обидва провідника мають однакову температуру T і через них протікає електричний струм I . Нехай теплоємність електронів в провіднику а дорівнює c_a в провіднику б- c_b . Тоді теплова енергія, якою володіє електрон, в кожному провіднику дорівнює $c_a T$ і $c_b T$ відповідно.

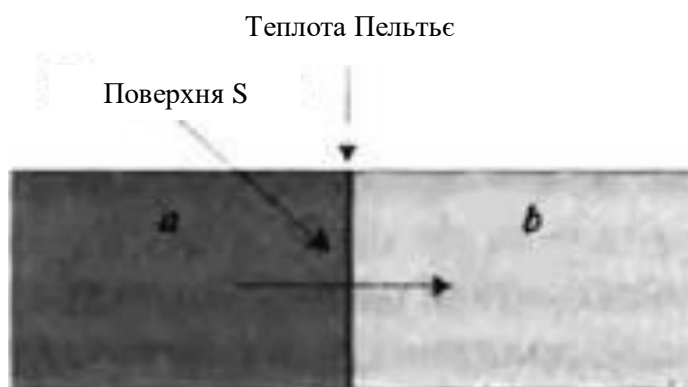


Рисунок 2.7 – Перенесення тепла за допомогою електричного струму

Електричний струм, що протікає через контактну поверхню S , в кожному напрямку

$$I = qnvA \quad (2.1)$$

У провіднику a разом з електричним струмом в напрямку контактної поверхні переноситься потік теплової енергії,

$$Pa = nvAc_a T \quad (2.2)$$

а в провіднику b від контактної поверхні несеться потік теплової енергії.

$$Pb = nvAc_b T \quad (2.3)$$

Якщо електрони мають максвелівський розподіл за швидкостями, то в рамках викладеної моделі коефіцієнт Пельтье π буде дорівнює нулю, оскільки в цьому випадку $c_a = c_b$.

Однак, ґрунтуючись на факті існування ефекту Пельтье, слід зробити висновок, що в матеріалах, використовуваних для виготовлення термопар, електронний газ не підкоряється розподілу Максвелла. Цей висновок узгоджується з загальноприйнятим положенням про немаксвеллівський розподіл

електронів в металах. Однак в слабо легованих напівпровідниках електронна провідність описується на основі максвеллівського розподілу. Тому потрібне додаткове удосконалення моделі, щоб пояснити наявність ефекту Пельтьє в таких матеріалах. [5]

2.2 Розвиток теорії термоелектричних перетворювачів

Після того, як в 1821 та 1834 роках було відкрито термоелектричні ефекти Зойсом, їх практичне застосування не знаходилося протягом тривалого часу. Лише між 1909 та 1911 роками німецький вчений Е. Альтенкірх розвинув та створив теорію термоелектричних перетворювачів, а також ввів поняття коефіцієнта холодильності, коефіцієнта ефективності та інших параметрів. Теорія Альтенкірха дозволила визначити досяжні температури охолодження та ефективність термоперетворювача. Однак вона не сприяла розвитку термоелектричних технологій, а навіть мала негативний вплив, оскільки показала нездатність металевих термоелектричних матеріалів конкурувати з традиційними холодильними технологіями за досягненням необхідних температур охолодження та використанням енергії.

Сучасні дослідження в області термоелектрики розпочалися з робіт А.Ф. Іоффе, який показав, що кращими матеріалами для термоелектричних перетворювачів є напівпровідники з домішками інших елементів, оскільки діелектрики залишалися малоефективними через обмежену кількість вільних електронів та їхніх енергетичних можливостей. Оптимальна ефективність досягалася при певній кількості домішок при концентрації приблизно $n_0 \approx 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Такі матеріали, як леговані напівпровідники (також називають металевими зв'язками), були об'єктом подальших досліджень.

Були проведені дослідження властивостей матеріалів для термоелектричного охолодження, включаючи телуріди, вісмут та свинець, а також сплави вісмут-сурьма. Була зроблена значна теоретична робота та побудовані моделі, що добре описували існуючі матеріали. Однак жоден з цих матеріалів не міг забезпечити створення холодильних систем з достатньою

ефективністю, які конкурували б з компресійними та тепловими холодильними системами.

Сучасні дослідження щодо створення та пошуку матеріалів для термоелектриків дають підстави очікувати значного зростання ефективності термоелектричних холодильних машин у найближчому майбутньому.

Отже, зараз відбувається відродження інтересу до застосування термоелектричного охолодження, також маємо справу з екологічними проблемами, які виникають при використанні традиційних методів отримання холоду (знищення озонового шару, парниковий ефект і т. д.). Термоелектричні холодильники абсолютно безпечні з екологічної точки зору, оскільки вони не включають в себе елементів, які зносяться або виділяють токсичні речовини, тому вони працюють безшумно, без вібрацій, і не потребують у спеціальних пристроях для очищення робочих речовин. Крім того, вони мають високу стійкість і здатні працювати протягом тривалого часу. Також перетворювачі енергії на основі термоелектричних матеріалів мають інші переваги:

- можливість не лише охолоджувати, але й нагрівати;
- дуже надійні компоненти для вироблення холоду;
- можливість швидкого охолодження;
- висока точність регулювання температури та можливість термостатування шляхом зміни струму живлення;
- незалежність параметрів термоелектричних модулів від сили тяжиння та орієнтації в просторі;
- відсутність потреби у технічному обслуговуванні.
- мала чутливість до великих механічних навантажень;

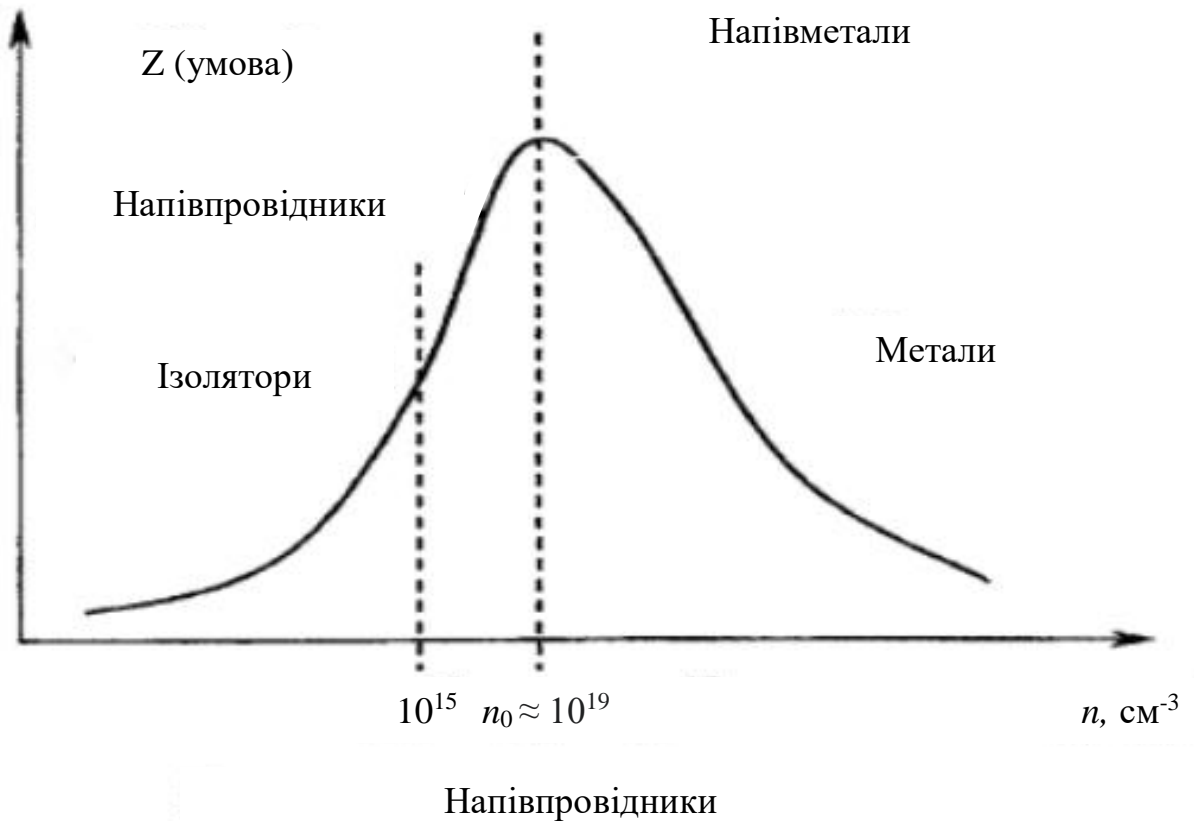


Рисунок 2.8 Залежність ефективності термоелектричних ефектів від концентрації носіїв заряду

2.3 Принцип роботи термоелектричного насосу

Розкажемо про ефект Пельтьє, користуючись зонною теорією твердих тіл. Є чотири можливих сценарії, залежно від того, наскільки заповнені зони електронами та ширини забороненої зони:

1) Якщо валентна зона частково заповнена (див. Рисунок 2.9, а) або повністю заповнена і перекривається з дозволеною порожньою зоною (див. Рисунок 2.9, б), то поряд з зайнятими рівнями існують вільні рівні, на які електрони можуть переходити при незначному тепловому збудженні. Це властиво металам; валентні електрони металів можуть вільно рухатися по всьому об'єму.

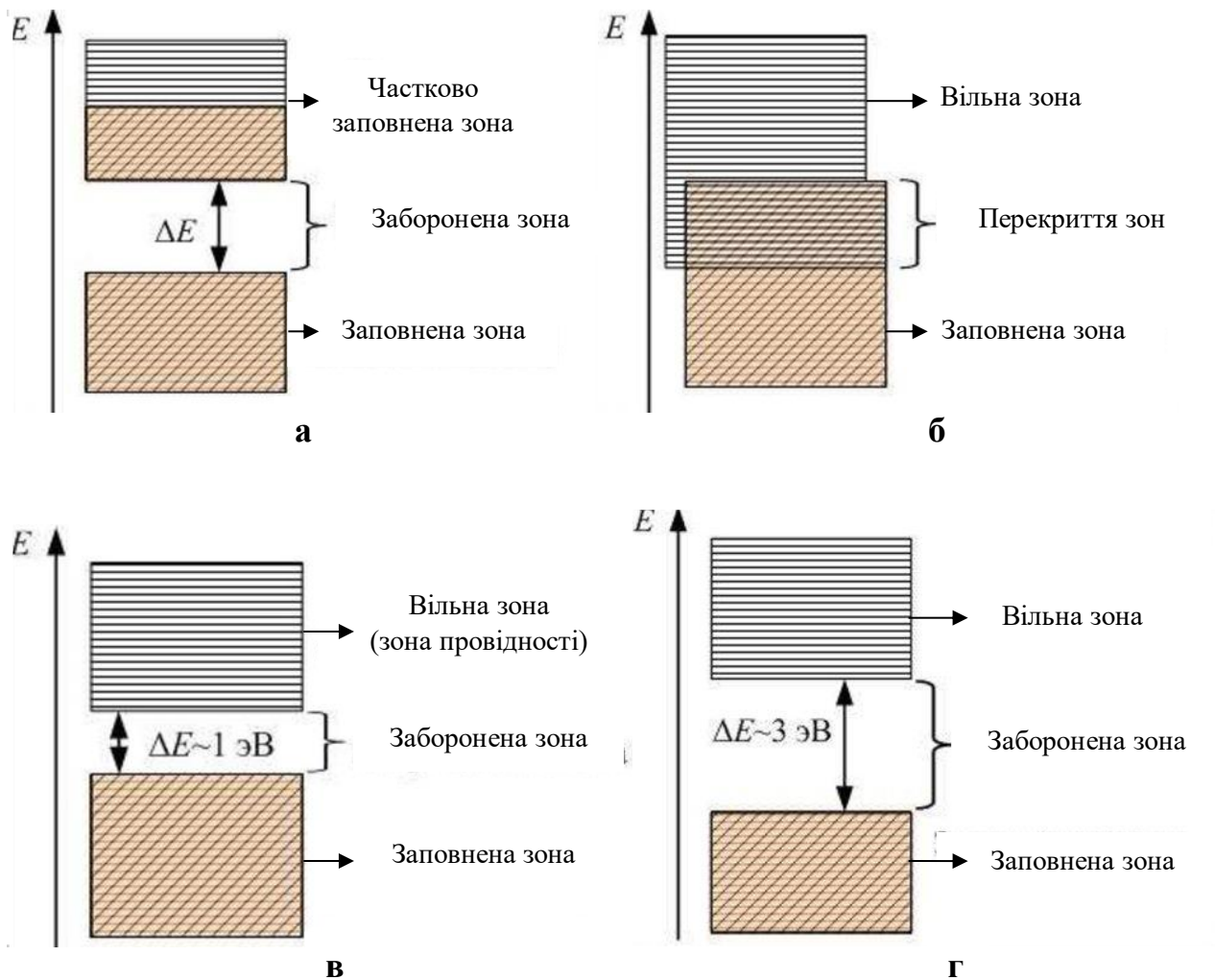


Рисунок 2.9 Діаграми матеріалів, напівпровідників та діелектриків в зонній теорії

2) Повна валентна зона, що є заповненою, відокремлена від наступної дозволеної зони забороненою зоною шириною не більше, ніж $\Delta E \sim 1 \text{ eV}$ (див. Рисунок 2.9, в). Це характерно для напівпровідників. При звичайних умовах за рахунок теплової енергії деякі електрони можуть перестрибувати через заборонену зону з валентної до найближчої дозволеної вільної зони, тобто стати вільними. Це призводить до провідності у напівпровідниках, проте меншої, ніж у металів. Приклади: германій ($\Delta E = 0.5 \text{ eV}$), кремній ($\Delta E = 1.1 \text{ eV}$).

3) Повна валентна зона відокремлена від наступної дозволеної зони значною забороненою зоною ширини $\sim 3 \text{ eV}$ (див. Рисунок 2.9, г). Заборонена зона настільки велика, що значна кількість електронів не може її подолати; тут практично немає вільних носіїв заряду. Це характерно для діелектриків, які

практично не проводять електричний струм. Приклади: NaCl ($\Delta E=6$ eV), алмаз ($\Delta E=7$ eV).

Крім чистих напівпровідників, існують також леговані. Залежно від легуючого елементу ці напівпровідники можуть бути n-типу (з надміром негативних носіїв заряду - електронів) або p-типу (з лишком позитивних носіїв заряду – "дірок"). Зонна структура металів та різних типів напівпровідників представлена на Рисунок 2.10.

