

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність № 142

«Енергетичне машинобудування»

ОПП: «Монтаж і обслуговування

холодильно-компресорних

машин та установок»

Група: 4КВ - 07

Дипломний проєкт
здобувача освіти денного відділення
4КВ 07. 023. 000 ДП

Чернобеля Андрія
Михайловича

м. Одеса - 2024 р

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність 142
Енергетичне машинобудування
Група 4 КВ-07

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
КВ. 07. 023. 000 ДП

До дипломного проекту на тему:

Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє
лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт

Проектний матеріал складається з пояснювальної записки
на _____ сторінках та графічного матеріалу на _____ аркушах.

Дипломник _____ (Чернобель А.М.)

Керівник проекту _____ (Жупанов І.А.)

Консультанти:

з економічної частини _____ (Кухарук А.А.)

з будівельної частини _____ (Волянська С.В.)

з охорони праці _____ (Чорновол Н.І.)

по дотриманню
вимог ЄСКД _____ (Волянська С.В.)

До захисту допущено
Голова предметної комісії _____ (Беркань Ір.В.)

Завідуючий відділенням _____ (Бригадир Л.Г.)

Захист " 28 " 06 2024 р. Протокол ЕК № 03 КВ

Оцінка ЕК _____ 3 (задовільно)

Секретар ЕК _____ (Хоцяновський С.Ю.)

Міністерство освіти і науки України
ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ»

Дата видачі завдання
«20» лютого 2024 р.
Дата закінчення проекту
«01» липня 2024 р.

Затверджую
Заступник директора з НВР
_____ Беркань Іг.В.
“ 20 ” лютого 2024 р.

ЗАВДАННЯ

до дипломного проектування

Прізвище, ім'я та по батькові **Чернобелю Андрію Михайловичу**
Галузь знань № 14 «Електрична інженерія»
Спеціальність № 142 «Енергетичне машинобудування»
Освітня програма «Монтаж і обслуговування систем кондиціонування і вентиляції повітря»
Тема дипломного проекту: Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт.

Стверджена наказом по коледжу від « 02 » 11 2023 р. № 244 –А2- ОД
Вихідні данні для проекту:

Зміст та послідовність виконання дипломного проекту

Вступ

1. Принцип роботи елемента Пелтьє

- 1.1 Принцип отримання холоду за допомогою елемента Пелтьє
- 1.2. Сфери використання ефекту Пелтьє
- 1.3 Ефективність елемента Пелтьє
- 1.4 Теплопоглинання та тепловиділення елемента Пелтьє

2. Розрахунок робочих поверхонь

3. Розрахунок холодоагенту

4. Розрахунок теплообмінників

5. Підбір додаткових елементів

6. Охорона праці

7. Економічний розділ

8. ВИСНОВКИ

9. Список використаних джерел

Графічна частина

Графічний Аркуш 1. Схема автоматизації лабораторно-дослідницького стенду на базі елементів Пелтьє

Графік виконання проекту

Зміст	Термін виконання
1. Загальна частина	20 ÷ 21.05.2024
2. Технологічна частина	22 ÷ 24.05.2024
3. Розрахунково-конструкторська частина	25 ÷ 04.06.2024
4. Організаційна частина	05.06.2024
5. Аркуш 1	06 ÷ 08.06.2024
6. Охорона праці	09 ÷ 11.06.2024
7. Економічна частина	12.06.2024
Попередній захист	14.06.2024
Захист дипломного проекту	20 ÷ 28.06.2024

Завдання розглянуто та затверджено на засіданні циклової комісії
спецдисциплін холодильного циклу

Протокол № 3 від “17” жовтня 2023

Голова комісії _____ (Беркань Ір.В.)

Попередній захист проведено, зауваження враховано

Керівник проекту _____ (Жупанов І.А.)

[illegible]

					КВ 07. 023. 000 ДП						
Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата							
Розробив		Чернобель А.			Виготовлення системи охолодження елементів Пельтье лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт			Літера		Арк.	Арк.
Перевір.		Жупанов І						н	д	п	
Н. контр.		Волянська						ВСП ОТФК ОНТУ, 2024			

Одеський технічний фаховий коледж
Одеського національного технологічного університету

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента

Чернобеля Андрія Михайловича
(прізвище, ім'я і по батькові)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»

ОП: «Монтаж та обслуговування систем кондиціювання і вентиляції повітря»

Керівник дипломного проекту

Жупанов І.А.

Тема дипломного проекту: Виготовлення системи охолодження елементів Пельтье лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки _____ сторінок

Обсяг графічної частини проекту _____ аркушів

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

а) Висновок про ступінь відповідності виконаного дипломного проекту (роботи) завдання

Дипломний проект «Виготовлення системи охолодження елементів Пельтье лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт» виконаний згідно завданню і складається з пояснювальної записки на _____ сторінках і графічного матеріала на _____ аркушах. Дипломний проект відповідає вимогам ЕСКД і ДСТУ

б) Характеристика виконання кожного розділу проекту: ступеня використання дипломником останніх досягнень науки і техніки передових методів роботи на

Тема дипломного проекту розкрита у повному обсязі. Всі розділи розрахунково-конструкторської частини виконані з урахуванням останніх досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування. Дипломник використовував технічну і довідкову літературу по даній темі. Враховані передові методи роботи на виробництві

в) Оцінка якості використання графічної частини проекту (роботи) і пояснювальної записки

Якість виконання пояснювальної її записки і графічної частина задовільна

г) Перелік позитивних якостей дипломного проекту (роботи)

1. Виконання реального дипломного проекту

2. Виконання завдання по автоматизації роботи стенду, застосовуючи навички програмування

д) Основні недоліки дипломного проекту (роботи)

Для живлення модуля ESP-32 більш раціонально було застосувати модуль пониження напруги, замість окремого блоку живлення.

Оцінка розрахункової частини	4 (добре)
Оцінка графічної частини	4 (добре)
Загальна оцінка	4 (добре)

Прізвище, ім'я, по батькові

Місце роботи і посада рецензента

« _____ » _____

Підпис

**ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

В І Д Г У К

керівника про дипломний проект (роботу) студента

Чернобеля Андрія Михайловича

Спеціальність № 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Монтаж і обслуговування систем кондиціонування та
вентиляції повітря»

Тема: Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

а) Об'єм та якість виконаної роботи (графічного матеріалу та розрахунково-пояснювальної записки)

Чернобель Андрій дипломний проект виконав згідно завданню.

ДП складається з пояснювальної записки на 43 сторінках і графічного матеріалу на аркушах, формату А-1. Дипломний проект відповідає вимогам ЕСКД і ДСТУ

б) Самостійність роботи над проектом (роботою)

Дипломник **Чернобель Андрій** над дипломним проектом працював самостійно, графік виконання окремих розділів пояснювальної записки і графічних аркушів не порушував

в) Теоретична підготовка дипломника

Теоретична підготовка студента **Чернобель Андрій** задовільна. При навчанні на за освітньою програмою «Монтаж і обслуговування систем кондиціонування та вентиляції повітря» в цілому показав задовільні результати навчання, більше зацікавленості проявляв до технічних дисциплін.

г) Вміння вирішувати виробничі та конструкторські питання на базі останніх досягнень науки і техніки, передових методів виробництва

Здобувач освіти **Чернобель Андрій Михайлович** працюючи над дипломним проектом показав, що зможе вирішувати конструкторські і виробничі питання на базі сучасних досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування.
Чернобель Андрій Михайлович отримав освітньо-професійний рівень фаховий молодший бакалавр з енергетичного машинобудування і кваліфікацію – технік-механік з обслуговування систем кондиціонування і вентиляції повітря.

Оцінка розрахункової частини	___ (_____)
Оцінка графічної роботи	___ (_____)
Загальна оцінка	___ (_____)

Прізвище, ім'я, по батькові керівника Жупанов Іван Анатолійович

Місце роботи і посада керівника проекту: Завідувач майстерні слюсарно-електромонтажної ВСП «ОТФК ОНТУ»

-

«__» _____ 20__ р.

Підпис _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1.Принцип роботи елемента Пельтьє.....	6
1.1 Принцип отримання холодуза допомогою елемента Пельтьє	8
1.2 Сфери використання ефекту Пелтьє.....	10
1.3 Ефективність елемента Пелтьє	12
1.4 Теплопоглинання та тепловиділення елемента Пелтьє	15
2. Розрахунок робочих поверхонь	20
3. Розрахунок холодоагенту.....	25
4. Розрахунок теплообмінників.....	28
5. Підбір додаткових елементів.....	32
6. Охорона праці.....	34
7. Економічний розділ.....	39
8. ВИСНОВКИ.....	41
9. Список використаних джерел	44

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Чернобель А.М									3	41
Перевір.		Жупанов І.А.						ВСП ОТФК ОНТУ				
Реценз.		Беркань Ір.В										
Н. Контр.		Вролянська С.В										
Затверд.		П.І.Б.										

ВСТУП

У контексті постійного вдосконалення освітнього процесу та підвищення якості практичної підготовки студентів у Відокремленому структурному підрозділі «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету» (ВСП «ОТФК ОНТУ») було прийнято стратегічне рішення щодо розробки та впровадження інноваційного науково-дослідницького стенду з холодопродуктивністю 420 Вт. Даний стенд, концептуально оформлений у вигляді фрізера для виробництва м'якого морозива, представляє собою комплексну систему, що інтегрує передові технології охолодження з освітніми цілями.