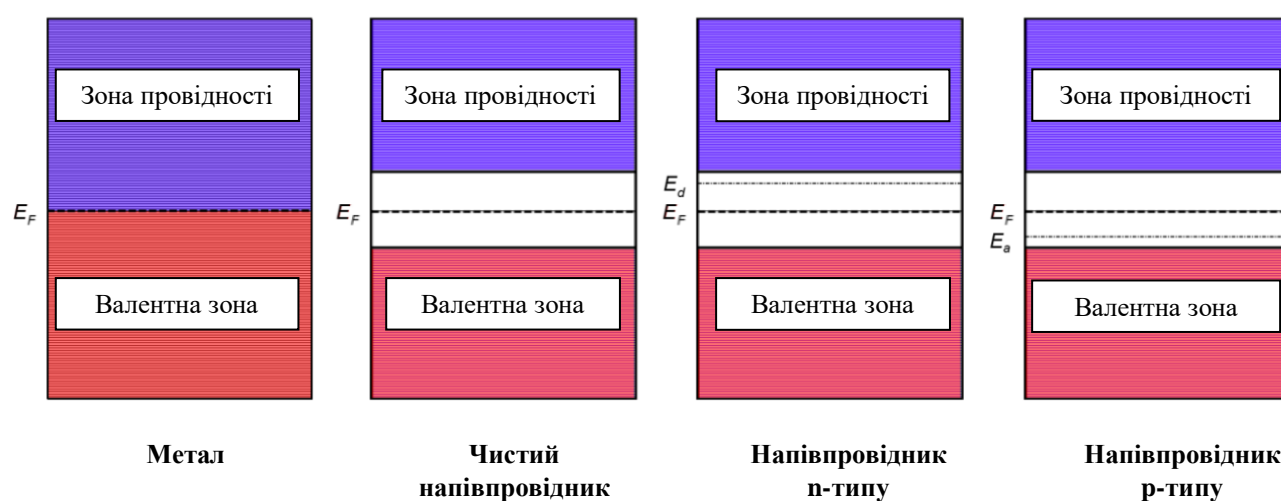


Рисунок 2.10 Зонна структура металів і напівпровідників

Також вказано рівень енергії Фермі, а також додаткові енергетичні рівні, що виникають в результаті донорного (у напівпровідниках типу) та акцепторного (у напівпровідниках p-типу) типів.

Схема та конструкція термоелемента Пельтьє показані на малюнках 2.11 та 2.12.

Під час протікання струму через термоелемент, електрони здійснюють періодичні переходи між напівпровідником p-типу та металом, а також між напівпровідником n-типу та металом. Зонні діаграми таких переходів показані на рисунку 3.7. У першому випадку енергія електронів збільшується завдяки внутрішній енергії іонної решітки, тому ця сторона елементу охолоджується. У другому випадку електрони зменшують свою енергію, передаючи її іонній решітці, що призводить до нагрівання цієї сторони елементу.

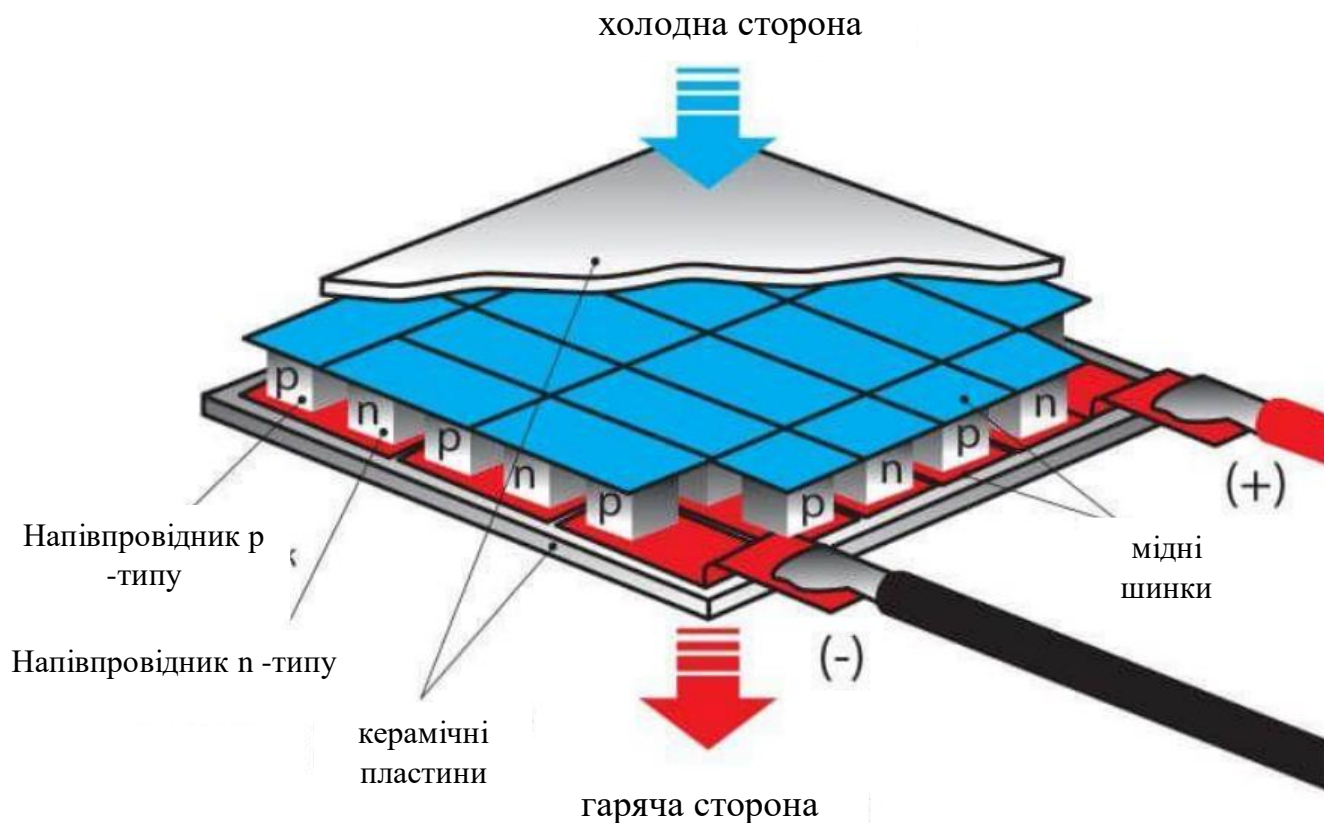


Рисунок 2.11 Конструкція елемента Пельтьє

На підставі цього зображення елемент Пельтьє можна розглядати як термоелектричний охолоджувач, що складається з послідовно з'єднаних напівпровідників р- та n-типу, які формують р-n- та n-p-переходи. Кожен з таких переходів має тепловий контакт з одним з двох радіаторів. Під час проходження електричного струму певної полярності виникає різниця температур між керамічними пластинами елемента Пельтьє: одна пластина виступає як холодильник, тоді як інша керамічна пластина нагрівається й відводить тепло.

Якщо детальніше розглянути дію ефекту Пельтьє, можна помітити, що в місці контакту двох матеріалів виникає контактна різниця потенціалів, яка породжує контактне електричне поле між ними. Якщо через цей контакт пропустити електричний струм, це поле може допомагати або перешкоджати йому. Так, якщо струм направлений проти вектора напруженості контактного

поля, то джерело ЕРС, що прикладається, здійснить роботу, що призведе до нагрівання місця контакту. У випадку, коли струм джерела направлений по вектору напруженості контактного поля, це поле підсилить проходження струму, а тепер поле зробить додаткову роботу по переміщенню зарядів, які завдяки цьому поглиблюються. Ця енергія відбирається у речовини, що призводить до охолодження місця спаю. Напівпровідники мають різні рівні енергій електронів у зоні провідності. Коли електрон переходить через місце контакту цих матеріалів, він набуває енергії для переходу в більш високоенергетичну зону провідності іншого напівпровідника пари. При поглинанні цієї енергії електроном відбувається охолодження місця контакту напівпровідників, а при проходженні струму в зворотному напрямку відбувається нагрівання місця контакту напівпровідників, додатково до звичайного джоулівського тепла. Якби в елементах Пельтьє використовувалися чисті метали замість напівпровідників, то парний ефект був би настільки малий, що помічне нагрівання значно перевищило б його.

Стандартний елемент Пельтьє (Рисунок 2.12) забезпечує значний температурний перепад, а відмінність температур між гарячим і холодним боці модуля Пельтьє може сягати $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

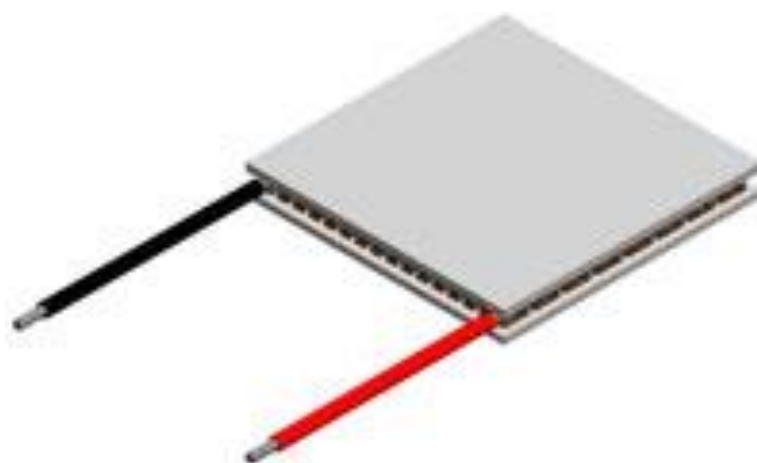


Рисунок 2.12 Зовнішній вигляд елемента Пельтьє

Важливо розуміти, що термоелектричний елемент Пельтьє здатен знижувати температуру на одному боці в порівнянні з іншим. Щоб холодна сторона мала низьку температуру, необхідно відвести тепло від гарячої поверхні, знижуючи її температуру. Для збільшення різниці температур можливе послідовне включення термоелектричних елементів Пельтьє, забезпечуючи адекватне їх охолодження. Це дозволить застосувати прості методи для отримання значного перепаду температур і забезпечити ефективне охолодження окремих елементів або систем. На рисунку 2.13 наведено приклад послідовного включення стандартних термоелектричних елементів Пельтьє у каскад.

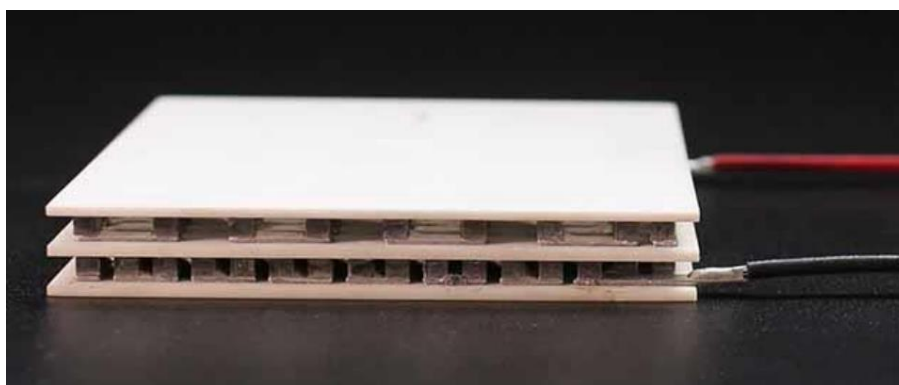


Рисунок 2.13 Типове каскадне включення

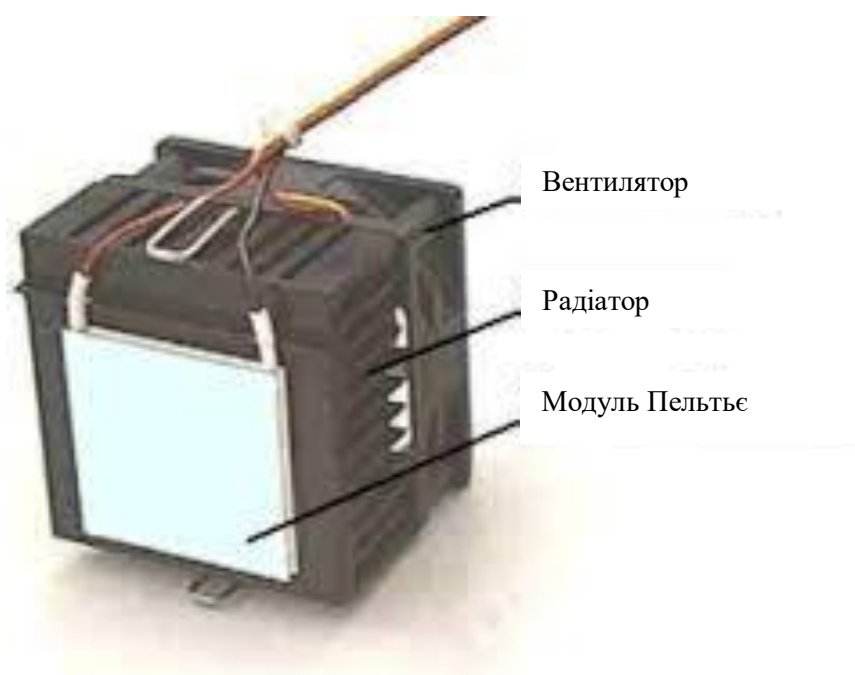


Рисунок 2.14 – Зовнішній вигляд кулера з модулем Пельтьє

Головна характеристика термоелектричного охолоджуючого пристрою це ефективність охолодження:

$$Z = \alpha^2 / (rl) \quad (2.4)$$

де α – коефіцієнт термоЕРС, r – питомий опір, l – питома теплопровідність напівпровідника. Параметр Z – функція температури і концентрації носіїв заряду, причому для кожної заданої температури існує оптимальне значення концентрації, при якій величина Z максимальна. Введення в напівпровідник тих чи інших домішок – основне доступний засіб змінювати його показники (α , r , l) в бажану сторону. Використання модулів Пельтьє в активних кулерах робить їх істотно більш ефективними в порівнянні зі стандартними типами кулерів на основі традиційних радіаторів і вентиляторів. Однак в процесі конструювання та використання кулерів з модулями Пельтьє необхідно враховувати ряд специфічних особливостей, що впливають з конструкції модулів, їх принцип роботи, архітектури сучасних апаратних засобів комп'ютерів і функціональних можливостей системного та прикладного програмного забезпечення.