Ключовою особливістю розробленого стенду є застосування елементів Пельтьє як основного механізму охолодження. Незважаючи на те, що ці елементи суттєво відрізняються від традиційних охолоджувальних пристроїв за конструкцією та принципом дії, з точки зору фундаментальних законів термодинаміки їх функціонування демонструє ідентичні фізичні процеси. Варто зазначити, що якщо в класичній холодильній машині електрична енергія використовується для циркуляції холодоагенту, який, у свою чергу, здійснює теплоперенос, то в елементах Пельтьє електричний струм безпосередньо виконує функцію транспортування теплової енергії з однієї сторони елемента на іншу.

Для ефективного використання корисного холоду, генерованого системою, було проведено комплексні розрахунки та спроектовано спеціалізовану робочу поверхню. З метою оптимізації теплопередачі від елементів Пельтьє розроблено рідинну систему охолодження, що включає ряд теплообмінників та теплообмінних апаратів. Ця система забезпечує ефективний відвід тепла та підтримку оптимального температурного режиму роботи елементів Пельтьє.

У рамках дипломного проекту проводиться детальний аналіз та розрахунки наступних ключових компонентів системи:

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- елементи Пельтьє: здійснюється їх параметричний розрахунок та оптимальний підбір з урахуванням заданої холодопродуктивності;
- теплообмінники: проводиться розрахунок та вибір оптимальних конструкцій для забезпечення ефективного теплообміну між елементами Пельтьє та холодоагентом, а також для подальшого відведення тепла в навколишнє середовище;
- холодоагент: здійснюється аналіз та підбір оптимального холодильного агента з урахуванням термодинамічних властивостей та екологічних аспектів;
- циркуляційна система: проводиться розрахунок та вибір насосного обладнання для забезпечення циркуляції теплоносія;
- допоміжні теплообмінні апарати: здійснюється підбір та інтеграція додаткових теплообмінних пристроїв для підвищення загальної ефективності системи.

Реалізація даного проекту має вагоме значення для вдосконалення навчально-методичної бази коледжу та підвищення рівня практичної підготовки студентів у галузі холодильної техніки та термоелектричних технологій. Розроблений стенд надасть можливість студентам на практиці вивчати принципи роботи елементів Пельтьє, досліджувати процеси теплообміну та набувати навичок проектування та оптимізації систем охолодження.

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Принцип роботи елемента Пельтьє

Елемент Пельтьє, також відомий як термоелектричний охолоджувач (ТЕО), функціонує на основі ефекту Пельтьє - фізичного явища, відкритого французьким фізиком Жаном Шарлем Атаназом Пельтьє в 1834 році. Цей ефект полягає у виникненні різниці температур на стику двох різнорідних провідників або напівпровідників при проходженні через них електричного струму.

Структурно, елемент Пельтьє складається з послідовно з'єднаних пар напівпровідникових елементів n-типу та р-типу, розташованих між двома керамічними пластинами, що забезпечують електричну ізоляцію та механічну міцність конструкції.

Принцип роботи елемента Пельтьє базується на наступних фізичних процесах:

1) ефект Пельтьє: При проходженні електричного струму через з'єднання двох різних провідників або напівпровідників, на одному з контактів відбувається поглинання теплоти, а на іншому - її виділення;

2) ефект Зеєбека: Зворотній до ефекту Пельтьє процес, при якому різниця температур між двома різнорідними провідниками або напівпровідниками призводить до виникнення електрорушійної сили;

4) ефект Джоуля: Виділення теплоти при проходженні електричного струму через провідник, що є небажаним ефектом у контексті роботи елемента Пельтьє.

Коли через елемент Пельтьє пропускають постійний електричний струм, носії заряду (електрони в n-типі та дірки в р-типі напівпровідника) переміщуються від одного напівпровідника до іншого. При цьому вони переносять теплову енергію, що призводить до охолодження одного спаю та нагрівання іншого.

Процес теплопереносу в елементі Пельтьє можна описати наступним чином:

- електрони в n-типі напівпровідника рухаються від холодної сторони до гарячої, поглинаючи теплову енергію на холодній стороні;

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- на гарячій стороні електрони віддають накопичену енергію, переходячи на нижчий енергетичний рівень;

- у р-типі напівпровідника дірки рухаються у протилежному напрямку, також переносячи теплову енергію від холодної сторони до гарячої.

Ефективність елемента Пельтьє характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який зазвичай не перевищує 10-15%. Основними факторами, що впливають на ефективність, є:

- 1) різниця температур між холодною та гарячою сторонами;
- 2) якість використаних напівпровідникових матеріалів;
- 3) геометричні параметри елементів;
- 4) величина прикладеного електричного струму.

Важливо відзначити, що елементи Пельтьє мають ряд унікальних характеристик:

- відсутність рухомих частин, що забезпечує високу надійність та тривалий термін служби;
- можливість точного контролю температури;
- компактні розміри та легкість інтеграції в різні системи;
- швидкий відгук на зміну параметрів живлення;
- можливість роботи як в режимі охолодження, так і в режимі нагріву при зміні полярності струму.

У контексті розробки лабораторно-дослідницького стенду з холодопродуктивністю 420 Вт, елементи Пельтьє відіграють ключову роль у створенні необхідного температурного режиму. Їх застосування дозволяє досягти наступних переваг:

- 1) прецизійний контроль температури, що є критичним для наукових досліджень та навчального процесу;
- 2) можливість швидкої зміни режимів роботи (охолодження/нагрів) без необхідності зміни конфігурації системи;
- 3) відсутність рухомих частин та холодоагенту, що підвищує надійність та безпечність системи в умовах навчальної лабораторії;

					4КВ 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) компактність конструкції, що дозволяє оптимізувати використання простору в лабораторії.

Однак, при проектуванні системи охолодження на основі елементів Пельтьє необхідно враховувати їх відносно низький ККД та необхідність ефективного відведення тепла з гарячої сторони елементів для забезпечення оптимальної продуктивності системи.

1.1 Принцип отримання холоду за допомогою елемента Пельтьє

При отриманні холоду за допомогою елемента Пельтьє важливо розуміти термодинамічні процеси, що відбуваються:

- адіабатичне розширення носіїв заряду: Коли носії заряду переходять з одного напівпровідника в інший, вони розширюються адіабатично, що призводить до зниження їх температури;
- поглинання теплоти з навколишнього середовища: Охолоджені носії заряду поглинають теплоту з навколишнього середовища на холодній стороні елемента, створюючи ефект охолодження;
- перенос ентропії: Процес можна розглядати як перенос ентропії з холодної сторони на гарячу, що відповідає другому закону термодинаміки.

Для досягнення більш низьких температур часто використовується метод каскадного охолодження:

- багатоступеневе охолодження: Кілька елементів Пельтьє розташовуються один на одному, утворюючи каскад;
- градієнт температур: Кожен наступний рівень каскаду працює з меншою різницею температур, що дозволяє досягти нижчих температур на кінцевому етапі;
- ефективність каскаду: Хоча каскадне охолодження дозволяє досягти нижчих температур, загальна ефективність системи знижується через кумулятивні втрати на кожному рівні.

Хоча каскадна система і має свої плюси, але в дипломі я їх використовувати не буду.

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для максимізації ефективності отримання холоду застосовуються наступні методи:

- термоелектричні матеріали: Розробка нових напівпровідникових матеріалів з покращеними термоелектричними властивостями, наприклад, на основі вісмуту телуриду або сплавів кремнію-германію;
- геометрична оптимізація: Зміна форми та розмірів напівпровідникових елементів для оптимізації теплового потоку та електричного опору;
- тепловий менеджмент: Використання ефективних систем відведення тепла з гарячої сторони, включаючи рідинне охолодження та теплові труби;
- імпульсне живлення: Застосування імпульсного електричного струму замість постійного для зменшення джоулевого нагріву та підвищення ефективності охолодження;

При використанні елементів Пельтьє для отримання холоду слід враховувати певні обмеження:

- температурний ліміт: Існує практична межа мінімальної температури, яку можна досягти, обумовлена властивостями матеріалів та термодинамічними обмеженнями;
- енергоефективність: ККД елементів Пельтьє зазвичай нижчий порівняно з традиційними методами охолодження, особливо при великих різницях температур;
- тепловий баланс: Необхідність ефективного відведення тепла з гарячої сторони, що може бути викликом у компактних системах;
- конденсація: При охолодженні нижче точки роси навколишнього повітря може виникати конденсація, що вимагає додаткових заходів для захисту елементів.

Розуміння цих аспектів дозволяє оптимізувати дизайн та експлуатацію систем охолодження на основі елементів Пельтьє, забезпечуючи їх ефективне застосування у різноманітних галузях, включаючи лабораторні дослідження та промислові застосування.

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Сфери використання ефекту Пельтьє

Ефект Пельтьє, завдяки своїм унікальним властивостям, знайшов широке застосування в різноманітних галузях науки, техніки та промисловості. Його здатність створювати температурний градієнт без рухомих частин та холодоагентів відкриває можливості для розробки компактних, надійних та екологічно чистих систем охолодження та нагрівання.

Розглянемо наступні сфери і галузі застосування:

1) у сфері електроніки та мікроелектроніки елементи Пельтьє активно використовуються для термостабілізації чутливих компонентів. Вони забезпечують точний контроль температури напівпровідникових лазерів, фотодетекторів, мікропроцесорів та інших електронних пристроїв, чутливих до температурних коливань. Це дозволяє підвищити стабільність роботи та продовжити термін служби високоточного обладнання;

2) медична галузь також активно використовує переваги ефекту Пельтьє. Термоелектричні охолоджувачі застосовуються в діагностичному обладнанні, таких як ПЛР-аналізatori, де необхідно швидко та точно змінювати температуру зразків. У хірургії елементи Пельтьє використовуються для локального охолодження тканин, що допомагає зменшити набряки та полегшити біль. Крім того, вони знайшли застосування в системах терморегуляції для пацієнтів та в портативних холодильниках для зберігання ліків і біологічних зразків;

3) в автомобільній промисловості ефект Пельтьє використовується для створення компактних систем кондиціонування та охолодження сидінь. Це дозволяє підвищити комфорт пасажирів без значного збільшення ваги автомобіля чи споживання палива. У електромобілях термоелектричні елементи можуть використовуватися для оптимізації температурного режиму акумуляторних батарей, що сприяє підвищенню їх ефективності та довговічності.

4) аерокосмічна галузь також знайшла застосування ефекту Пельтьє. В космічних апаратах, де вага та надійність є критичними факторами,

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термоелектричні системи використовуються для охолодження електронного обладнання та підтримки оптимального температурного режиму в кабінах космонавтів;

5) лабораторній практиці елементи Пельтьє широко застосовуються для створення термостатів, інкубаторів та систем точного контролю температури в експериментальних установках. Вони дозволяють швидко змінювати температуру зразків, що особливо важливо в біохімічних та генетичних дослідженнях;

6) індустрія напоїв та харчова промисловість також використовують переваги ефекту Пельтьє. Компактні охолоджувачі на основі цього ефекту застосовуються в мініатюрних холодильниках, винних шафах та системах охолодження напоїв. Вони дозволяють створювати енергоефективні та безшумні пристрої для зберігання продуктів;

7) у сфері відновлюваної енергетики ефект Пельтьє знаходить застосування у термоелектричних генераторах. Ці пристрої здатні перетворювати теплову енергію безпосередньо в електричну, що дозволяє утилізувати відпрацьоване тепло промислових процесів або використовувати природні джерела тепла для виробництва електроенергії;

8) Оптична промисловість використовує елементи Пельтьє для охолодження ПЗС-матриць в високочутливих камерах та телескопах. Це дозволяє знизити рівень теплового шуму і підвищити якість отримуваних зображень, що особливо важливо в астрономічних спостереженнях та наукових дослідженнях;

9) у військовій техніці термоелектричні охолоджувачі застосовуються для охолодження інфрачервоних датчиків та прицілів, що підвищує їх чутливість та точність. Крім того, вони використовуються в системах життєзабезпечення військової техніки та в портативних холодильних установках для польових умов.

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Ефективність елемента Пельтьє

Ефективність елемента Пельтьє є ключовим параметром, який визначає доцільність його застосування в різних технологічних рішеннях. Вона характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який зазвичай виражається як відношення корисного холоду, що виробляється елементом, до затраченої електричної енергії:

$$\eta = \frac{Q_c}{W}$$

де η - коефіцієнт корисної дії, (Q_c) - кількість теплоти, відведеної від холодної сторони (корисний холод), (W) - затрачена електрична енергія. Типові значення ККД елементів Пельтьє знаходяться в діапазоні від 5% до 15%, що значно нижче порівняно з традиційними компресорними системами охолодження.

Ефективність елемента Пельтьє суттєво залежить від різниці температур між його холодною та гарячою сторонами. При збільшенні цієї різниці ефективність знижується, що обумовлено зростанням теплопровідності між сторонами елемента та збільшенням джоулевого нагріву.

Максимальна теоретична ефективність елемента Пельтьє визначається формулою:

$$\eta_{\max} = \frac{(T_h - T_c)}{T_h} \cdot \frac{\sqrt{1 + ZT} - 1}{\sqrt{1 + ZT} + \frac{T_c}{T_h}}$$

де (T_h) - температура гарячої сторони, (T_c) - температура холодної сторони, (ZT) - безрозмірний коефіцієнт термоелектричної ефективності (figure of merit).

Коефіцієнт (ZT) є ключовим параметром, що характеризує ефективність термоелектричного матеріалу:

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$ZT = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\kappa} \cdot T$$

де α - коефіцієнт Зеебека, σ - електропровідність, κ - теплопровідність, T - абсолютна температура.

На ефективність елемента Пельтьє також впливає якість використаних напівпровідникових матеріалів. Сучасні дослідження спрямовані на розробку нових матеріалів з покращеними термоелектричними властивостями, які характеризуються вищим значенням ZT .

Важливим фактором, що впливає на ефективність, є оптимізація геометрії елемента Пельтьє. Співвідношення довжини (L) та площі перерізу (A) напівпровідникових елементів впливає на їх електричний опір (R) та теплопровідність (K):

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$K = k \frac{A}{L}$$

де ρ - питомий електричний опір, k - коефіцієнт теплопровідності.

Розглянемо режим роботи.

Холодопродуктивність (Q_c) елемента можна виразити формулою:

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

де I - сила струму, α - коефіцієнт Пельтьє. Для досягнення максимальної ефективності необхідно оптимізувати силу струму, що протікає через елемент. Оптимальний струм (I_{opt}) можна розрахувати за формулою:

$$I_{opt} = \alpha \frac{T_c}{R}$$

При проектуванні систем охолодження на основі елементів Пельтьє важливо враховувати динамічні характеристики процесу охолодження. Час досягнення заданої температури залежить від теплоємності охолоджуваного об'єкта та потужності елемента Пельтьє. Цей процес можна описати диференціальним рівнянням:

$$C \frac{dT}{dt} = -Q_{\text{total}}$$

де (C) - теплоємність охолоджуваного об'єкта, (T) - його температура, (t) - час.

Для підвищення ефективності систем охолодження на основі елементів Пельтьє часто використовують методи імпульсного керування. При такому підході струм через елемент подається короткими імпульсами, що дозволяє зменшити середнє значення джоулевого тепловиділення при збереженні високої холодопродуктивності. Ефективність такого методу можна оцінити за допомогою коефіцієнта заповнення імпульсів:

$$\eta_{\text{pulse}} = \frac{t_{\text{on}}}{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}$$

де (t_{on}) - тривалість імпульсу струму, (t_{off}) - тривалість паузи між імпульсами.

Далі розглянемо вплив навколишнього середовища.

У практичних застосуваннях важливо враховувати вплив навколишнього середовища на ефективність елемента Пельтьє. Зокрема, вологість повітря може призводити до конденсації вологи на холодній стороні елемента, що знижує його ефективність. Для запобігання цьому явищу використовують спеціальні гідроізоляційні покриття або системи осушення повітря.

Надійність елементів Пельтьє залежить від багатьох факторів, включаючи якість виготовлення, режими експлуатації та температурні цикли. Середній

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						144
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термін служби елемента Пельтьє можна оцінити за допомогою рівняння Арреніуса:

$$MTTF = A \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right)$$

де (MTTF) (Mean Time To Failure) - середній час до відмови, (A) - константа, що залежить від конструкції елемента, (E_a) - енергія активації процесу деградації, (k) - константа Больцмана, (T) - абсолютна температура.

1.4 Теплопоглинання та тепловиділення елемента пелть

На мікроскопічному рівні, теплопоглинання в елементі Пельтьє відбувається за рахунок переносу енергії носіями заряду (електронами та дірками) при їх переході з одного енергетичного рівня на інший.

Коли електричний струм проходить через з'єднання двох різнорідних напівпровідників, носії заряду змушені долати потенціальний бар'єр на межі розділу матеріалів. При цьому вони поглинають енергію з навколишнього середовища у вигляді фононів (квантів теплових коливань кристалічної решітки), що призводить до охолодження відповідної області елемента.

Розглянемо формули теплопоглинання та тепловиділення.

Математично, кількість теплоти (Q_p), що поглинається на холодній стороні елемента Пельтьє за одиницю часу, можна виразити формулою:

$$Q_p = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_c$$

де (α_p) та (α_n) - коефіцієнти Зеєбека для p- та n-типу напівпровідників відповідно, (I) - сила струму, (T_c) - абсолютна температура холодної сторони.

На гарячій стороні елемента Пельтьє відбувається процес тепловиділення. Носії заряду, переходячи на нижчі енергетичні рівні, віддають надлишкову

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		155

енергію у вигляді тепла. Кількість теплоти (Q_h), що виділяється на гарячій стороні, описується аналогічною формулою:

$$Q_h = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_h$$

де (T_h) - абсолютна температура гарячої сторони.

Процеси теплопоглинання та тепловиділення в елементі Пельтьє супроводжуються додатковими тепловими ефектами, які впливають на загальний баланс енергії в системі. Одним з таких ефектів є ефект Джоуля, який призводить до виділення тепла внаслідок електричного опору матеріалів. Кількість теплоти (Q_J), що виділяється за рахунок ефекту Джоуля, визначається за формулою:

$$Q_J = I^2 \cdot R$$

де (R) - електричний опір елемента Пельтьє. Теплота Джоуля розподіляється приблизно порівну між холодною та гарячою сторонами елемента, що призводить до додаткового нагрівання обох сторін і знижує ефективність охолодження.

Тепловий потік (Q_k), що виникає внаслідок різниці температур між гарячою та холодною сторонами, описується законом Фур'є:

$$Q_k = K \cdot (T_h - T_c)$$

де (K) - коефіцієнт теплопровідності елемента. Цей тепловий потік спрямований від гарячої сторони до холодної, що також зменшує ефективність охолодження.