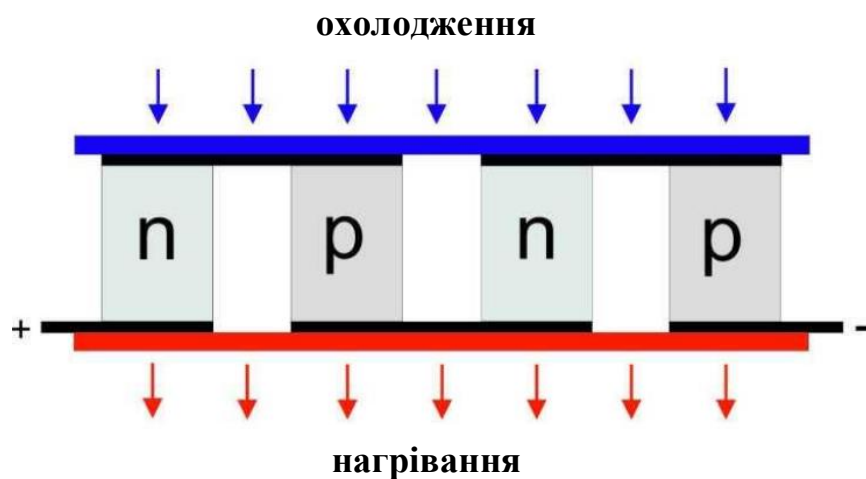
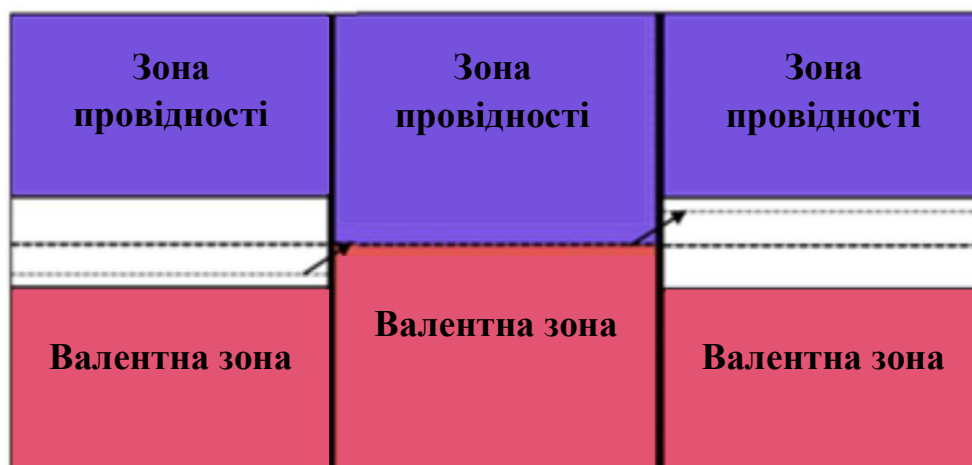
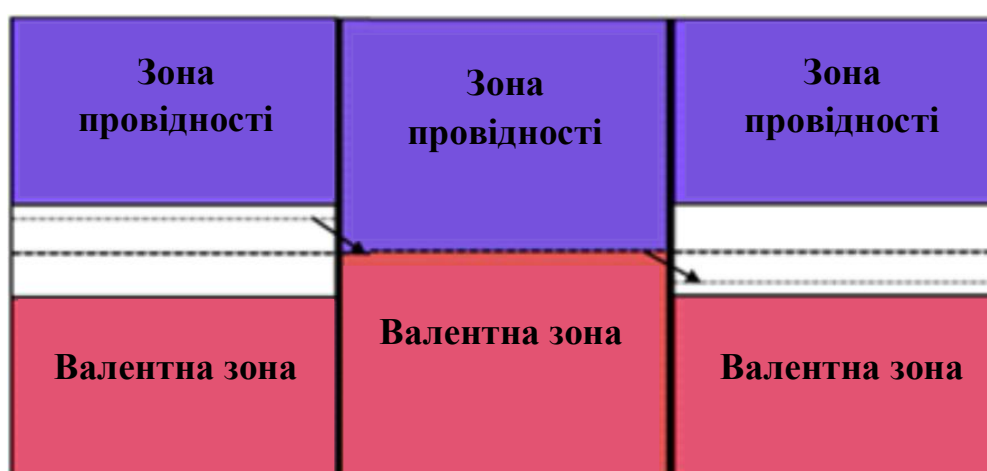


Рисунок 2.15 Схема елемента Пельтьє



Напівпровідник р-типу – метал – напівпровідник n-типу



Напівпровідник n-типу – метал – напівпровідник р-типу

Рисунок 2.16 Зонні діаграми напівпровідник р-типу (n-типу) – метал – напівпровідник n-типу (р-типу)

Додатково можна пояснити ефект Пельтьє шляхом генерації та рекомбінації електронно-діркових пар в напівпровіднику р-типу. Під час генерації енергія поглинається, а під час рекомбінації звільняється (див. рисунок 2.17).

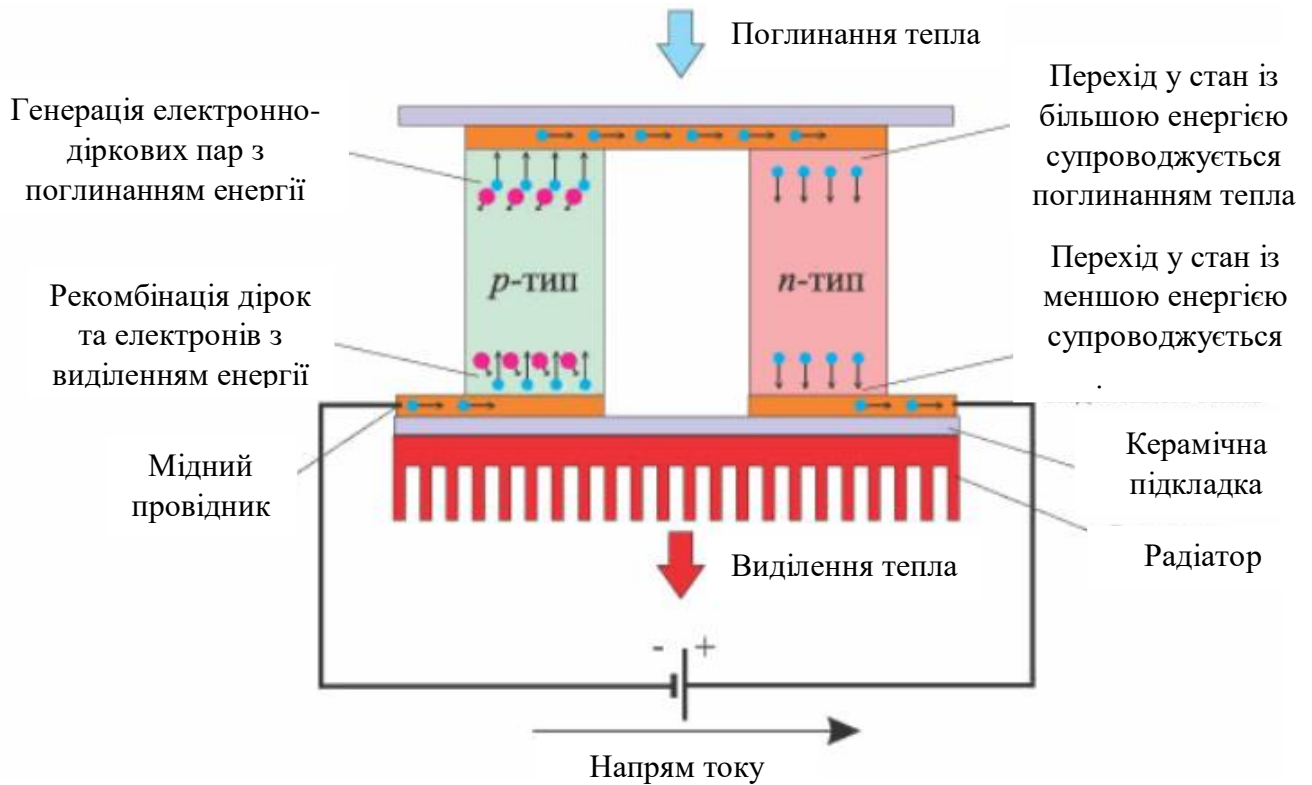


Рисунок 2.17 Принцип роботи елемента Пельтьє

2.4 Основні розрахункові співвідношення

Давайте розглянемо роботу термоелемента, який складається з двох напівпровідникових гілок з електронною і дірковою провідністю, а також з металевих контактних перемичок (див. рисунок 2.4). Постійний струм, що протікає в вказаному напрямі, призводить до нагрівання нижніх перемичок та охолодження верхніх. У цьому випадку верхню перемичку називають "холодним спаям" (з температурою T_x), а нижню - "гарячим спаям" (з температурою T_r). Тепловий потік, що поглинається (виділяється) на спаях термоелемента завдяки ефекту Пельтьє, визначається рівнянням:

$$Q_P = \bar{\alpha} \cdot T \cdot I, \quad (2.5)$$

де: $\bar{\alpha}$ - коефіцієнт термоЕРС, залежний від фізичних властивостей матеріалу і його температури; T температура контакту; I величина струму, протікаючого через контакт.

В ідеальному випадку кількість тепла, яку виділяє гарячий з'єднувач, перевищуватиме кількість тепла, яку поглинає холодний з'єднувач, на розмір споживаної електроенергії.

$$Q_{\Gamma} = N + Q_0. \quad (2.6)$$

Енергія, яка витрачається на виконання роботи A під час переміщення зарядів проти різниці електричних потенціалів, що виникають у ланцюзі при нерівності T_{Γ} та T_X , відповідно до закону Зеєбека. Тому

$$A = Q_{\Gamma} - Q_0 = \alpha \cdot (T_{\Gamma} - T_X) \cdot I \quad (2.7)$$

Коефіцієнт зворотного циклу термоелемента, в якому електронний газ виконує роль робочої речовини і не має необоротних втрат (таких як теплота Джоуля і теплопередача), дорівнює.

$$\varepsilon = \frac{Q_0}{A} = \frac{\alpha \cdot T_{\Gamma} \cdot I}{\alpha \cdot (T_{\Gamma} - T_X) \cdot I} = \frac{T_{\Gamma}}{T_{\Gamma} - T_X} \quad (2.8)$$

Величина ε відповідає холодильному коефіцієнту зворотного циклу Карно, оскільки тепло відводиться за постійної температури T_X , а підводиться до гарячого джерела за постійної температури T_{Γ} . Однак реальна робота термоелемента супроводжується незворотніми втратами двох типів: джоулеві втрати виникають під час протікання струму через провідник, а також в провідниках ланцюга відбувається передача тепла від гарячого спая до холодного через теплопровідність.

Джоулеві втрати визначаються співвідношенням:

$$Q_J = I^2 \cdot R \quad (2.9)$$

де R - опір обох гілок термоелемента.

При розрахунках приймають, що половина джоулевої теплоти передається до гарячих спаїв, а інша половина - до холодних.

Теплота, що передається від гарячого спая до холодного через теплопровідність, визначається рівнянням

$$Q_T = \frac{\lambda}{\delta} \cdot T_{\Gamma} - T_{\text{X}} \cdot F \quad (2.10)$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу; δ - довжина контакту; T_{Γ} , T_{X} - температура гарячої і холодної поверхні термоелемента; F - площа перерізу контакту.

Отже, холодопродуктивність термоелемента (кількість теплоти, що поглинається на холодному спаї термоелемента) визначається рівнянням

$$Q_0 = Q_P - 0,5Q_J - Q_T = \bar{\alpha} \cdot T_{\text{X}} \cdot I - 0,5 \cdot I^2 \cdot R - \frac{\lambda}{\delta} \cdot T_{\Gamma} - T_{\text{X}} \cdot F \quad (2.11)$$

Тепловий потік, що виділяється на гарячому спаї і передається в навколишнє середовище, обчислюється за формулою.

$$Q_{\Gamma} = Q_P + 0,5Q_J - Q_T = \bar{\alpha} \cdot T_{\Gamma} \cdot I + 0,5 \cdot I^2 \cdot R - \frac{\lambda}{\delta} \cdot T_{\Gamma} - T_{\text{X}} \cdot F \quad (2.12)$$

Потужність, споживана термоелементом, рівна

$$N = I^2 \cdot R + \bar{\alpha} \cdot T_{\Gamma} - T_{\text{X}} \quad (2.13)$$

Енергетична продуктивність (коефіцієнт охолодження) термоелектричного охолодження з урахуванням втрат обчислюється за допомогою рівняння.

$$\varepsilon = \frac{\bar{\alpha} \cdot T \cdot I - 0,5 \cdot I^2 \cdot R - \frac{\lambda}{\delta} \cdot T_{\Gamma} - T_X \cdot F}{I^2 \cdot R + \bar{\alpha} \cdot T_{\Gamma} - T_X} \quad (2.14)$$

Як показано, ефективність охолодження залежить від величини електричного струму, що протікає через термоелемент. Максимальне значення ефективності охолодження досягається при певному значенні електричного струму

$$I = \frac{\alpha \cdot T_{\Gamma} - T_X}{R \cdot \sqrt{1 + 0,5Z \cdot T_{\Gamma} - T_X} - 1} \quad (2.15)$$

Матеріали для термоелектричних перетворювачів описуються особливим параметром, що називається добротністю Z . Цей параметр визначається фізичними властивостями термоелектричного матеріалу, а саме: електропровідністю σ , теплопровідністю λ і коефіцієнтом термоЕРС α , що пов'язані між собою за допомогою формули.

$$Z = \frac{\sigma \cdot \alpha^2}{\lambda} \quad (2.16)$$

Максимальний теоретично досяжний потенціал термоелемента може бути визначений за допомогою формули

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_X}{T_\Gamma - T_X} \frac{\sqrt{1 + 0,5Z} \sqrt{T_\Gamma - T_X} - T_\Gamma / T_X}{\sqrt{1 + 0,5Z} \sqrt{T_\Gamma - T_X} + 1} \quad (2.17)$$

У формулі (2.13) перший доданок відображає ККД оборотного циклу Карно, тоді як другий враховує його зниження через необоротні втрати, пов'язані з теплопровідністю та ефектом Джоуля. Розрахункові значення ε_{\max} термоелемента за формулою (2.17) при температурі $T_\Gamma = 350$ К в залежності від Z та T_x , зображені на рисунку 2.18.

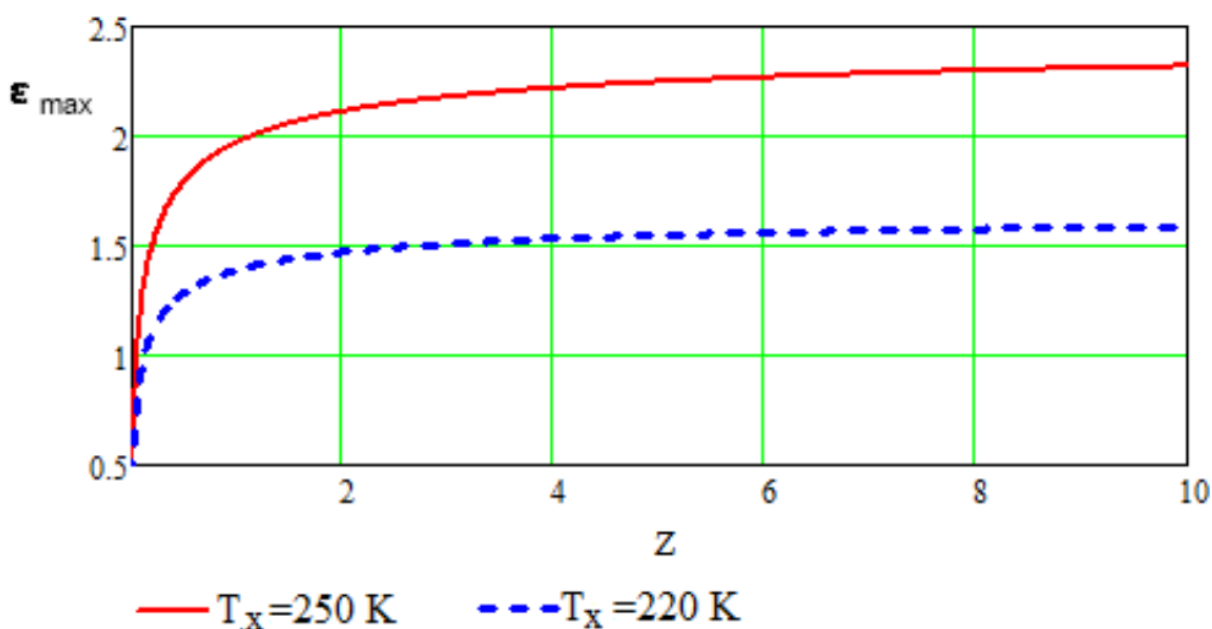


Рисунок 2.18 Значення максимального холодильного коефіцієнта термоелемента (7-350 К)

Холодильний коефіцієнт найбільш ефективно функціонує, коли величина Z підходить до нескінченності. Проте у природі відсутні матеріали, які одночасно мають високу електропровідність, теплопровідність і велику термоЕРС. Це пояснюється тим, що високу електропровідність забезпечують вільні електрони, які, в свою чергу, переносять тепло. Наприклад, діелектрики можуть мати велику термоЕРС, але вони характеризуються обмеженою кількістю вільних електронів та дуже низькою електропровідністю.

Тож, для досягнення високої ефективності термоелектричного охолодження необхідні матеріали з високим значенням добротності Z . У сучасний період кращі зразки термоелектричних матеріалів мають значення добротності від $\sim 3 \cdot 10^{-3}$ К-1, а значення добротності при кімнатних температурах в межах одиниць ($ZT \sim 1$). Експерти припускають, що поява термоелектричних матеріалів із значенням добротності $ZT \approx 4$ зробить термоелектричні охолоджувачі та генератори конкурентоспроможними за рівнем енергоефективності порівняно з іншими пристроями.

2.5 Розробка конструкції та системи керування контролера елемента Пельтьє

2.5.1 Управління елементом Пельтьє та вимоги до контролера

Елемент Пельтьє є складним напівпровідниковим пристроєм, що вимагає точного контролю. Вимоги до керуючого контролера є важливими, так як не виконання цих вимог у багатьох розробках може винести негативні наслідки, особливо при цілодобовому режимі роботи.

Пульсації струму, що проходить через елемент Пельтьє, не повинні перевищувати 5%. В порушення цієї умови може призвести до різкого зниження ефективності модуля (за деякими даними на 30-40%), знижуючи його ККД в режимі охолодження до близько 60%. Така деградація може мати критичний вплив. Використання традиційної схеми живлення з нестабілізованим блоком живлення (трансформатор, випрямляч, конденсатор) вимагає великої ємності згладжуючого конденсатора. Крім того, навіть конденсатори не зможуть уникнути низькочастотних дрібних коливань напруги мережі живлення на рівні 220 В.

Перший висновок полягає в тому, що контролер має жити модуль Пельтьє стабілізованим струмом з низьким рівнем пульсацій. Використання релейного регулятора для управління модулем Пельтьє неефективне через швидку деградацію. Через кожне включення-виключення, напівпровідникові кристали модуля деградують. Виробники елементів Пельтьє нормують кількість

циклів старт-стопів модуля, але навіть для побутових модулів це може призвести до вичерпання ресурсу модуля за 1-2 місяці.

Елемент Пельтьє має високу теплопровідність, тому при відключенні тепла від зовнішнього радіатора, тепло переходить в холодильник через модуль. Це може нагрівати повітря в установці.

Тому контролер повинен постійно тримати охолоджуючий модуль включеним, плавно змінюючи потужність на ньому. Часте включення - вимикання модуля Пельтьє не припустиме.

Безпосередньою температурою гарячої пластини модуля є ключовим фактором для ведення елемента Пельтьє в робочому стані. Температура охолоджуючої поверхні модуля залежить від температури гарячої поверхні. Тому контролер повинен контролювати температуру зовнішнього радіатора холодильника, щоб уникнути надмірного нагрівання модуля Пельтьє.

2.5.2 Вимоги до контролера елемента Пельтьє, пов'язані зі специфікою експлуатації холодильної установки

Крім вимог, пов'язаних з елементом Пельтьє, існують специфічні умови експлуатації холодильника, які також потрібно враховувати. Система управління повинна забезпечувати стабільну і точну температуру в камері холодильної установки, уникати різких коливань температури. Реакція зміни температури повітря на зміну електричної потужності охолоджуючого модуля може займати значний час (декілька десятків хвилин) і потребує математичного забезпечення регуляторів для врахування цієї особливості.

Оскільки пристрій працює в цілодобовому режимі, вимагається високий коефіцієнт корисної дії при невисокому енергоспоживанні. Бажано, щоб користувач мав змогу самостійно встановлювати максимальну потужність.

Крім того, система включає декілька компонентів, розташованих поза контролером (такі як датчики температури, вентилятор, модуль Пельтьє). Система повинна мати можливість автономно діагностувати всі ці компоненти і забезпечувати захист від фатальних помилок, перегріву, та інших неполадок.

2.6 Особливості експлуатації модулів Пельтьє

Пельтьє, що застосовуються в складі засобів охолодження електронних елементів, відрізняються порівняно високою надійністю і в відміню від холодильників, створених за традиційною технологією, не мають рухомих частин.. Щоб збільшити їх ефективність, можна застосовувати каскадне використання, що дозволяє знижувати температуру електронних компонентів до мінусових значень навіть при їх значній потужності розсіювання.

Важливо враховувати специфічні властивості модулів Пельтьє при їх використанні в системах охолодження.

До найважливіших характеристик відносяться наступні особливості експлуатації:

- Модулі, що виробляють значну кількість тепла, потребують наявності ефективних радіаторів та кулерів для відведення надмірної теплоти.
- ККД термоелектричних модулів є відносно низьким, що може призводити до підвищення температури всередині корпусу комп'ютера при їх використанні для охолодження електронних компонентів.
- Споживана потужність модулів Пельтьє становить значне навантаження на блок живлення, яке повинно мати потужність не менше 250 Вт.
- При виході з ладу модуля Пельтьє відбувається ізоляція охолоджуваного елемента від радіатора з кулером, що може спричинити швидке порушення теплового режиму та вихід з ладу елемента що захищається від перегріву.
- Термоелектричні модулі відповідають технічним характеристики протягом двох років, враховуючи умови зберігання та експлуатацію. Вони можуть прослужити дуже довго, якщо не нагріватися до температури плавлення олова.

При використанні модулів Пельтьє слід враховувати їхні особливості, такі як вибір напруги живлення та можливість ефективного тепловідведення.

2.7 Надійність термоелектричних модулів охолодження

2.7.1 Загальні рекомендації

Термоелектричні модулі охолодження відомі своєю високою надійністю завдяки твердотільній конструкції. Для більшості застосувань вони забезпечують тривалий і безперебійний сервіс. Наприклад, в процесі експлуатації було зафіксовано, що деякі термоелектричні модулі працювали безперервно протягом двадцяти років і більше, перевищуючи термін служби відповідного обладнання. Однак точно визначити надійність термоелектричних пристроїв важко, оскільки вона в значній мірі залежить від конкретного застосування.

Наприклад, у випадку обладнання з постійним охолодженням, де до модуля постійно подається рівномірний постійний струм, надійність термоелектричного модуля вважається надзвичайно високою. В середньому час до відмови (СЧНВ), який перевищує 200 000 годин, у таких випадках - не рідкість, і це значення зазвичай вважається стандартом галузі.

Навпаки, при застосуванні термоелектричних модулів в умовах циклічних змін температур, показники СЧНВ значно погіршуються, особливо при циклічному зростанні температур до високих значень.

Точно визначити надійність термоелектричного модуля неможливо, оскільки існує безліч параметрів і умов застосування, які впливають на кінцевий результат. Більше того, дані про надійність можуть бути дійсними лише для тих умов, в яких проводилися випробування, і не обов'язково можуть бути застосовані до інших конфігурацій.

Враховуючи це, для користувачів було проведено декілька тестових програм для отримання даних про надійність, проте до цього часу результати випробувань представлено лише для обмеженої кількості ситуацій.

Далі будуть описані загальні вимоги до належного встановлення термоелектричних модулів, щоб мінімізувати можливість передчасного виходу модуля з ладу через неправильну техніку монтажу. Також будуть розглянуті фактори, пов'язані з установкою, які можуть впливати на надійність модуля,

включаючи методи монтажу, системи контролю живлення, технології контролю температури, температурні профілі, а також безліч зовнішніх факторів.

2.7.2 Фізичний вплив на термоелектричні модулі

Термоелектричні модулі виявляють високу міцність у режимі стискання, однак міцність на зсув є порівняно низькою. Охолоджувач термоелектричного модуля не повинен використовуватися як основний опір в механічній конструкції системи. У випадках сильних ударів та вібрацій термоелектричний модуль має бути встановлений таким чином, щоб його стискання забезпечувалося методом затискання.

Максимально рекомендоване навантаження на стискання для термоелектричних модулів становить 15 кг/см^2 , випробування продемонстрували, що стискання більше 75 кг/см^2 зазвичай може застосовуватися до більшості модулів без збоїв. Важливо забезпечити належний тиск при встановленні модулів методом затискання, щоб модуль не був зажатий занадто слабо і міг бути легко переміщений застосуванням невеликої бічної або поперечної сили. Особливу увагу слід звернути на крихкі модулі, оскільки вони можуть стати проблемою, коли декілька модулів згруповані в одному охолоджуючому вузлі. У таких випадках відсутність належної сили затискання може призвести як до зниження продуктивності охолодження, так і до передчасного виходу модуля з ладу. При встановленні декількох модулів в масиві, рекомендується використовувати модулі з точним допуском до висоти в межах $\pm 0,03 \text{ мм}$. В усіх випадках сила затискання повинна застосовуватися рівномірно, а сполучні поверхні повинні бути рівними.

Волога не повинна потрапляти всередину термоелектричного модуля для запобігання зниження охолоджувальних характеристик та можливої корозії матеріалів модулів через електрохімічну дію або електроліз. При охолодженні нижче точки роси необхідно забезпечувати герметизацію вологи або на самому модулі, або між радіатором та охолоджуванним об'єктом в зоні, що оточує термоелектричний модуль. Наприклад, силіконовий каучук RTV може служити

для безпосереднього ущільнення термоелектричного модуля. Гнучка ізоляційна стрічка або листовий матеріал, що містить пінопластову піну, у поєднанні з каучуком, може використовуватися для ущільнення між холодним предметом та радіатором.

Якщо застосування модулів передбачає значні перепади температури або теплову циклічність, їх не слід встановлювати за допомогою припою або епоксидної смоли, оскільки це може призвести до жорсткого зчеплення об'єкта з модулем і викликати ранній вихід модуля з ладу через теплові напруження внаслідок циклічних змін температури. Замість цього для установки модулів рекомендується застосовувати гнучке кріплення, таке як термопаста, фольга з графіту або індію, що може компенсувати циклічні зміни температури. Також не рекомендується жорстке кріплення з обох сторін модулів для пристроїв розміром більше 15 мм.

2.7.3 Вплив високих температур на надійність термоелектричних модулів

Зазвичай виходи з ладу термоелектричного модуля можна поділити на дві категорії: катастрофічні відмови та відмови через деградацію. Відмови через деградацію, як правило, мають тривалий характер і зазвичай спричинені зміною параметрів напівпровідникового матеріалу або збільшенням електричного опору контакту. Підвищена температура може спричинити зміну параметрів матеріалу та призвести до зниження термоелектричних характеристик. У фрамуги був проведений тест, під час якого термоелектричні модулі серії Ferrotec 95 були піддані тривалому впливу підвищеної температури (150 °C) в звичайних умовах повітря. Протягом тестування відповідні параметри модуля регулярно вимірялися та фіксувалися. Один з цих параметрів - максимальна різниця температур (Δt_{\max}) - відслідковувався протягом 42-місячного періоду, а середнє значення було показано на графіку (рисунок 2.13). Можна побачити, що невелике (2,5%) зниження Δt_{\max} відбулося протягом перших 12 місяців впливу підвищеної температури, зі сповільненням темпу зменшення. Проте протягом наступних 30

місяців додаткове зниження ΔT_{\max} склало лише близько 1,3%, оскільки характеристики напівпровідникового матеріалу стабілізувалися.