В елементі Пельтьє проявляється ефект Томсона, який характеризується виділенням або поглинанням тепла при проходженні струму через провідник з градієнтом температури. Кількість теплоти (Q_T), пов'язана з ефектом Томсона, визначається за формулою:

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						166
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_T = \tau \cdot I \cdot (T_h - T_c)$$

де τ - коефіцієнт Томсона.

Загальне рівняння теплового балансу

Враховуючи всі ці ефекти, можна записати загальне рівняння теплового балансу для холодної сторони елемента Пельтьє:

$$Q_c = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_c - 0.5 \cdot I^2 \cdot R + K \cdot (T_h - T_c) + \tau \cdot I \cdot (T_h - T_c)$$

де Q_c - сумарний тепловий потік на холодній стороні.

Аналогічно, для гарячої сторони:

$$Q_h = (\alpha_p - \alpha_n) \cdot I \cdot T_h + 0.5 \cdot I^2 \cdot R + K \cdot (T_h - T_c) - \tau \cdot I \cdot (T_h - T_c)$$

Ефективність теплопоглинання та тепловиділення елемента Пельтьє залежить від температурного градієнта між його сторонами. Максимальна різниця температур ($T_{\max}$), яку може створити елемент Пельтьє, визначається за формулою:

$$\Delta T_{\max} = 0.5 \cdot Z \cdot T_m^2$$

де Z - коефіцієнт добротності термоелектричного матеріалу, а T_m - середня температура між гарячою та холодною сторонами.

Коефіцієнт добротності (Z) є ключовим параметром, що характеризує ефективність термоелектричного матеріалу і визначається за формулою:

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda}$$

де α - коефіцієнт Зеебека, σ - електропровідність, а λ - теплопровідність матеріалу.

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						177
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимізація процесів теплопоглинання та тепловиділення елемента Пельтьє вимагає ретельного підбору матеріалів з високим коефіцієнтом добротності (Z). Сучасні дослідження спрямовані на розробку нових напівпровідникових сполук та наноструктурованих матеріалів, що дозволяють підвищити значення (Z) і, відповідно, ефективність елементів Пельтьє.

Важливим аспектом роботи елемента Пельтьє є вибір оптимального режиму електричного живлення. При збільшенні сили струму (I) зростає як теплопоглинання за рахунок ефекту Пельтьє, так і тепловиділення внаслідок ефекту Джоуля. Оптимальне значення струму (I_{opt}), що забезпечує максимальну холодопродуктивність, може бути визначене з умови ($dQ_c/dI = 0$) і залежить від конкретних параметрів елемента та умов його експлуатації.

Для підвищення ефективності теплопереносу в елементах Пельтьє застосовуються різноманітні технічні рішення. Одним з таких рішень є каскадування елементів, при якому кілька елементів Пельтьє з'єднуються послідовно термічно, що дозволяє досягти більшої різниці температур. Математично, максимальна різниця температур для (n)-каскадного елемента Пельтьє може бути виражена як:

$$\Delta T_{\text{max}}(n) = n \cdot \Delta T_{\text{max}}(1)$$

де ($\Delta T_{\text{max}}(1)$) - максимальна різниця температур для одиночного елемента.

Іншим напрямком оптимізації є удосконалення геометрії термоелектричних гілок. Зокрема, застосування неоднорідних за перерізом термоелектричних гілок дозволяє оптимізувати розподіл струму та теплових потоків в елементі Пельтьє. Математичне моделювання таких структур вимагає розв'язання складних диференціальних рівнянь, що описують нелінійні процеси теплопереносу в неоднорідних середовищах.

Важливу роль у підвищенні ефективності елементів Пельтьє відіграє оптимізація теплообміну з навколишнім середовищем. Для цього застосовуються високоефективні теплообмінники, що забезпечують інтенсивне

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						188
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відведення тепла з гарячої сторони елемента. Коефіцієнт теплопередачі (h) таких теплообмінників може бути розрахований за формулою:

$$h = \frac{Q}{A \cdot \Delta T}$$

де (Q) - тепловий потік, (A) - площа поверхні теплообміну, а (T) - різниця температур між теплообмінником та навколишнім середовищем.

					4KB 07 023.001.ДП.ПЗ	Арк.
						199
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Розрахунок робочої поверхні

Корисний холод, який отримується завдяки ефекту Пельтьє від елементів Пельтьє, використовується для охолодження поверхні. У цьому контексті робоча поверхня являє собою металеву посудину, виготовлену з нержавіючої сталі. Посудина має такі параметри: товщина 2 мм, висота 50 мм, довжина 315 мм, ширина 245 мм. Поверхня була обрана більшою за сумарний розмір шести елементів Пельтьє спеціально для проведення лабораторних дослідів, спрямованих на вивчення швидкості розповсюдження холоду по площі робочої поверхні. Площу поверхні було обрано таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл температури, що є критично важливим для точності дослідів.

Нержавіюча харчова сталь була обрана через свої оптимальні характеристики в умовах використання стенду, а також завдяки її застосуванню в харчовій промисловості. Матеріал має високу корозійну стійкість, що забезпечує тривалу експлуатацію без втрати функціональних властивостей. Посудина закріплена до основної платформи саморізами, що забезпечує її стійкість і надійність. Відрегулювання по висоті дозволяє досягти оптимальної робочої позиції, що сприяє зручності проведення експериментів та точності вимірювань.

Для покращення теплопередачі між елементами Пельтьє та охолоджуючою поверхнею використовується термопаста КПТ-19, що дозволяє компенсувати мікронерівності металу. Характеристики термопаста КПТ-19 включають:

- 1) температурний діапазон: від -60°C до $+180^{\circ}\text{C}$;
- 2) коефіцієнт теплопровідності:
 - при -50°C — $1,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,
 - при 20°C — $0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$,
 - при 100°C — $0,65 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.
- 3) форма видачі: тюбик;
- 4) стан: густий, пастоподібний.

					4KB 07 023.002.ДП.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна площа робочої поверхні посудини (S) розраховується за формулою:

$$S = 2 \times (L \times W + L \times H + W \times H)$$

де L – довжина посудини, W – ширина посудини, H – висота посудини.
Підставляючи значення:

$$S = 2 \times (0,315 \times 0,245 + 0,315 \times 0,05 + 0,245 \times 0,05)$$

$$S = 2 \times (0,077175 + 0,01575 + 0,01225)$$

$$S = 2 \times 0,105175$$

$$S \approx 0,21035\text{м}^2$$

Таким чином, загальна площа поверхні, яка підлягає охолодженню, становить приблизно 0,21 м². Ця площа дозволяє ефективно розподіляти холод, генерований елементами Пельтьє, що забезпечує необхідний рівень охолодження для проведення дослідів.

Розмір одного елемента Пельтьє становить 40 мм на 40 мм, що в метрах дорівнює 0,04 м на 0,04 м. Площа одного елемента Пельтьє (A) розраховується за формулою:

$$A = L_e \times W_e$$

де (L_e) – довжина елемента, (W_e) – ширина елемента. Підставляючи значення:

$$A = 0,04 \times 0,04$$

$$A = 0,0016\text{м}^2$$

					4KB 07 023.002.ДП.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна площа шести елементів Пельтьє дорівнює:

$$A_{\text{total}} = 6 \times A$$

$$A_{\text{total}} = 6 \times 0,0016$$

$$A_{\text{total}} = 0,0096\text{м}^2$$

Ці елементи розташовані в центрі посудини таким чином, що між трьома з них знаходиться простір в 10 мм (0,01 м). Враховуючи ці проміжки, загальна площа, яку займають елементи разом з проміжками, буде більшою. Врахуємо це додатково.

Розмістимо елементи у два ряди по три елементи в кожному. Тоді загальні розміри матриці елементів з урахуванням проміжків складатимуться з трьох елементів і двох проміжків по горизонталі, та двох елементів і одного проміжку по вертикалі:

Горизонтальний розмір:

$$L_{\text{matrix}} = 3 \times 0,04 + 2 \times 0,01$$

$$L_{\text{matrix}} = 0,12 + 0,02$$

$$L_{\text{matrix}} = 0,14\text{м}$$

Вертикальний розмір:

$$W_{\text{matrix}} = 2 \times 0,04 + 1 \times 0,01$$

$$W_{\text{matrix}} = 0,08 + 0,01$$

$$W_{\text{matrix}} = 0,09\text{м}$$

Отже, загальна площа матриці з урахуванням проміжків:

$$A_{\text{matrix}} = L_{\text{matrix}} \times W_{\text{matrix}}$$

$$A_{\text{matrix}} = 0,14 \times 0,09$$

$$A_{\text{matrix}} = 0,0126\text{м}^2$$

					4KB 07 023.002.ДП.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для з'єднання елементів Пельтьє з посудиною термопасту наносять на кожен елемент. Розрахуємо об'єм термопасту, необхідної для нанесення на площу всіх елементів. Товщина шару термопасту зазвичай становить близько 0,001 м (1 мм).

Об'єм термопасту для одного елемента:

$$V_{\text{paste_element}} = A \times d$$
$$V_{\text{paste_element}} = 0,0016\text{м}^2 \times 0,001\text{м}$$
$$V_{\text{paste_element}} = 0,0000016\text{м}^3$$

Загальний об'єм термопасту для шести елементів:

$$V_{\text{paste_total}} = 6 \times V_{\text{paste_element}}$$
$$V_{\text{paste_total}} = 6 \times 0,0000016\text{м}^3$$
$$V_{\text{paste_total}} = 0,0000096\text{м}^3$$

Таким чином, для з'єднання шести елементів Пельтьє з посудиною потрібно 0,0000096 м³ (9,6 мл) термопасту.

Перелічимо основні характеристики елемента Пелеттьє:

- робоча напруга: 12 В;
- максимальний струм: 8 А;
- максимальна електрична потужність: 96 Вт;
- холодопродуктивність: 71,1 Вт;
- мінімальна температура з холодної сторони: -20 °С;
- максимальна температура з гарячої сторони: +70°С;
- максимальна різниця температур: 60 °С;
- розміри: 40х40 мм.

Елемент Пельтьє працює за принципом поглинання і виділення тепла при проходженні електричного струму через напівпровідникові матеріали. При

					4КВ 07 023.002.ДП.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подачі робочої напруги 12 В і максимальному струмі 8 А, кожен елемент споживає потужність:

$$P_{\text{electrical}} = U \times I$$

$$P_{\text{electrical}} = 12 \times 8$$

$$P_{\text{electrical}} = 96 \text{ Вт}$$

Ця потужність розподіляється між тепловим потоком, що поглинається з холодної сторони, і тепловим потоком, що виділяється на гарячій стороні. Холодопродуктивність одного елемента Пельтьє складає 71,1 Вт, що означає, що елемент може відвести 71,1 Вт тепла з охолоджуваної поверхні. З огляду на максимальну різницю температур 60 °С між гарячою та холодною сторонами, ефективність охолодження забезпечується при дотриманні умов теплообміну та належного відведення тепла з гарячої сторони.

Загальна холодопродуктивність шести елементів Пельтьє дорівнює:

$$Q_{\text{total}} = 6 \times Q_{\text{single}}$$

$$Q_{\text{total}} = 6 \times 71,1$$

$$Q_{\text{total}} = 426,6 \text{ Вт}$$

Таким чином, шість елементів Пельтьє здатні забезпечити загальну холодопродуктивність 426,6 Вт, що є достатнім для охолодження лабораторного стенду.

Загальна площа робочої поверхні посудини становить приблизно 0,21 м². Загальна площа шести елементів Пельтьє дорівнює 0,0096 м², а з урахуванням проміжків - 0,0126 м². Для з'єднання цих елементів з посудиною потрібно 9,6 мл термопасти КПТ-19. Шість елементів Пельтьє забезпечують загальну холодопродуктивність 426,6 Вт, що відповідає вимогам до охолодження лабораторного стенду.

					4KB 07 023.002.ДП.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Розрахунок холодоагенту.

Для забезпечення ефективної роботи системи охолодження, доцільно використовувати змішаний холодоагент, який складається з антифризу G12 у співвідношенні 30% та води 70%. Така суміш забезпечує високі термодинамічні властивості, що підвищує ефективність охолодження і водночас надає достатній захист компонентам системи від корозії та замерзання.

Проаналізуємо характеристику антифризу G12.

Антифриз G12 - це високоякісна охолоджуюча рідина на основі етиленгліколю, яка використовується для охолодження автомобільних двигунів, але також підходить для інших систем охолодження.

Основні характеристики антифризу G12 включають:

- склад: етиленгліколь (92-95%), вода (5-8%), інгібітори корозії та добавки;
- колір: червоний або рожевий;
- температурний діапазон: від -40°C до $+108^{\circ}\text{C}$;
- коефіцієнт теплопровідності: приблизно $0,25 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ при 20°C ;
- щільність: приблизно $1,12 \text{ г}/\text{см}^3$ при 20°C ;
- антикорозійні властивості: високі;
- термін служби: до 5 років або 250,000 км пробігу в автомобілях.

Далі розглянемо характеристики води.

Вода є природним охолоджувачем і широко використовується в різних системах охолодження. Основні характеристики води включають:

- склад: H_2O ;
- температурний діапазон: від 0°C до $+100^{\circ}\text{C}$ при атмосферному тиску;
- коефіцієнт теплопровідності: приблизно $0,58 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ при 20°C ;
- щільність: $1,0 \text{ г}/\text{см}^3$ при 4°C ;
- антикорозійні властивості: відсутні, вода може викликати корозію металів.

Використання суміші антифризу G12 та води у співвідношенні 30/70 забезпечує ряд важливих переваг. По-перше, така суміш знижує температуру

					4KB 07 023.003.ДП.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замерзання до приблизно $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, що дозволяє системі охолодження ефективно працювати в умовах не дуже низьких температур. Важливо також, що ця суміш підвищує температуру кипіння до приблизно $+104\text{ }^{\circ}\text{C}$, що зменшує ризик перегрівання системи при високих робочих температурах.

Антифриз G12 містить інгібітори корозії, які захищають металеві компоненти системи від корозії, чого не може забезпечити чиста вода. Змішування з водою знижує загальну в'язкість холодоагенту, що забезпечує кращу циркуляцію рідини в системі та підвищує ефективність теплообміну.

Проведемо розрахунок об'єму холодоагенту.

При загальному об'ємі системи охолодження в 1 літр, необхідно визначити об'єми антифризу G12 та води, які будуть використовуватись. Враховуючи пропорцію 30/70, об'єми кожного компоненту будуть:

$$V_{G12} = 0.3 \times 1 \text{ літр} = 0.3 \text{ літра}$$

$$V_{\text{water}} = 0.7 \times 1 \text{ літр} = 0.7 \text{ літра}$$

Таким чином, для системи охолодження об'ємом 1 літр необхідно змішати 0,3 літра антифризу G12 і 0,7 літра води.

Термодинамічні підрахунки та характеристики суміші

Суміш антифризу G12 та води у співвідношенні 30/70 має такі основні характеристики:

1) температура замерзання: приблизно $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це забезпечує ефективний захист системи від замерзання в умовах не дуже низьких температур;

2) температура кипіння: приблизно $+104\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це зменшує ризик перегріву системи при високих робочих температурах.

3) коефіцієнт теплопровідності: середнє значення між теплопровідністю води і антифризу. Приблизно $0,52\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, розраховано за формулою середньої гармонічної:

$$\lambda_{\text{mix}} = \frac{2 \cdot \lambda_{\text{water}} \cdot \lambda_{G12}}{\lambda_{\text{water}} + \lambda_{G12}}$$

					4KB 07 023.003.ДП.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda_{\text{mix}} = \frac{2 \cdot 0.58 \cdot 0.25}{0.58 + 0.25}$$

$$\lambda_{\text{mix}} \approx 0.52 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$$

4) щільність: середнє значення між щільностями антифризу та води. Приблизно 1,03 г/см³ при 20 °С:

$$\rho_{\text{mix}} = \frac{\rho_{\text{water}} + \rho_{\text{G12}}}{2}$$

$$\rho_{\text{mix}} = \frac{1.0 + 1.12}{2}$$

$$\rho_{\text{mix}} \approx 1.03 \text{ г/см}^3$$

5) в'язкість: суміш має нижчу в'язкість, ніж чистий антифриз, що покращує циркуляцію охолоджувальної рідини в системі.

Застосування змішаної рідини дозволяє отримати оптимальний баланс між високою теплопровідністю води і захисними властивостями антифризу G12. Це сприяє ефективному відведенню тепла від охолоджуваних компонентів, зменшує ризик перегрівання і забезпечує захист системи від корозії та замерзання. Вода, яка має високу теплопровідність, сприяє ефективному теплообміну, тоді як антифриз G12 захищає систему від корозійних процесів і забезпечує стабільну роботу в широкому діапазоні температур.

Обґрунтування використання пропорції 30/70 полягає в тому, що ця суміш забезпечує високу теплопровідність, що є критично важливим для ефективного охолодження. Зниження в'язкості суміші також сприяє кращій циркуляції рідини, що підвищує загальну ефективність системи охолодження. Хоча така пропорція забезпечує менший захист від замерзання порівняно з 50/50 або 70/30, вона є оптимальною для умов, де температура рідко опускається нижче -12 °С.

Загалом, вибір пропорції 30/70 є компромісом між забезпеченням високої ефективності теплообміну і достатнім рівнем захисту від замерзання та корозії, що робить цю суміш оптимальною для більшості лабораторних та промислових застосувань.

					4KB 07 023.003.ДП.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Розрахунок теплообмінників

Розрахунок теплообмінника для відведення тепла з гарячої частини елементів Пельтьє

Для забезпечення ефективного охолодження системи необхідно визначити тепловиділення елементів Пельтьє та відповідну теплову потужність, яку необхідно відвести.

Загальна теплова потужність, яку виділяють елементи Пельтьє, розраховується як сума холодопродуктивності та електричної потужності. Для одного елемента це визначається за формулою:

$$Q_{h,single} = Q_{c,single} + P_{електрична}$$

де: - ($Q_{c,}$) — холодопродуктивність одного елемента, - ($P_{}$) — електрична потужність одного елемента.

Підставимо значення:

$$Q_{h,single} = 71.1 \text{ Вт} + 96 \text{ Вт} = 167.1 \text{ Вт}$$

Для шести елементів:

$$Q_{h,total} = 6 \times 167.1 \text{ Вт} = 1002.6 \text{ Вт}$$

Розрахунок необхідної площі теплообміну

Для визначення необхідної площі теплообміну використовуємо коефіцієнт теплопередачі та різницю температур між теплообмінником і охолоджуючою рідиною. Формула для розрахунку теплової потужності:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

					4KB 07 023.004.ДП.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: - (h) — коефіцієнт теплопередачі, - (A) — площа теплообміну, - (T) — різниця температур.