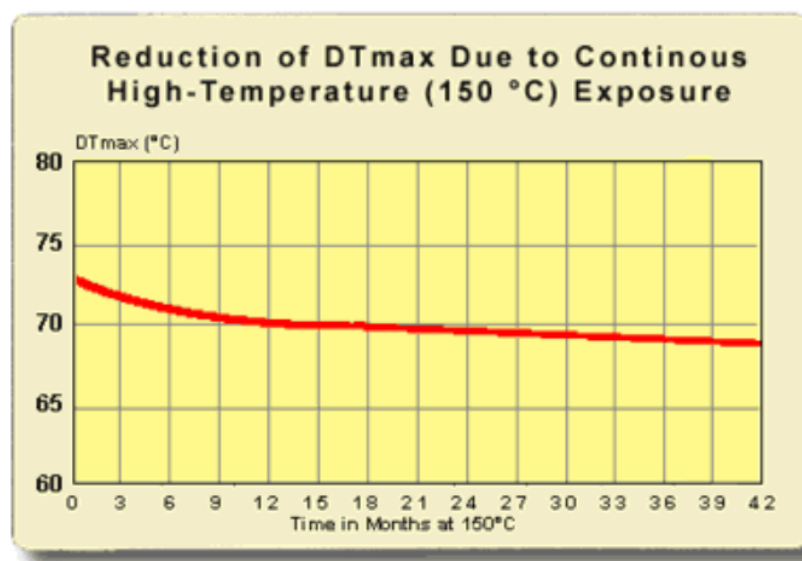


Рисунок 2.19 – Зменшення максимальної різниці температур в часі під дією довготривалих впливів високих температур

2.8 Переваги та недоліки елементів Пельтьє

Перевагами елементів Пельтьє є їх компактні розміри, відсутність рухомих частин, газів та рідин. Ці елементи можуть як охолоджувати, так і нагрівати при зміні напрямку струму, надаючи можливість термостатування за температур, як вище, так і нижче навколишнього середовища. Також вони не мають механічних частин, уникаючи виникнення шуму. Однак недоліком елементів Пельтьє є невеликий ККД порівняно із компресорними холодильними системами на фреоні, що призводить до високого споживання енергії для досягнення помітної різниці температур.

Незважаючи на це, ведуться розробки для підвищення теплового ККД, і елементи Пельтьє знаходять широке застосування в техніці, забезпечуючи можливість досягнення температур нижче 0°C без додаткових пристроїв. Важливо враховувати особливості матеріалів для елементів Пельтьє, які повинні одночасно проводити електричний струм і слабо проводити тепло.

Застосування елементів Пельтьє розповсюджене в різних областях, таких як автомобільна техніка, фотокамери, лазери, комп'ютери, медичне обладнання, побутова техніка, оптична апаратура та інше. Важливо враховувати їхні обмеження, такі як велике споживання енергії та необхідність правильної експлуатації. Також ведуться експерименти можливістю інтегрування мініатюрних модулів Пельтьє безпосередньо в процесори для покращення їх охолодження та продуктивності.

2.9 Елементи Пельтьє як термогенератор

Для створення термоелектрогенераторів використовують напівпровідникові термоелектричні матеріали, які забезпечують найвищий коефіцієнт перетворення тепла в електрику. Існує значний список речовин, що мають термоелектричні властивості які включають в себе багато сполук, проте лише окремі з них придатні для конвертації теплової енергії. Сучасна наука активно вивчає нові напівпровідникові композиції, і прогрес в цій області визначається не лише теорією, але й практикою, враховуючи складні фізичні процеси, що відбуваються у термоелектричних матеріалах.

На сьогоднішній день можна однозначно заявити, що не існує такого термоелектричного матеріалу, який повністю задовольняє промисловість своїми властивостями. Основним інструментом для створення такого матеріалу є експеримент. Найважливішими властивостями напівпровідникового матеріалу для термоелектрогенераторів є:

- ККД: Бажано максимально високий коефіцієнт корисної дії;
- Технологічність: Здатність до будь-якого виду обробки;
- Коефіцієнт термо-ЕРС: Прагнення до максимального значення для спрощення конструкції;
- Токсичність: Бажано відсутність або мінімальний вміст токсичних елементів (наприклад, свинець, вісмут, телур, селен) або їх інертний стан (у складі сплавів);

- Робочі температури: Бажаний широкий температурний діапазон для використання високо потенційного тепла та відповідно збільшення теплової потужності.

2.10 Види елементів Пельтьє

В сучасних інтернет-магазинах доступні найрізноманітніші термоелектричні модулі Пельтьє, які відрізняються за електричними параметрами, розміром, температурними характеристиками та кількістю вбудованих термопар. На рисунку 2.20 представлено типовий одношаровий термоелектричний модуль Пельтьє. Два тонкі керамічні шари (виготовлені з оксиду алюмінію) розташовані у верхній та нижній частині модуля і служать каркасом, для всього модуля опорою для внутрішніх термопар. [9]



Рисунок 2.20 – Одношаровий термоелектричний модуль Пельтьє

У керамічних пластинах зазвичай виявляється висока теплопровідність, а їхні характеристики включають вогнестійкість і міцність. Мідні підкладки

прикріплені до цих пластин і з'єднані напівпровідниковими термопарами, які в свою чергу послідовно з'єднані.

Пайка напівпровідникових термопар відбувається при виробництві модулів Пельтьє за допомогою легкоплавкого припою на спеціальному обладнанні при температурі приблизно 145 °С, оскільки напівпровідникові елементи не можуть перегріватися. З цього випливає, що модулі виходять нерозбірними, і зазвичай на краю наноситься силіконовий герметик.

Якщо розібрати такий модуль з цікавості, можна помітити кубики різнорідних напівпровідників (р-типу та n-типу), які припаяні до мідних підкладок і з'єднані один з одним у послідовний ланцюг змійкою. Варто відзначити, що спочатку на мідні підкладки наноситься легкоплавкий припій, а тільки потім встановлюються компоненти термопар.

Якщо виконати всі кроки, як показано на рисунку 2.21, отримаємо 127 рп-та 127 пр-переходів, причому всі пр-переходи (з плюса до мінуса для напрямку струму) будуть розташовані на одному боці модуля, тоді як усі рп-переходи – на протилежному боці.



Рисунок 2.21 – Елемент Пельтьє в розібраному стані

На мідних шинах, де струм рухається в напрямку n-p-переходу, теплота поглинається (відбувається прискорене охолодження цієї частини модуля), тоді як у тих місцях, де струм пересувається в напрямку p-n-переходу, ця теплота (теоретично) вивільнюється. Таким чином, модуль Пельтьє переміщує тепло з однієї керамічної пластини на іншу.

Один із найбільш популярних одношарових модулів, TEC1-12705, що коштує близько 60 гривень, користується великим попитом на сайті AliExpress. Розміри модуля становлять 40 на 40 мм, товщина – 3,8 мм. З'єднані послідовно 127 термопар при температурі навколишнього середовища 25°C надають внутрішній опір модуля від 2,5 до 2,8 Ом.

Робочий струм даного пристрою коливається в межах від приблизно 4,3 до 4,6 А при подачі номінальної напруги 12 вольт. Максимальна напруга досягає 15,4 вольт при граничному струмі 5,8 А. Гранична різниця температур складає 65 °C, а максимальна холодильна потужність становить 42 Вт. Діапазон робочих температур модуля варіюється від -55 до 85 °C.

На рисунку 2.22 відображено двошаровий модуль TEC2-25408, який складається з двох модулів TEC1-12704, з'єднаних паралельно. Однак розміри цього модуля становлять 40 x 40 мм, а товщина – 8 мм. Даний двошаровий охолоджувач може виробляти до 70 Вт холодильної потужності при використанні 96 Вт електричної потужності.



Рисунок 2.22 – Двошаровий модуль елементів Пельтьє

Внутрішній опір даного модуля у відключеному стані приблизно 1,5 Ом. Максимально допустима різниця температур в робочому режимі – 65 °С. З цього можна зрозуміти, що при однаковій граничній різниці температур модуль TEC2-25408 буде ефективніше відводити тепло (охолоджувати), а саме приблизно в півтора рази.

На рисунку. 2.23 відображено чотирьох шаровий модуль TEC4-24603, який має ширину 40 мм, товщину 13,6 мм і призначений для роботи при напрузі 14,6 вольт та номінальному струмі 3 А. При споживанні потужності в 44 Вт, цей модуль може надати холодильну потужність 6,8 Вт і забезпечити різницю температур до 107 °С.

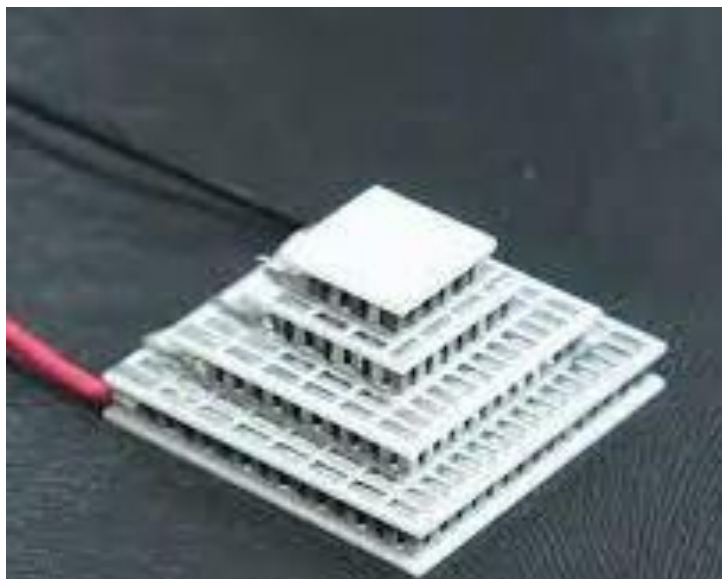


Рисунок 2.23 – Чотирьох шаровий модуль елемента Пельтьє

Основні компоненти включені послідовно. Як і в усіх модулях Пельтьє, цей чотиришаровий варіант вимагає наявності радіатора та не рекомендується використовувати безперервно.

На поточному етапі представлений шести шаровий модуль Пельтьє ТЕС6-60506 (рис. 2.24), призначений для роботи при номінальній напрузі 30 вольт та струмі 6 А. Зі шириною 62 мм і товщиною 23 мм, цей модуль з електричною потужністю 180 Вт може гарантувати різницю температур до 100 °С і холодильну потужність на рівні 10 Вт. Такий модуль можна використовувати у системах, призначених для глибокого заморожування. [10]

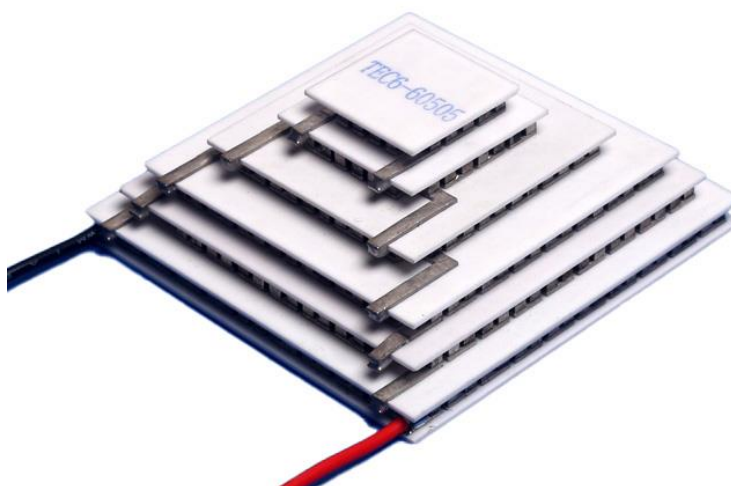


Рисунок 2.24 – Шестишаровий модуль елементів Пельтьє

2.11 Сфери використання

Щоб використовувати елемент Пельтьє на практиці, науковці провели кілька досліджень, які вказали на те, що ефективність відведення тепла зростає зі збільшенням кількості з'єднань двох матеріалів. Чим більше з'єднань матеріалів, тим суттєвіше підвищення ефекту. У багатьох випадках такий елемент використовується для охолодження електронних пристроїв та зниження температури в мікросхемах.

Зазначимо деякі сфери їх використання:

- пристрої нічного бачення;
- цифрова камера;
- пристрої зв'язку;
- мікросхеми, які вимагають ефективного охолодження;
- охолоджувач для телескопа;
- кондиціонер;
- точні годинники та система охолодження кварцового електричного генератора;
- холодильник;
- водяний кулер;
- автомобільний холодильник;
- відеокарта.

Елементи Пельтьє часто використовуються в системах охолодження та кондиціонування. Це дає можливість досягти низьких температур, що розкриває перспективи використання для охолодження обладнання з підвищеним рівнем нагріву.

На сьогоднішній день фахівці використовують елементи Пельтьє в акустичних системах. Елементи Пельтьє вважаються безшумними. Ця технологія стала популярною завдяки високій ефективності відведення тепла. Сучасні моделі елементів мають компактні розміри, а системи охолодження з

радіаторами здатні підтримувати потрібну температуру протягом тривалого часу.

Ще однією перевагою елементів є довгий термін служби, оскільки вони виготовлені у вигляді монолітного корпусу і ймовірність поломок дуже низька. Ця проста конструкція включає два мідних провідника із з'єднаннями та клемми, і керамічну ізоляцію.

Наразі конструкція має обмежений перелік застосувань, але її застосування розширюється за рахунок побутових пристроїв, автомобілів та комп'ютерів. Важливо відзначити, що елементи Пельтьє широко використовуються для охолодження високопродуктивних мікропроцесорів, замінюючи традиційні вентилятори. Завдяки встановленню модулів із зазначеними елементами зменшився шум приладів.

Питання щодо можливості заміни традиційних схем охолодження в холодильниках на схеми, що використовують ефект Пельтьє, на сьогоднішній день малоімовірно через їхній низький коефіцієнт корисної дії. З огляду на високу вартість схем з використанням ефекту Пельтьє, їх важко впроваджувати у холодильниках.

Висновки до розділу

У даному розділі досліджено сфери застосування елементів Пельтьє, їх різновиди та технологічну значимість для функціонування в обмежених межах комп'ютерних корпусів, портативних пристроїв і холодильників. Також розглянуті методи відновлення електроенергії за допомогою ефекту Зеебека.

Передбачається використовувати автономні радіатори опалення з вбудованими елементами Пельтьє, спільно з іншими джерелами альтернативної енергії, а не відокремлено. Такий підхід дозволить кожному з відновлюваних джерел енергії компенсувати недоліки іншого, досягаючи максимальної ефективності. Під час опалення будинку елементи Пельтьє матимуть можливість повертати частину використаної теплової енергії в електроенергію, відразу в

мережу або для її акумуляції. Це буде актуально навіть у випадку, коли на вулиці відсутній вітер для вітрогенераторів або сонячне світло для сонячних панелей.