Припустимо, що різниця температур становить 20°C , а коефіцієнт теплопередачі для заліза становить $80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Підставимо значення у формулу для визначення необхідної площі теплообміну:

$$A = \frac{Q}{h \cdot \Delta T}$$

Підставимо значення:

$$A = \frac{1002.6 \text{ Вт}}{80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \times 20^{\circ}\text{C}}$$

$$A = \frac{1002.6}{1600} \text{ м}^2$$

$$A \approx 0.627 \text{ м}^2$$

Використання параметрів теплообмінника та перевірка їх відповідності

Розглянемо теплообмінник з наступними характеристиками: - Довжина: 270 мм - Висота: 265 мм - Ширина: 90 мм - Відстань між пластинами: 5 мм - Матеріал: залізо - Кількість трубок: 22

Розрахунок площі теплообміну

Кількість проміжків між пластинами при відстані між пластинами 5 мм:

$$\text{Кількість проміжків} = \frac{270 \text{ мм}}{5 \text{ мм}} = 54$$

Кількість пластин:

$$\text{Кількість пластин} = 54 + 1 = 55$$

Площа однієї пластини:

$$A_{\text{пластина}} = \text{Висота} \times \text{Ширина} = 0.265 \text{ м} \times 0.090 \text{ м} = 0.02385 \text{ м}^2$$

Загальна площа всіх пластин:

					4KB 07 023.004.ДП.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A_{\text{загальна}} = 55 \times 0.02385 \text{ м}^2 = 1.312 \text{ м}^2$$

Перевірка відповідності теплової потужності

Загальна теплова потужність, яку може відвести теплообмінник:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Q = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \times 1.312 \text{ м}^2 \times 20 ^\circ\text{C}$$

$$Q = 80 \times 1.312 \times 20$$

$$Q = 2099.2 \text{ Вт}$$

Розрахована теплова потужність (2099.2 Вт) значно перевищує необхідну для відведення тепла (1002.6 Вт). Це означає, що теплообмінник здатний ефективно відводити тепло, що виділяється елементами Пельтьє.

Перелік параметрів для розрахунку теплової потужності наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Перелік параметрів для розрахунку теплової потужності

Параметр	Значення
Загальна тепловиділення	1002.6 Вт
Швидкість потоку охолоджуючої рідини	2 л/хв
Розміри теплообмінника	270 мм x 265 мм x 90 мм
Відстань між пластинами	5 мм
Матеріал теплообмінника	залізо
Кількість трубок	22
Кількість пластин	55
Площа однієї пластини	0.02385 м ²
Загальна площа теплообміну	1.312 м ²
Коефіцієнт теплопередачі	80 Вт/(м ² ·°C)
Розрахункова теплова потужність	2099.2 Вт

Таким чином, зазначений пластинчастий теплообмінник з характеристиками довжина 270 мм, висота 265 мм, ширина 90 мм, відстань між пластинами 5 мм, кількість трубок 22, виготовлений з заліза, є оптимальним рішенням для відведення тепла з гарячої частини елементів

Пельтьє. Він здатен ефективно відводити більше тепла, ніж потрібно, що забезпечує стабільну роботу системи охолодження при заданій швидкості потоку охолоджуючої рідини.

Водяний теплообмінник (водоблок), підбирається згідно з розмірами площі елементів Пельтьє. Так як їх встановлено двома рядами, по 3 штуки, то відповідно треба 2 водяних теплообмінника, шириною 40мм, довжиною $3 \times 40 \text{ мм} = 120 \text{ мм}$. Висота може бути довільною, в даному випадку становить 15мм.

					4КВ 07 023.004.ДП.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Підбір додаткових елементів

Для забезпечення ефективного теплообміну та візуального контролю за процесом, вибираємо проміжну посудину, яка буде розташована після повітряного теплообмінника. Вимоги до проміжної посудини:

- 1) матеріал: Прозорий пластик (наприклад, полікарбонат або акрил), який дозволяє візуально контролювати рівень та стан рідини;
- 2) об'єм: Достатній для забезпечення необхідного об'єму теплоносія в системі (приблизно 1-2 літри, залежно від загального обсягу рідини в системі та розмірів теплообмінника);
- 3) форма: Циліндрична або прямокутна форма з можливістю легкого кріплення та обслуговування.

Циркуляційний насос забезпечує постійний рух теплоносія через систему, підтримуючи ефективність теплообміну. Вибираємо насос із наступними характеристиками:

- 1) тип: Центробіжний або роторний насос, що підходить для використання з водяними системами охолодження;
- 2) продуктивність: Від 2 до 5 літрів на хвилину (л/хв), що відповідає вимогам системи;
- 3) номінальна потужність: Від 10 до 30 Вт, залежно від продуктивності насоса;
- 4) матеріал корпусу: Пластик або метал, що забезпечує довговічність та стійкість до корозії;
- 5) живлення: Від мережі або від постійного струму (12В або 24В).

Для з'єднання всіх елементів системи використовуємо шланги діаметром 10 мм. Вимоги до шлангів:

- матеріал: Прозорий ПВХ або силікон, що забезпечує візуальний контроль за потоком рідини;
- діаметр: Внутрішній діаметр 10 мм, що забезпечує необхідний потік теплоносія;

					4KB 07 023.005.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

- довжина: Залежно від розташування компонентів системи, загальна довжина шлангів має бути достатньою для з'єднання всіх елементів без натягу і перегинів;

- стійкість до тиску: Шланги повинні витримувати робочий тиск в системі, що зазвичай становить до 1 атм.

Для забезпечення надійного з'єднання всіх компонентів використовуються фітинги та затискачі, що забезпечують герметичність системи:

- фітинги: Латунні або пластикові, з внутрішнім діаметром 10 мм;

- затискачі: Металеві або пластикові хомути, що забезпечують надійне кріплення шлангів до фітингів та компонентів системи.

Таким чином, для забезпечення ефективного теплообміну та зручності обслуговування системи використовуються прозора проміжна посудина, циркуляційний насос з продуктивністю 2-5 л/хв, прозорі шланги діаметром 10 мм, а також надійні фітинги та затискачі. Ці додаткові елементи забезпечують надійну роботу системи охолодження, дозволяючи візуально контролювати процес теплообміну та легко обслуговувати систему.

					4KB 07 023.005.ДП.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Охорона праці

Забезпечення охорони праці є одним із ключових аспектів будь-якої діяльності, що включає роботу з технічними системами та обладнанням. Основними завданнями охорони праці є створення безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням, а також забезпечення відповідності умов праці законодавчим та нормативним вимогам.

6.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників, що виникають під час роботи

При роботі з системою охолодження, що використовує елементи Пельтьє, можуть виникнути наступні небезпечні і шкідливі фактори:

- електричний струм: Високий ризик ураження електричним струмом при роботі з електричними компонентами.
- гарячі поверхні: Можливість отримання опіків при контакті з нагрітими елементами системи.
- розлиття охолоджуючої рідини: Ризик виникнення слизьких поверхонь, що може призвести до падінь та травм.
- механічні травми: Ризик отримання травм при монтажі та демонтажі компонентів системи.
- хімічні речовини: Використання охолоджуючих рідин може викликати алергічні реакції або хімічні опіки при контакті зі шкірою.

6.2 Розробка заходів з охорони праці

Для запобігання нещасним випадкам та забезпечення безпечних умов праці необхідно проводити навчання працівників, що залучені до роботи з системою охолодження. Відповідно до санітарних норм для організації одного робочого місця необхідно забезпечити об'єм та площу виробничого приміщення на одного працюючого не меншими 15м³ та 4,5 м² відповідно. Висота виробничих приміщень повинна бути не менше 3,2м .

ДСН 3.3.6.042-99 « Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - основний нормативний документ, що визначає параметри мікроклімату виробничих приміщень Вказані параметри нормуються для

					4KB 07 023.006.ДП.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочої зони – простору, обмеженою по висоті до 2 м над рівнем підлоги чи майданчика, на якому знаходяться робочі місця. Параметри мікроклімату справляють безпосередній вплив на самопочуття людини та його працездатність. Для покращення стану повітря в виробничих приміщеннях, очищення його від забруднення, для створення відповідних нормам параметрів мікроклімату використовують системи вентиляції.

Оптимальні норми температури, відносної вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наступні:

температура – 22- 24 °С;

відносна вологість – 40-60%;

Працівники забезпеченні засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): Використання захисного одягу, рукавичок, окулярів та іншого ЗІЗ відповідно до характеру роботи.

6.3 Безпека праці

Для забезпечення безпечної експлуатації та обслуговування системи охолодження необхідно всі роботи виконувати у відповідності з інструкціями та рекомендаціями виробника обладнання. При проведенні ремонтних або обслуговуючих робіт система повинна бути повністю відключена від джерела живлення. Регулярно необхідно проводити перевірки та контроль технічного стану обладнання для виявлення та усунення потенційних поломок, регулярна перевірка якості та стану охолоджуючої рідини, її заміна при необхідності.

Технічні заходи включають використання безпечних конструкцій, матеріалів та обладнання, а також систем контролю і моніторингу, обладнання системи сигналізацією, що попереджає про перевищення допустимих параметрів роботи, також використання автоматичних систем контролю температури та тиску для запобігання аварійним ситуаціям. При роботі необхідно забезпечити застосування лише справних та відповідних інструментів для проведення робіт;

Всі електричні компоненти системи повинні бути належним чином заземлені;

					4KB 07 023.006.ДП.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.4 Пожежна безпека

Для забезпечення пожежної безпеки при роботі з системами охолодження на базі елементів Пельтьє необхідно використовувати матеріали, що відповідають вимогам безпеки. Це термостійкі та негорючі матеріали. При монтажі та експлуатації системи охолодження застосовують негорючі та важкогорючі матеріали. Охолоджуючі рідини, що мають легкозаймисті властивості, потрібно зберігати у відповідності до вимог пожежної безпеки. В приміщеннях встановлена система автоматичного виявлення пожежі та сигналізації, які оперативно повідомлять про небезпеку.