Також можна сказати, що історично термоелектричні ефекти були відомі з давніх часів, проте практичне використання термоелектричної технології вимагало часу. Розвиток теорії і підходів, що стимулюють подальше дослідження в цій області, відзначається значним прогресом.

У цілому, розвиток технології термоелектрики свідчить про потенціал цієї галузі для підвищення енергоефективності та сталого розвитку в області охолодження та нагрівання.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

3.1 Розроблення систем опалення та інтеграція автономного джерела живлення на основі елементів Пельтьє

Каміни з водяним контуром є ключовою складовою систем комбінованого опалення та відрізняються своєю роботою від звичайних печей та камінів. Такі каміни дозволяють максимально використовувати енергію горіння палива для нагрівання води, яка накопичується та зберігається в теплоаккумуляторі і її подальше використовується в системі опалення. ККД камінів з водяним контуром може сягати до 80% і більше в залежності від конструкції, а також виду і якості використовуваного палива. Зазвичай такі каміни оснащуються повітропроводами для постачання теплого повітря в приміщення. [11]

Розглянемо основні конструкції камінів з водяним контуром. На рисунку 3.1 зображено камін, довкола топки якого розташована ємність з водою, відома як водяна сорочка. Водяна сорочка разом з трубопроводами утворює перший контур системи опалення, який є замкнутим. Рух води в ньому відбувається природнім чином під час нагрівання. Другий контур складається з трубопроводів лінії подачі і зворотної лінії, а також радіаторів опалення. Тепло передається від першого контуру до другого за допомогою пластинчастого теплообмінника.

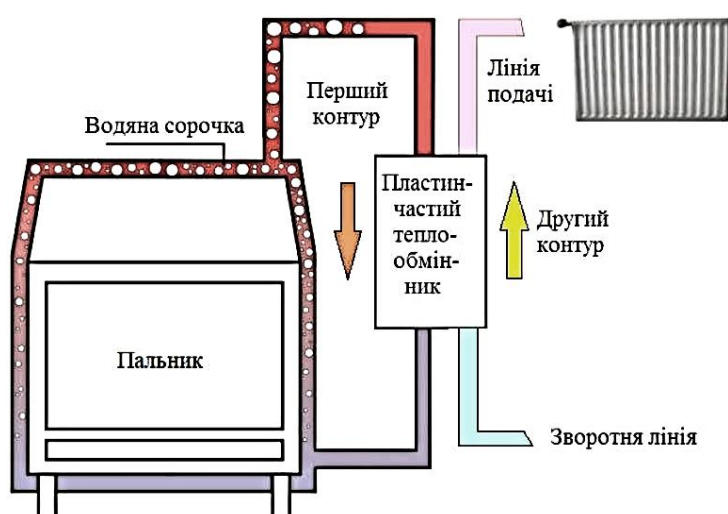


Рисунок 3.1 Камін з водяною сорочкою

Недоліками цього каміну є повільний рух теплоносія, великі втрати тепла в пластинчастому теплообміннику, ймовірність засмічення його прохідного перерізу твердими частками та ризик розриву водяної сорочки при сильному перегріві.

Турбокамін з теплообмінником (рисунок 3.2) є набагато ефективнішим у порівнянні з камином з водяною сорочкою (рисунок 3.1). У цій конструкції трубчастий теплообмінник вбудований безпосередньо в водяну сорочку каміна, створюючи одноконтурну систему опалення. ККД такої системи значно вищий, оскільки тепло передається від каміна безпосередньо через водяну сорочку до теплообмінника, який з'єднаний з радіаторами опалення.

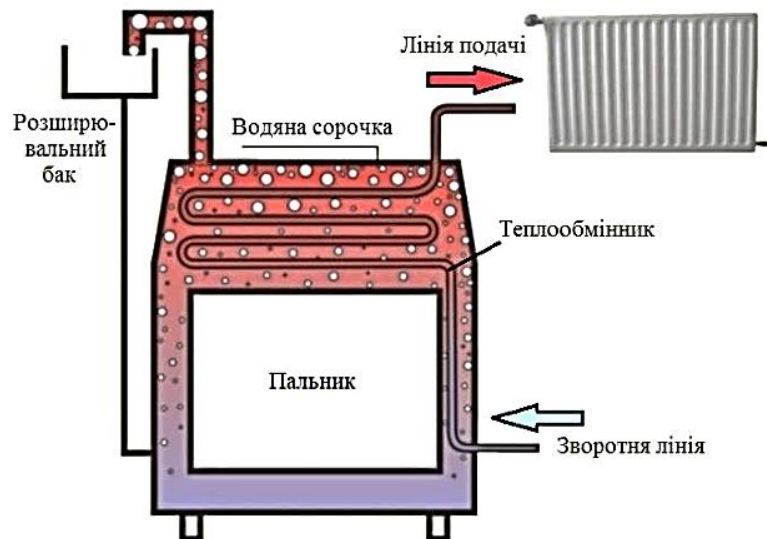


Рисунок 3.2 Камін з теплообмінником

На прикладі розглянемо камінну топку з водяною сорочкою AMELIA/PW/24/W/DECO польського заводу Kratki (рис. 3.1). Даний камін має такі основні технічні характеристики:

потужність 24 кВт;

площа обігріву складає 120 – 240 м²;

потужність теплообмінника – 20 кВт;

ємність теплообмінника – 20 л.

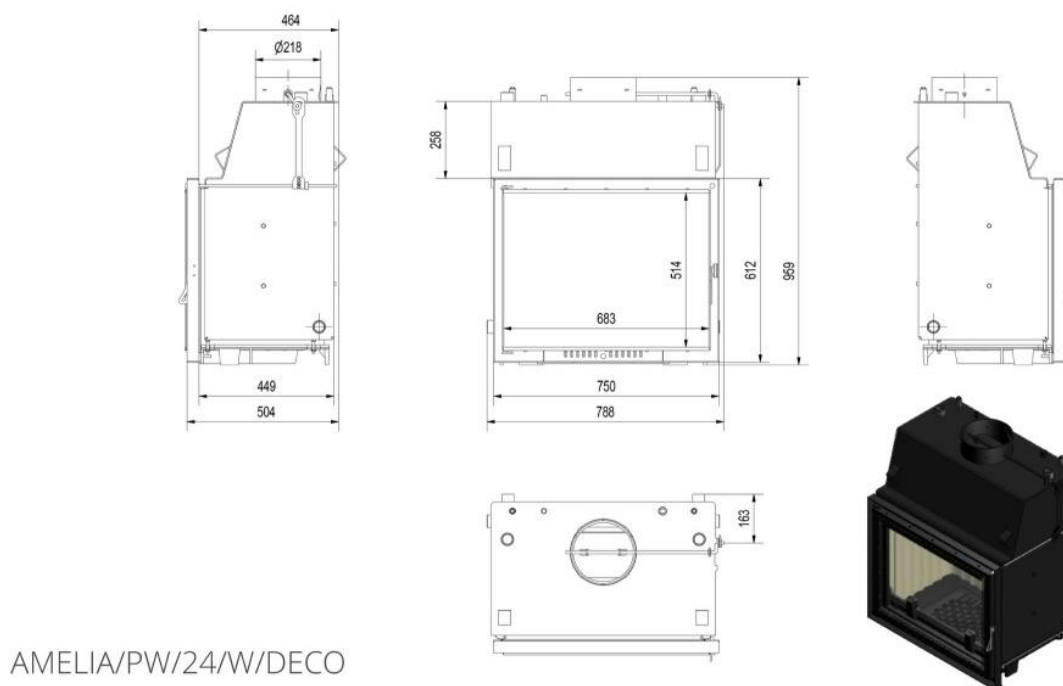


Рисунок 3.3 Камінна топка з водяною сорочкою Kratki
AMELIA/PW/24/W/DECO

Завдяки наведеним схемам (рис. 3.3) можна зрозуміти загальну будову камінної топки з водяним контуром та схему її включення до системи водяного опалення будинку.

Основна конструкція камінної топки з водяним контуром включає в себе сталевий корпус із водяним плащем (16), який містить камеру згоряння (1). Спереду камеру згоряння закривають чавунні дверцята (2) із жароміцним керамічним склом (3) та запірним механізмом (4).

Ці двері прикріплені до сталевому корпусу за допомогою чавунної рами (5). Внизу камера згоряння (1) обмежена чавунною підставою (6), яка кріпиться болтами до сталевому корпусу, і в якій розташована камера для збору золи. На цій підставі встановлені чавунні колосникові ґрати (10), на яких безпосередньо відбувається спалювання дров. Колосникові ґрати мають бути встановлені ребрами вгору. Чавунний бар'єр для дров (11) захищає від їх висипання при відкритті дверей (2). Відходи від процесу горіння, такі як зола і незгоріле паливо, накопичуються в висувному зольному ящику (7) під колосниковими ґратами. У передній частині зольного ящика встановлена вітрина (8) з механізмом

регулювання для контролю подачі первинного повітря для горіння (9). Вторинне повітря, необхідне для дозгорання залишкових газів і запобігання забрудненню жаростійкого скла (3), подається через щілину, розташовану над верхнім краєм скла.

Над камерою згоряння розташовані кип'ятильні труби (17), які створюють природні конвекційні шляхи для переміщення димових газів і водночас підвищують ефективність тепловіддачі. Протягом експлуатації димові газу обволікають стінки камери згоряння, проходять поміж кип'ятильними трубами в димозбірник (12) після цього потрапляють в димар. Над димозбірником розташована регульована обертова заслінка (шибер або кагла) (13). Для управління шибером передбачений спеціальний механізм (14), що приводиться в дію за допомогою поворотної ручки (15).

Приплив циркулюючої води з установки в водяний контур камінної топки здійснюється через нижні патрубки (18). Вихід прогрітої води з водяного контура в опалювальну систему здійснюється через верхні патрубки (19). Останні патрубки (20) служать для кріплення датчика температури (MSK) (21) зміювика та (22) датчика термічного клапана.

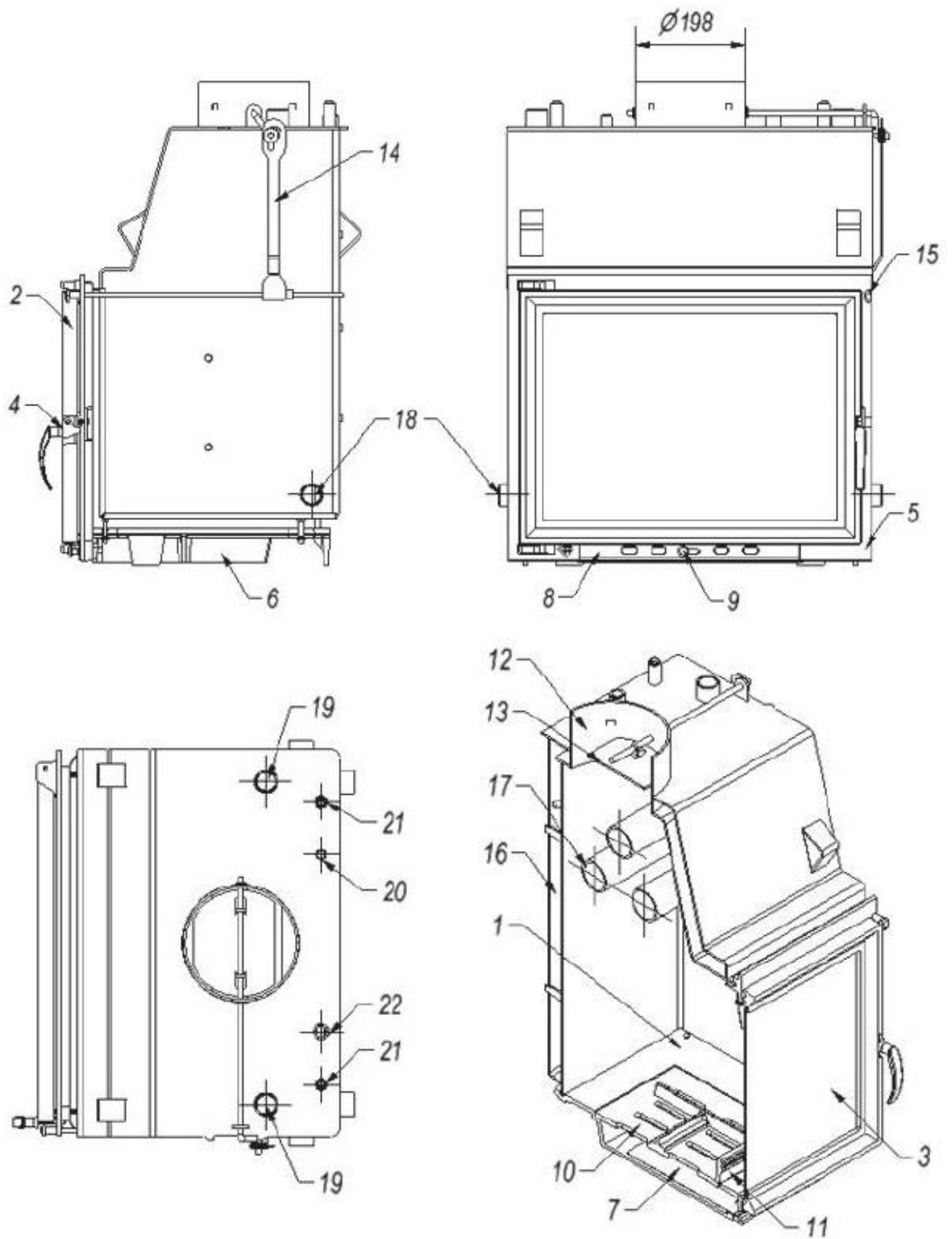


Рисунок 3.4 Схема внутрішньої будови камінної топки з водяним контуром

Нарисунку 3.5 розглянемо схему підключення топки з водяним контуром у відкритій системі.

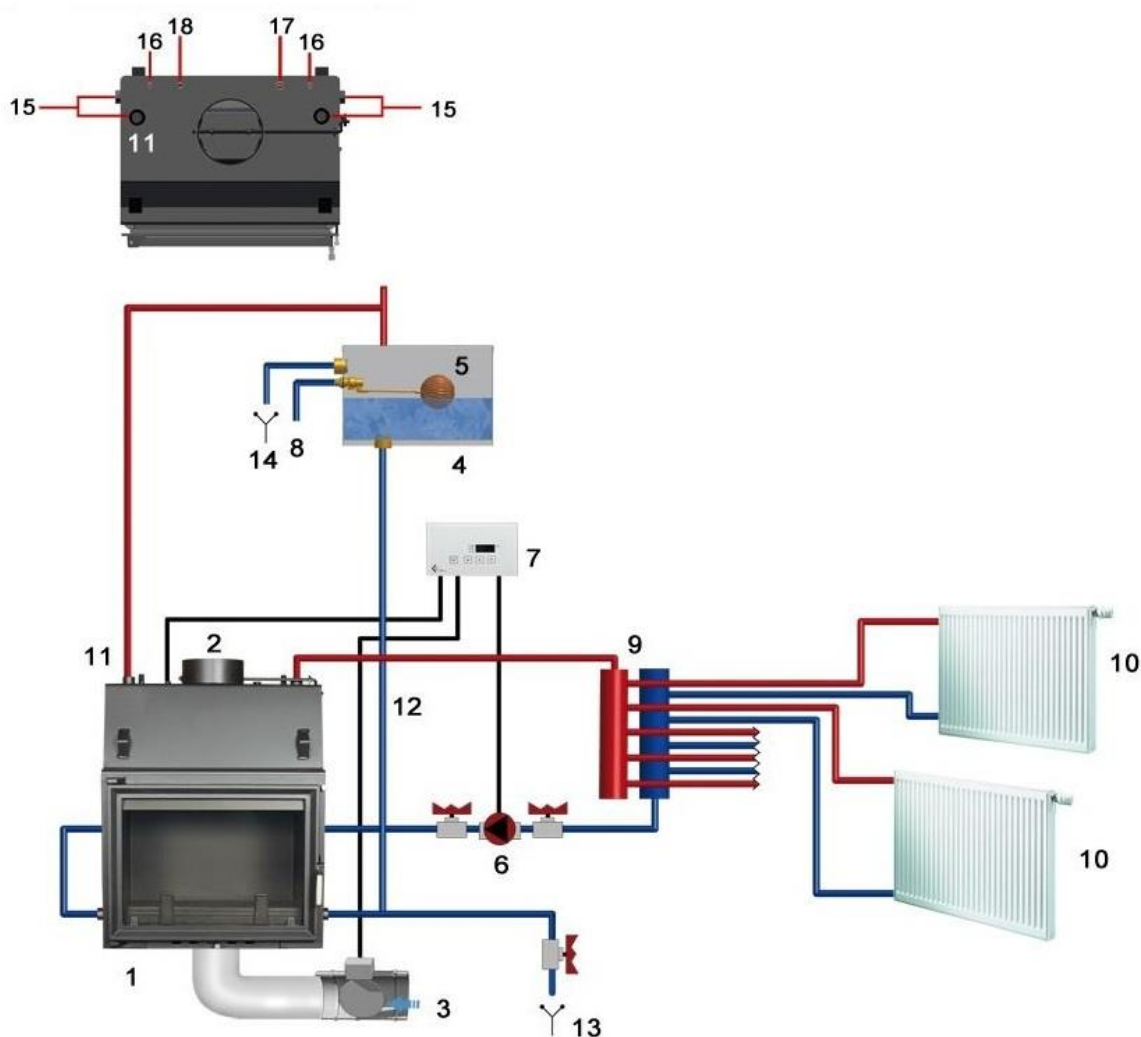


Рисунок 3.5 Схема підключення топки з водяним контуром у відкритій системі

1. Камінна топка з водяним контуром
2. Вихід димових газів
3. Підведення зовнішнього повітря під куруванням електричного насоса
4. Відкритий розширювальний бачок
5. Автоматичне поповнення водою (з водопроводу)
6. Насос центрального опалення
7. Блок управління MSK GLASS
8. Підведення водопровідної води
9. Розподільник системи Ц.О.
10. Радіатор Ц.О.

11. Запобіжна труба хв. 25 мм внутрішній діаметр
12. Розширювальна труба хв. 25 мм внутрішній діаметр
13. Труба для спуску води в каналізацію
14. Переливна труба аварійного скидання в каналізацію
15. Патрубки для підведення і відведення води для циркуляції (1 "вн. діам.)
16. Патрубок кріплення зміювика (1/2" діам.)
17. Патрубок кріплення датчика термостатичного клапана (1/2 "вн. діам.)
18. Гніздо кріплення температурного датчика блоку MSK GLASS

З метою уникнення перегріву води у центральній системі опалення можна використовувати вбудований теплообмінник. У такому випадку, всередині водяного контура монтується зміювик, який відповідає за охолодження води.

Зміювик виготовлений із мідної трубки діаметром 12 мм, причому обидва його кінці виступають за межі каміна. Щоб теплообмінник виконував свої функції, одночасно встановлюється термічний захист камінної топки (процесу нагріву води в каміні) з термостатичним клапаном. Цей клапан регулює температуру води, а не тиск і встановлюється в трубу, що подає воду з водопроводу в зміювик.

Термостатичний клапан з'єднаний з датчиком температури через мідну трубку завдовжки 1,3 метра. Датчик температури розташований на спеціально відведеному патрубку (отвір 18), який занурюється безпосередньо в воду водяного контура. Таким чином, термостатичний клапан, розташований на іншому кінці мідної трубки, контролює температуру цієї води. Коли температура води в водяному контурі досягає 97 °С, клапан відкривається, дозволяючи холодній воді з водопроводу потрапити в зміювик. Таким чином, вода в водяному контурі починає охолоджуватися.

Це технічне рішення має ще одну важливу перевагу - воно не залежить від електропостачання. Холодна вода з системи водопостачання може проходити через зміювик у будь-якому напрямку, і це не впливає на ефективність його роботи. [12]

Для швидкого розігріву радіаторів використовується циркуляційний насос, який створює примусову циркуляцію води в опалювальній системі. Надлишкова вода у сорочці турбокаміну, виникаючи внаслідок її розширення від нагріву, виводиться в розширювальний бак, а потім, охолоджена, повертається назад у водяну сорочку. Для ефективної роботи турбокаміну потрібна система автоматичного регулювання.

Однак, циркуляційний насос, система автоматики та виконавчі механізми, а також освітлення приміщення турбокаміну, вимагають значних електрозатрат. Цих витрат можна уникнути, забезпечивши турбокамін автономним джерелом живлення. Одним із можливих варіантів є використання сонячних батарей. Однак вартість сонячних панелей та потреба в акумуляторах для накопичення електроенергії роблять цю систему витратною та громіздкою.

Най більш оптимальним та ефективним рішенням для забезпечення безперебійного живлення системи опалення турбокаміну може бути використання термоелектричної батареї, вбудованої безпосередньо в камін. Для цього пропонується використовувати елементи Пельтьє, а саме елемент ТЕС1-12706. Це дозволить ефективно використовувати енергію тепла, що генерується турбокаміном, для виробництва електроенергії. Це дозволить виробляти та використовувати електроенергію лише тоді, коли камін працює, забезпечуючи повну автономію від зовнішньої електромережі. [13]

Для ефективної роботи елементів термоелектричної батареї у турбокаміні, запропоновано використовувати подвійну водяну сорочку – одна буде слугувати для охолодження, а друга для нагрівання. Розташування холодної водяної сорочки повинно бути ближче до зовнішніх стінок каміна, тоді як гарячу слід помістити ближче до пальника. Між цими сорочками необхідно розташувати елементи Пельтьє термоелектричної батареї. При такому розташуванні елементів Пельтьє, забезпечити стабілізацію температури можливо шляхом перемішування води в гарячій водяній сорочці за допомогою циркуляційного насосу. Для поповнення води в гарячій водяній сорочці, можна використовувати розширювальний бак, а нагріту воду з холодної водяної сорочки можна виводити

в каналізацію, поповнюючи її періодично холодною водою з водопровідної мережі.

Щоб уникнути передачі тепла від гарячої до холодної сорочки через вузький проміжок повітря, де розташовані елементи Пельтьє, всі порожнини доцільно заповнити теплоізоляційним матеріалом з властивостями, суттєво перевищуючими повітря. Керування кількістю води та температурою у водяних сорочках турбокаміну може здійснюватися за допомогою циркуляційного насоса, розширювального бака та системи автоматики.

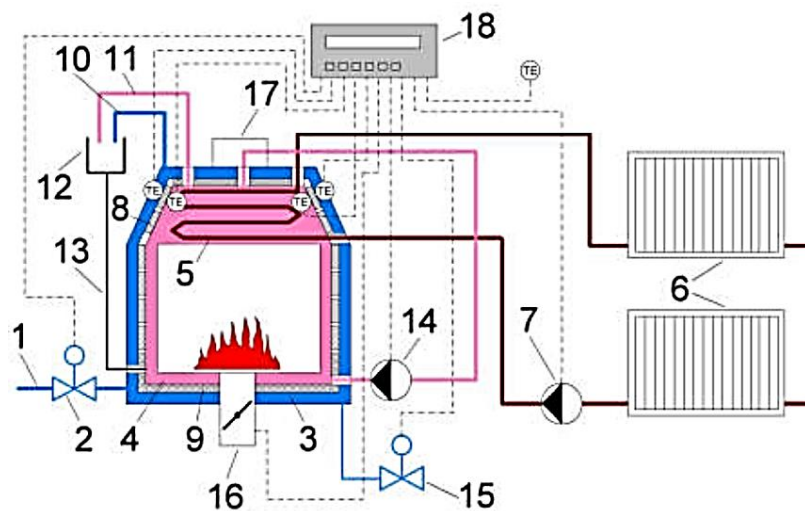


Рисунок 3.6 – Структурна схема турбокаміну з подвійною водяною сорочкою

Структурна схема турбокаміну з подвійною водяною сорочкою показана на рисунку 3.6. Холодна вода подається з трубопроводу 1 через кран з електроприводом 2, яка подається у холодну водяну сорочку 3. У гарячій водяній сорочці 4 розташований теплообмінник 5 для системи опалення будинку. Цей теплообмінник 5 з'єднаний з радіаторами 6 та циркуляційним насосом 7, що забезпечує рух нагрітої води в замкнутій системі: теплообмінник 5 – радіатори 6 – циркуляційний насос 7 – теплообмінник 5. Елементи Пельтьє термоелектричної батареї 8 розташовані між контурами подвійної водяної сорочки турбокаміну. Простір між сорочками заповнено теплоізоляційним

матеріалом 9. Надлишкова вода з обох контурів подається в розширювальний бак 12. Охолоджена вода з баку 12 подається у гарячу водяну сорочку 4.

Циркуляційний насос 14 використовується для примусового переміщення води з верхньої частини гарячої водяної сорочки 4, де температура найвища, до нижньої частини, де температура нижча. Це дозволяє регулювати температуру стінок гарячої водяної сорочки 4, до якої приєднані елементи термоелектричної батареї. Якщо температура води в холодній водяній сорочці 3 підніметься вище допустимого рівня, то електроприводний кран 15 відкриється, вивільняючи нагріту воду в каналізацію.

Для керування електроприводами кранів 2 та 15, засувкою 16, циркуляційними насосами 7 та 14 використовується система автоматики турбокаміна 18. Дані від датчиків температури ТЕ, розташованих у гарячій і холодній водяних сорочках каміну, подаються до системи автоматики. Ці датчики відстежують температурний перепад на елементах термоелектричної батареї та передають сигнали для вмикання циркуляційних насосів, кранів та засувки.

Подачу холодної води з водопровідної мережі регулює кран 2, направляючи її в нижню частину холодної водяної сорочки 3. Тут температура води буде найнижчою. Важливо відзначити, що аналогічна ситуація із найнижчою температурою вода спостерігається і в нижній частині гарячої водяної сорочки 4. Це призводить до виникнення необхідного перепаду температур, який є ключовим для ефективної роботи елементів термоелектричної батареї Пельтьє. Збереження необхідного перепаду температур дозволяє елементам Пельтьє працювати оптимально в будь-якій частині турбокаміну.

Запропонований турбокамін, який інтегрований у систему опалення, надає можливість ефективно опалювати будинок протягом тривалого періоду, створюючи комфорт і затишок у домі. Використання різноманітного деревного палива ідеально підходить для цієї системи, дозволяючи отримати повністю

автономну систему нагрівання води для опалення, яка практично не залежить від зовнішніх джерел живлення.

Висновок до розділу

Каміни з водяним контуром, відзначаються високою ефективністю та можливістю використання тепла від горіння палива для опалення, це і є ключовою складовою комбінованих систем опалення. Їхній ККД може сягати до 80% і більше, залежно від конструкції та якості палива. Особливу увагу заслуговує турбокамін з теплообмінником, в який вбудований безпосередньо в водяну сорочку, створює одноконтурну систему опалення з високим ККД.

Для забезпечення безперебійного живлення системи турбокаміну пропонується використовувати термоелектричну батарею з елементами Пельтьє. Це дозволить ефективно використовувати енергію тепла для виробництва електроенергії, забезпечуючи автономію від зовнішніх джерел електропостачання. Такий підхід виявляється оптимальним та ефективним для забезпечення незалежного живлення системи.

Розглянута концепція турбокаміну з подвійною водяною сорочкою та використанням термоелектричної батареї відкриває перспективи для створення енергоефективних та автономних систем опалення. Це дозволяє забезпечити комфорт, екологічність та енергонезалежність у опалювальних системах, приводячи до нових можливостей в галузі використання теплової енергії.

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використовуючи такий метод наукових досліджень як експеримент, спробуємо, беручи за основу теоретичні наукові дослідження, створити джерело безперебійного живлення для побутового газового котла на елементах Пельтьє.

Візьмемо два термоелементи – один для охолодження (термоелемент Пельтьє TEC1-12710, рис. 4.1), інший для генерації електроенергії, тобто для нагрівання (термоелектричний елемент SP1848-27145, рис. 4.2), а також алюмінієву трубку для встановлення в систему опалення.