Також приміщення, де встановлено систему охолодження, обладнані первинними засобами пожежогасіння, такими. До первинних засобів пожежогасіння відносяться:

- ❖ вогнегасники;
- ❖ пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини або повсті;
- ❖ ящики з піском;
- ❖ бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо).

Усі працівники повинні вміти користуватись наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння, знати місце їх знаходження.

Евакуаційні шляхи і виходи повинні втримуватися відповідно до НАПБ А.01.001 2004, бути вільними, нічим не зашарашуватися і у разі виникнення пожежі забезпечувати безпеку під час евакуації всіх людей, які перебувають у приміщеннях будівель та споруд. У будівлях та спорудах, що мають два поверхи і більше, у разі одночасного перебування на поверсі більше 25 осіб, повинні бути розроблені і вивішені на видному місці плани (схеми) евакуації людей на випадок пожежі.

Кількість евакуаційних виходів з будівель з кожного поверху і з приміщень слід приймати згідно з вимогами відповідних нормативних актів, але не менше двох. Евакуаційні шляхи повинні забезпечувати безпечну евакуацію всіх людей, які знаходяться в приміщеннях будівель, через евакуаційні виходи.

					4KB 07 023.006.ДП.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У разі розміщення технологічного, експозиційного та іншого обладнання у приміщеннях повинні бути забезпечені евакуаційні проходи до сходових кліток та інших шляхів евакуації відповідно до будівельних норм.



Дотримання вимог охорони праці та пожежної безпеки при роботі з системою охолодження на базі елементів Пельтьє є обов'язковим для забезпечення безпечних умов праці та запобігання нещасним випадкам. Впровадження організаційних, технічних заходів, а також навчання працівників дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити ефективну і безпечну роботу системи.

					4KB 07 023.006.ДП.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

7. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

7.1 Вихідні дані

Для того, щоб забезпечити успішне впровадження проекту, важливо детально розглянути всі необхідні витрати та пояснити їх доцільність.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані

Найменування об'єкту	Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт.
----------------------	---

Стенд є необхідною матеріальною базою під час виконання теоретичних і практичних занять здобувачами освіти.

7.2 Розрахунок витрат на впровадження проекту

Нижче наведено економічне обґрунтування витрат на реалізацію проекту з охолодження на основі елементів Пельтьє.

Таблиця 5.2 Вартість елементів

№	Найменування обладнання	Вартість
1	Елемент Пельтьє TEC1-12706	500 грн
2	Блок водяного охолодження Водоблок:	440 грн
3	Насос 12В Мембранний	165 грн
4	Блок живлення	980 грн
5	Трубка капілярна 10мм	50 грн
6	Термопаста	50 грн
7	Піднос металевий	200 грн
8	Плата блоку живлення 5В 2А	88 грн
9	ESP32	200 грн
10	NTC термістор 10 kOhm 5% вив., 3950K	10 грн
11	Реле SRD-03VDC-SL-C 5 pins (Songle)	64 грн
	Разом	2747 грн

Загальна вартість капіталовкладень K_v в грн. на реалізацію проекту розраховується

$$K_v = C_{\text{бд}} + C_{\text{заг}}^{\text{об}}, \quad (5.2)$$

де $C_{\text{заг}}^{\text{об}}$ – загальна вартість елементів, грн.

$$K_v = 0 + 2747 = 2747 \text{ грн}$$

Загальна сума витрат складає 2747 грн, що включає в себе як вартість самих компонентів, так і витрати на їх доставку. Всі ці витрати є необхідними для забезпечення функціональності та ефективності проекту з охолодження на основі елементів Пельтьє.

					4KB 07 023.007.ДП.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Розробка та реалізація експериментального лабораторно-дослідницького стенду на базі елементів Пельтьє дозволила досягти значних успіхів у вивченні та дослідженні термоелектричних явищ, а також у розрахунку ефективної системи тепловідведення від цих елементів. Основні результати проекту охоплюють як теоретичні аспекти, так і практичні застосування, що в сукупності дозволяє оцінити ефективність термоелектричних модулів у порівнянні з традиційними компресорними установками.

Проведене вивчення термоелектричних явищ показало, що елементи Пельтьє, завдяки своїй здатності створювати різницю температур при проходженні електричного струму, демонструють велику універсальність у застосуванні. Дослідження підтвердили, що ці модулі можуть бути використані як для охолодження, так і для нагрівання. Проте ефективність їх роботи значною мірою залежить від матеріалів виготовлення, конструкції модуля та умов експлуатації. Вивчення цих факторів дозволило отримати глибше розуміння принципів роботи термоелектричних модулів та їх оптимального використання.

Аналіз переваг та недоліків холодильних установок на базі елементів Пельтьє показав, що вони мають ряд переваг, таких як компактність, безшумна робота та тривалий термін служби. Відсутність рухомих частин знижує рівень шуму та підвищує надійність установок. Крім того, такі установки є легко масштабованими та можуть бути адаптовані до різних умов експлуатації. Однак компресорні установки мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД) і здатні забезпечувати більш інтенсивне охолодження. Вони потребують регулярного обслуговування, мають складнішу конструкцію та створюють значний шум під час роботи.

Серія експериментів дозволила провести порівняльний аналіз ефективності холодильних установок на базі елементів Пельтьє та компресорних установок. Основні досліджувані параметри включали швидкість охолодження, енергоспоживання, стабільність роботи при різних навантаженнях та умовах навколишнього середовища. Результати

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експериментів показали, що установки на базі елементів Пельтьє можуть бути ефективними для застосувань, де важливі компактність, низький рівень шуму та можливість точного контролю температури. Для задач, які вимагають інтенсивного охолодження великого об'єму, компресорні установки залишаються більш ефективними.

Впровадження мікроконтролера ESP-32 до електричної схеми експериментального стенду значно розширило його функціональні можливості. ESP-32 підтримує Wi-Fi та Bluetooth з'єднання, має численні аналогові та цифрові входи і виходи, а також високу обчислювальну потужність. Це дозволяє реалізувати різні способи керування термоелектричними елементами, збирати та аналізувати дані в реальному часі, а також здійснювати віддалений моніторинг та керування установкою.

Мікроконтролер ESP-32 відкрив можливості для реалізації алгоритмів керування, які оптимізують роботу термоелектричних модулів, забезпечуючи максимальну ефективність при мінімальному енергоспоживанні. Крім того, можливість інтеграції стенду з іншими пристроями та системами, такими як системи розумного дому або промислові системи автоматизації, розширює його застосування та відкриває нові горизонти для використання у різних сферах.

Можливість віддаленого моніторингу та керування стала важливим аспектом для наукових досліджень. Це дозволяє здійснювати контроль за роботою установки у режимі реального часу, аналізувати дані про її роботу та вносити корективи у разі необхідності. Такий підхід забезпечує високу точність та надійність вимірювань, що є ключовими факторами у наукових дослідженнях.

Експериментальний лабораторно-дослідницький стенд на базі елементів Пельтьє з мікроконтролером ESP-32 продемонстрував свою ефективність та універсальність як інструмент для вивчення термоелектричних явищ, розрахунку та перевірки різних способів тепловідведення, а також охолодження і нагрівання. Цей стенд дозволяє реалізувати гнучкі та ефективні рішення для різних завдань, а також відкриває нові можливості для наукових досліджень та практичного застосування.

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

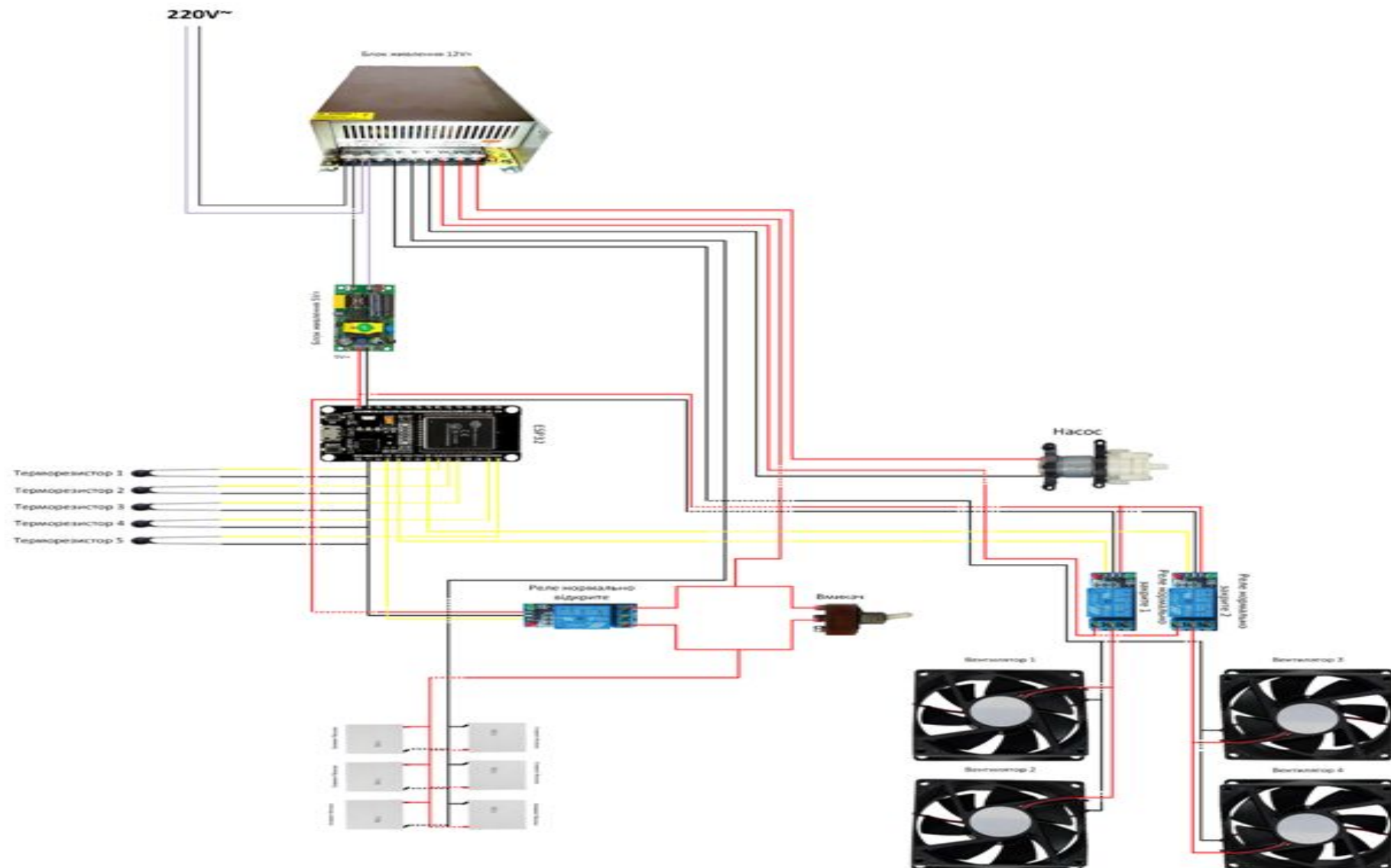
Дослідження, проведені в рамках проекту, підтвердили, що термоелектричні модулі на базі елементів Пельтьє можуть бути успішно використані у багатьох галузях, особливо там, де важливі компактність, низький рівень шуму та можливість точного контролю температури. Однак для задач, що потребують інтенсивного охолодження, компресорні установки залишаються незамінними завдяки їх високому коефіцієнту корисної дії. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оптимізацію роботи термоелектричних модулів, зниження їх енергоспоживання та інтеграцію з іншими сучасними технологіями.

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Костюк, В. П., & Кілін, С. Ф. (2005). Термоелектричні матеріали і пристрої. Київ: Вища школа.
2. Москаленко, С. А., & Кривін, В. О. (2013). Електричні машини з термоелектричними пристроями. Київ: Техніка.
3. Шахов, В. М. (Ред.). (2008). Фізика та техніка твердотільних термоелектричних матеріалів. Київ: Наукова думка.
4. Клішин, В. В., & Стельмах, І. В. (2009). Теплофізичні основи термоелектрики. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
5. Коваленко, В. Ф., & Шахов, В. М. (2003). Теорія термоелектричних пристроїв. Київ: Вища школа.
6. Горелов, В. И. (1974). Термоэлектрические преобразователи. Москва: Энергия.
7. Барановский, Е. Г., & Турчанинов, Д. И. (1965). Теория термоэлектрических преобразователей. Москва: Госэнергоиздат.
8. Чижевский, И. В., & Колесник, Л. И. (1978). Термоэлектрические материалы. Москва: Металлургия.
9. Савченко, В. А. (1971). Теория и расчет термоэлектрических устройств. Киев: Техника.
10. Бузинов, Р. В., & Петров, В. Г. (1985). Термоэлектрические материалы и устройства. Москва: Машиностроение.

					4KB 07 023.000.ДП.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[illegible]

Ім'я користувача:
Катерина Григоріївна Краснокутська

ID перевірки:
1016391923

Дата перевірки:
28.06.2024 08:27:57 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
28.06.2024 08:28:18 EEST

ID користувача:
100011688

Назва документа: 4KB 07 Чернобель А

Кількість сторінок: 41 Кількість слів: 7289 Кількість символів: 56361 Розмір файлу: 537.94 KB ID файлу: 1016205486

2.54%

Схожість

Найбільша схожість: 0.33% з Інтернет-джерелом (<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2a41ba96-c1ea..>

2.54% Джерела з Інтернету

158

Сторінка 43

Не знайдено джерел з Бібліотеки

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0%

Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінні символи

81

**ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»**

В І Д Г У К

керівника про дипломний проект (роботу) студента

Чернобеля Андрія Михайловича

Спеціальність № 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Монтаж і обслуговування систем кондиціонування та
вентиляції повітря»

Тема: Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

а) Об'єм та якість виконаної роботи (графічного матеріалу та розрахунково-пояснювальної записки)

Чернобель Андрій дипломний проект виконав згідно завданню.

ДП складається з пояснювальної записки на 43 сторінках і графічного матеріалу на аркушах, формату А-1. Дипломний проект відповідає вимогам ЕСКД і ДСТУ

б) Самостійність роботи над проектом (роботою)

Дипломник **Чернобель Андрій** над дипломним проектом працював самостійно, графік виконання окремих розділів пояснювальної записки і графічних аркушів не порушував

в) Теоретична підготовка дипломника

Теоретична підготовка студента **Чернобель Андрій** задовільна. При навчанні на за освітньою програмою «Монтаж і обслуговування систем кондиціонування та вентиляції повітря» в цілому показав задовільні результати навчання, більше зацікавленості проявляв до технічних дисциплін.

г) Вміння вирішувати виробничі та конструкторські питання на базі останніх досягнень науки і техніки, передових методів виробництва

Здобувач освіти **Чернобель Андрій Михайлович** працюючи над дипломним проектом показав, що зможе вирішувати конструкторські і виробничі питання на базі сучасних досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування.

Чернобель Андрій Михайлович отримав освітньо-професійний рівень фаховий молодший бакалавр з енергетичного машинобудування і кваліфікацію – технік-механік з обслуговування систем кондиціонування і вентиляції повітря.

Оцінка розрахункової частини	<u>4 (добре)</u>
Оцінка графічної роботи	<u>4 (добре)</u>
Загальна оцінка	<u>4 (добре)</u>

Прізвище, ім'я, по батькові керівника Жупанов Іван Анатолійович

Місце роботи і посада керівника проекту: Завідувач майстерні слюсарно-електромонтажної ВСП «ОТФК ОНТУ»

«4» червня 2024 р.

Підпис



РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента

Чернобеля Андрія Михайловича
(прізвище, ім'я і по батькові)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»

ОП: «Монтаж та обслуговування систем кондиціонування і вентиляції повітря»

Керівник дипломного проекту

Жупанов І.А.

Тема дипломного проекту: Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт.

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки _____ сторінок

Обсяг графічної частини проекту _____ аркушів

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

а) Висновок про ступінь відповідності виконаного дипломного проекту (роботи) завдання

Дипломний проект «Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно- дослідницького стенду , холодопродуктивністю 420 Вт» виконаний згідно завданню і складається з пояснювальної записки на _____ сторінках і графічного матеріала на _____ аркушах. Дипломний проект відповідає вимогам ЕСКД і ДСТУ

б) Характеристика виконання кожного розділу проекту: ступеня використання дипломником останніх досягнень науки і техніки передових методів роботи на

Тема дипломного проекту розкрита у повному обсязі. Всі розділи розрахунково-конструкторської частини виконані з урахуванням останніх досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування. Дипломник використовував технічну і довідкову літературу по даній темі. Враховані передові методи роботи на виробництві

в) Оцінка якості використання графічної частини проекту (роботи) і пояснювальної записки

Якість виконання пояснювальної записки і графічної частини задовільна

г) Перелік позитивних якостей дипломного проекту (роботи)

1. Виконання реального дипломного проекту

2. Виконання завдання по автоматизації роботи стенду, застосовуючи навички програмування

д) Основні недоліки дипломного проекту (роботи)

Для живлення модуля ESP-32 більш раціонально було застосувати модуль пониження напруги, замість окремого блоку живлення.

Оцінка розрахункової частини	4 (добре)
Оцінка графічної частини	4 (добре)
Загальна оцінка	4 (добре)

Прізвище, ім'я, по батькові

Перелов Сергій Васильович
професійний інженер

Місце роботи і посада рецензента

МОВ Купи Територія

« 10 » 04 14 »


(підпис)

**ДОЗВІЛ
НА РОЗМІЩЕННЯ
ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
В ЕЛЕКТРОННОМУ РЕПОЗИТАРІЇ ВСП «ОТФК ОНТУ»**

Ми, що нижче підписалися,

Чернобель Андрій Михайлович,
здобувач освіти гр. 4КВ-07, та

Жупанов Іван Анатолійович,
керівник дипломного проекту,

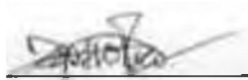
не заперечуємо щодо розміщення електронного варіанту пояснювальної записки до дипломного проекту фахового молодшого бакалавра на тему:

«Виготовлення системи охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт» (автор роботи – Чернобель А.М., керівник роботи – Жупанов І.А.)

виконаного у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету» в 2024 році, у повному обсязі в електронному репозитарії ВСП «ОТФК ОНТУ» для вільного доступу через мережу Інтернет.

Несемо відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів випускної кваліфікаційної роботи і даємо згоду на обробку персональних даних.

Виконавець



/ Чернобель А.М. /

Керівник



/ Жупанов І.А. /

«10» червня 2024 р.