Рис. 4.1 Термоелемент Пельтьє TEC1-12710



Рис. 4.2 Термоелектричний елемент SP1848-27145 Модуль Зеебека генератор струму

Термоелементи мають однакові розміри (40*40 мм), але відрізняються товщиною, оскільки TEC1-12710 має товщину 3,2 мм, а SP1848-27145 – 3,8 мм. Алюмінієва трубка має параметри 40*40 мм довжиною 40 см (отже, на ній можна розмістити до 40 елементів з чотирьох сторін, по 10 штук на кожній), але для експерименту достатньо використати всього 2 елементи. На краях приваримо два

штуцери розміром $\frac{3}{4}$ дюйма для під'єднання до системи опалення, яка влаштована за схемою:

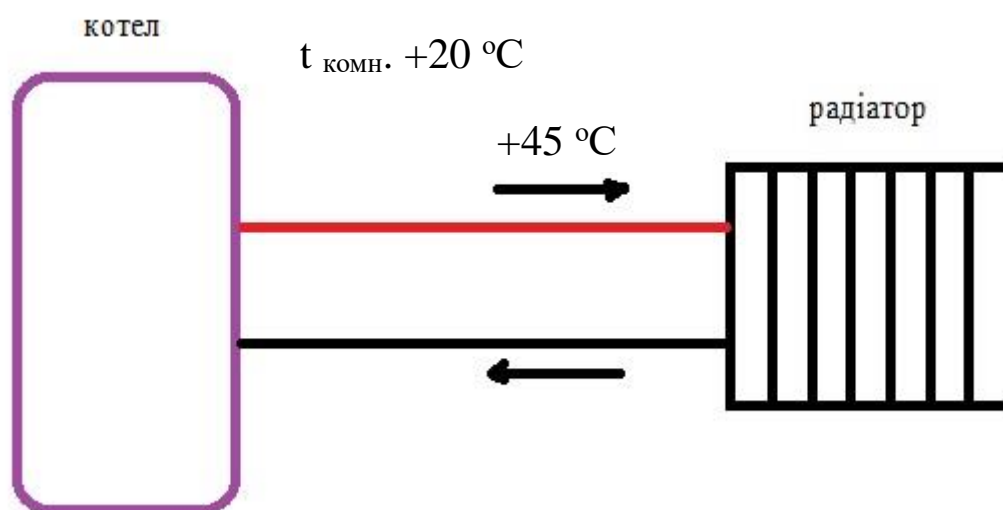


Рис. 4.3 Схема системи опалення газувим котлом

Отже, з побутового газувого котла подається тепло на радіатор опалення середньою температурою подачі приблизно $45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Повітря в приміщенні водночас має прогріватися до температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, отже, $\Delta = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Перевіримо, чи можливо забезпечити повну автономію газувому котлу за допомогою елементів Пельтьє в умовах відсутності централізованої подачі електроенергії (під час перебоїв, які часто трапляються в житті українців у сучасних реаліях, особливо в холодну пору року, і ця проблема потребує вирішення).

При різниці температур $\Delta 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ під час роботи системи опалення відбувається втрата частини тепла назовні, яка інтенсивно охолоджується, тому на елементах Пельтьє Δ температур буде $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для експерименту знадобиться, крім елементів Пельтьє і алюмінієвої трубки, два термометри, невеликий вентилятор обдуву, мультиметр. Перевіримо потужність, яку може генерувати елемент Пельтьє, якщо його установити на систему подачі гарячої води для опалення приміщення від побутового газувого котла. Виміряємо середню температура води з котла – приблизно дорівнює $45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З'єднаємо алюмінієву трубку, елементи Пельтьє, додавши збоку для обдуву невеликий вентилятор, під'єднаємо термометри. Виміряємо температуру елементів Пельтьє: сторона, що охолоджується має температуру 24,6 °С, генератор струму – 44,5 °С.

Напруга холостого ходу на початку експерименту становить 0,6 V. Створюємо різне навантаження та вимірюємо напругу за допомогою мультиметра. Якщо навантаження 4,5 Ом, то напруга падає до 0,45 V, а якщо 2 Ом - напруга падає до 0,3 V.

Напруга на елементах Пельтьє без навантаження становить 1,2 V за температури 76 °С (SP1848-27145) і 29 °С (TEC1-12710). Напруга на елементах Пельтьє з навантаженням при $\Delta 55$ °С становить 0,9 V за температури 75 °С (SP1848-27145) і 30 °С (TEC1-12710).

Спробуємо встановити елементи Пельтьє всередині газового котла. Для цього потрібно зняти кришку котла і вставити туди елементи Пельтьє. Заміряємо температурні показники: 50 °С (SP1848-27145) і 39 °С (TEC1-12710), різниця температур $\Delta 11$ °С, що є занадто низьким значенням для ефективної роботи системи опалення за таких умов.

Напруга холостого ходу становить 0,3 V. Створюємо різне навантаження та вимірюємо напругу за допомогою мультиметра. Навантаження 4,5 Ом - напруга падає до 0,25 V, а якщо 2 Ом - напруга падає до 0,15 V. Бачимо, що проводити вимірювання далі недоцільно і можна зробити висновок, що встановлювати елементи Пельтьє всередині газового котла неефективно.

Результати проведення експерименту подаємо у вигляді графіка, що відображає потужність, яку генерують елементи Пельтьє при різній температурі.

Якщо розглядати елементи в порівнянні, то помітно, що різниця в потужності невисока. Різниця є тільки в тому, що на більш товстому елементі Пельтьє (SP1848-27145) теплопередача між двома зонами (холодною і теплою) гірша, ніж на тоншому (TEC1-12710), відповідно і потужність, що генерується, дещо вища. Більш суттєвих відмінностей в результаті експерименту виявлено не було.

Для зручності дані також подаємо в таблиці (Табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Зміна потужності, що генерується елементами Пельтьє,
залежно від Δ температур

	Р, що генерується SP1848-27145	Р, що генерується TEC1-12710
$\Delta 10$ °C	0,011 Вт	0,011 Вт
$\Delta 20$ °C	0,045 Вт	0,045 Вт
$\Delta 30$ °C	0,093 Вт	0,091 Вт
$\Delta 40$ °C	0,12 Вт	0,12 Вт
$\Delta 50$ °C	0,135 Вт	0,135 Вт

Як зазначено в таблиці, для елемента SP1848-27145 при $\Delta 30$ °C – 0,093 Вт, а для елемента TEC1-12710 при $\Delta 30$ °C – 0,091 Вт, тобто різниця 0,002 Вт мізерна.

Побудуємо графік на основі таблиці (для наочності знехтуємо мізерною різницею потужності у 0,002 Вт). Можемо бачити практично лінійні результати. Наприклад, якщо в приміщенні буде $\Delta 20$ °C, то потужність, що генерується - близько 0,045 Вт. Якщо спробувати збільшити Δ вдвічі, до 40 °C, то потужність, що генерується, збільшиться до 0,12 Вт.

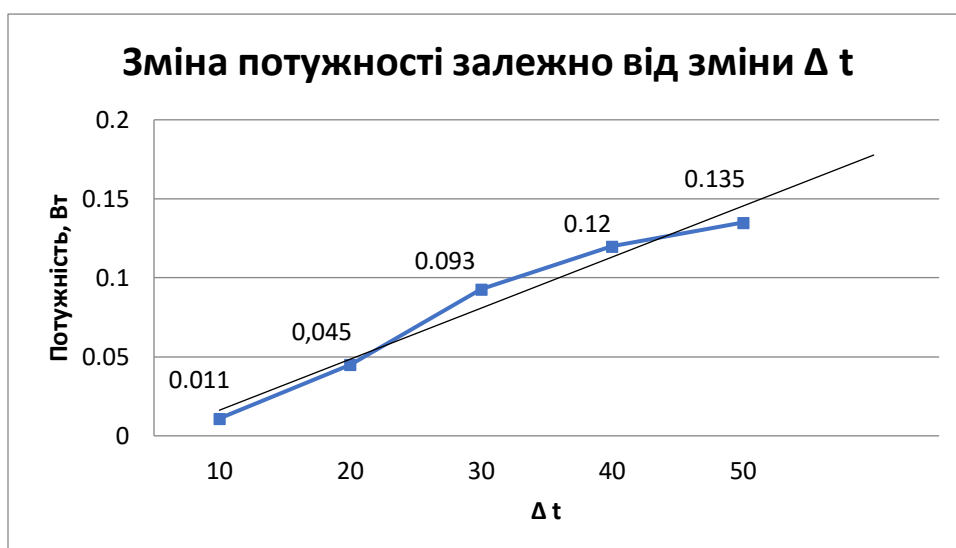


Рис. 4.4 Графік зміни потужності, що генерується елементами Пельтьє, залежно від Δ температур

Споживання електроенергії досліджуваного газового котла близько 100 Вт. Шляхом модернізації споживання можна зменшити до 70-80 Вт (завдяки переміщенню циркуляційних насосів), але менше споживання встановити неможливо. При $\Delta 20$ °C – 0,045 Вт нам потрібно буде 2222 елементи, тобто значно більше, ніж вміщає спроектована алюмінієва трубка (40 штук). Досліджуваний газовий котел розташований у приміщенні, але якщо зробити вихід на вулицю і тим самим збільшити Δ температур, то знадобиться 833 елементи Пельтьє. У приватному будинку теоретично така модернізація можлива. Орієнтовна вартість встановлення залежить від вартості елементів Пельтьє. За актуальними на сьогодні цінами вартість встановлення такої системи буде більше 120 000 грн. Основна перевага її в тому, що термін придатності такої системи необмежений, попри високу вартість.

Враховуючи характеристики елементів Пельтьє, шляхом експерименту вдалося створити джерело безперебійного живлення для побутового газового котла. Отже, як видно з проведеного експерименту, елементи Пельтьє можуть бути використані як альтернативне джерело живлення.

Висновки до розділу

Висновки до даного експерименту вказують на можливість використання елементів Пельтьє як альтернативного джерела живлення для побутового газового котла. Зокрема, було проведено експериментальні вимірювання потужності, яку можуть генерувати елементи Пельтьє за різних температурних умов. Ці елементи встановлювались на систему опалення, отримуючи тепло від побутового газового котла.

Також звернемо увагу на основні аспекти дослідження:

1. Ефективність елементів Пельтьє: Використані елементи Пельтьє, зокрема TEC1-12710 і SP1848-27145, продемонстрували прийнятну потужність при різниці температур, що свідчить про їхню ефективність у генерації електроенергії.

2. Технічні характеристики: Різниця у товщині між використаними елементами не суттєво вплинула на їхню потужність, що вказує на те, що обрані елементи можуть бути використані з певною гнучкістю в залежності від конкретних умов.

3. Можливість використання у побуті: При наявності достатньої кількості елементів Пельтьє та правильної конфігурації системи, можливо створити джерело безперебійного живлення для газового котла.

4. Економічні та практичні аспекти: Однак, на даний момент, вартість встановлення такої системи дороговартісний, що варто враховувати при розгляді практичності та ефективності впровадження.

5. Можливість застосування в приватних будинках: З урахуванням характеристик елементів Пельтьє та результатів експерименту, така система може бути розглянута як альтернатива у приватних будинках, де важлива автономність системи опалення.

Отже, використання елементів Пельтьє для створення джерела безперебійного живлення для газового котла виглядає перспективно, і його можна врахувати при розробці систем опалення з використанням альтернативних джерел енергії.

Висновки

У висновку можна зазначити, що дослідження основних типів систем опалення вказує на їхню велику різноманітність, кожна з яких має свої унікальні переваги та обмеження. Врахування факторів, таких як розмір приміщення, кліматичні умови та економічні обмеження, є ключовим при виборі оптимальної системи опалення для конкретного об'єкта.

Майбутнє розвитку систем опалення пов'язане з інтеграцією різних технологій та підходів. Зокрема, використання Інтернету речей (IoT) та штучного інтелекту в системах опалення відкриває широкі перспективи для створення сучасних, комфортних та енергоефективних середовищ у будівлях. Інтелектуальні системи можуть значно поліпшити зручність управління та забезпечити високий рівень енергоефективності.

Окрім того, висвітлено можливості використання альтернативних джерел енергії, таких як термоелектричні елементи Пельтьє, в системах опалення. Це відкриває нові шляхи для підвищення ступеня енергоефективності та сталості систем опалення.

У цілому, майбутнє розвитку систем опалення буде визначатися комплексним підходом, який поєднує різноманітні технології та стратегії з метою створення більш ефективних, економічних та екологічно чистих рішень для опалення будівель.

Список використаних джерел

1. Опалення для будинку. Порівняння різних видів опалювальних систем [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://teploceramic.ua/ua/sistemy-otopleniya-doma-sravnenie-ch-1.html>;
2. Клімат-центр [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://klimat-center.cv.ua/teplovyi-nasos/>
3. Сонячне опалення (гелеосистеми) [Електронний ресурс] Режим доступу: [<https://kyivterm.com.ua/sonyachne-opalennya-geleosistemy/>]
4. . Розумний будинок: опалення [Електронний ресурс] Режим доступу: [<https://unidim.com.ua/ua/blog/umnyy-dom-otoplenie>]
5. StudFile [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5252431/>
6. Камінні топки [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://kaminova.ua/blog/pidklyuchennya-topok-kratki-z-vodyanym-konturom>
7. Каміни з водяним контуром – турбокаміни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://makroterm.by/akademia-znanij/Kaminy.html>.
8. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с
9. Каміни з водяним контуром – турбокаміни [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://makroterm.by/akademia-znanij/Kaminy.html>.
10. Температура теплоносія в системі опалення – норми, максимальна і мінімальна температура [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://stroyka-gid.com.ua/idei-dla-doma/10531-temperatura-teplonosia.html>.
11. Шевельков А.В. Хімічні аспекти створення термоелектричних матеріалів / А. В. Шевельков // Успіхи хімії. 2008. Т. 77, № 1. С. 3-21

12. Петко І. В. Електропобутова техніка: підручник / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 234 с.
13. Луценко В.Ю., Жагров А.С. Експериментальне дослідження періодичного перехідного режиму роботи термоелектричного генератора. - Термоелектрика № 3, 2016. – С. 65 -71.
14. ДСН 3.36.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень»;
15. Модернізація системи опалення шляхом застосування турбокаміну та інтегратора / І.Р. Ващишак, О.В. Лаврик. - Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ.-2018. - № 4 (69). – стор. 57-69.
16. Snarskii, A. A. Rotating thermoelectric device in periodic steady state [Text] / A. A. Snarskii, I. V. Bezudnov // Energy Conversion and Management. — 2015. — Vol. 94. — P. 103–111.
17. Ma, M. A numerical study on the temperature overshoot characteristic of a realistic thermoelectric module under a current pulse operation [Text] / M. Ma, J. Yu // International Journal of Heat and Mass Transfer. — 2014. — Vol. 72. — P. 234–241.
18. Mao, J. N. The transient behavior of Peltier junctions pulsed with supercooling [Text] / J. N. Mao, H. X. Chen, H. Jia, X. L. Qian // Journal of Applied Physics. — 2012. — Vol. 112, № 1. — P. 014514-1–014514-9.
19. Термометри: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://proagregat.com/kipia/shema-elektronnogo-termometra-s-vynosnym-datchikom-svoimi-rukami/>
20. Блоки живлення: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://videodozor.com.ua/68-istochniki-pitaniia>
21. Мікроконтролери: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Atmel/micros/avr/attiny11.htm>