

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

Спеціальність № 142

«Енергетичне машинобудування»

ОПІ: «Системи кондиціонування та  
вентиляції повітря»

Група: 2 БКВ - 05

**Дипломний проєкт**  
**здобувача освіти денного відділення**  
**2БКВ 07. 001. 000 ДІ**

**Башлія Дениса**

**м. Одеса - 2024 р**


Спеціальність 142  
Енергетичне машинобудування  
Група 2 БКВ-05

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА БКВ. 05. 001. 000 ДП

До дипломного проекту на тему:

Розробка лабораторного-дослідницького стенду для дослідження  
термоелектричного способу охолодження, холодопродуктивністю  
420 Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ»

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

Дипломник  (Башлій Д.І.)

Керівник проекту  (Черненко А.О.)

**Консультанти:**

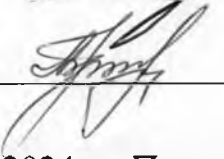
з економічної частини  (Катан В.П.)

з будівельної частини  (Волянська С.В.)

з охорони праці  (Чорновол Н.І.)

по дотриманню  
вимог ЄСКД  (Волянська С.В.)

До захисту допущено  
Завідуючий кафедрою  (Хмельнюк М.Г.)

Завідуючий відділенням  (Бригадир Л.Г.)

Захист "28" 06 2024 р. Протокол ЕК № 02 БКВ

Оцінка ЕК 4 (добре)

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 НВП  
\_\_\_\_\_ Беркань Іг.В.  
“ 20 ” лютого 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**до дипломного проектування**

Прізвище, ім'я та по батькові **Башлію Денису**  
Галузь знань № 14 «Електрична інженерія»  
Спеціальність № 142 «Енергетичне машинобудування»  
Освітня програма «Системи кондиціонування і вентиляції повітря»  
Тема проєкту: «Розробка лабораторно-дослідницького стенду охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ»»

Стверджена наказом по коледжу від « 02 » 11 2023 р. № 244 –А2- ОД

Зміст та послідовність виконання дипломного проекту

**Вступ**

**1. Загальна частина.**

1.1 Технічна характеристика, призначення експериментального стенду

**2. Розробка електричної частини лабораторно-дослідницького стенду на базі елементів Пельтьє**

2.1 Призначення і технічна характеристика компонентів електричної схеми стенду

2.2 Розрахунок та розробка системи живлення та керування для всіх електричних елементів дослідницько-лабораторного стенду

2.3 Розробка система автоматизації та вимірювання, побудованої на мікроконтролері ESP32 з використанням Wi-Fi технології для передачі даних про температуру в режимі реального часу на пристрої клієнтів

2.4 Розробка веб-застосунку, для моніторингу температури, та керування роботою обладнання

2.5 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті електричної системи стенду

**3. Розробка системи тепловідводу від елементів Пельтьє**

3.1 Призначення, технічна характеристика елементів стенду, які задіяні в системі тепловідводу

3.2 Розрахунок системи тепловідводу тепла від елементів Пельтьє

3.3 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті системи тепловідводу

**4. Розробка методик проведення лабораторних робіт**

**5. Економічна частина**

**6. Охорона праці**

**7. Висновки**

**8. Використана література**

## 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, 2	06 ÷ 08.06.2024
6. Економічна частина	09 ÷ 11.06.2024
7. Охорона праці	13.06.2024
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

Завідуючий кафедрою \_\_\_\_\_ (Хмельнюк М.Г.)

Попередній захист проведено, зауваження враховано

Керівник проекту \_\_\_\_\_ (Черненко А.О.)

Форма	Зона	Поз	Позначення	Назва	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
			БКВ 05. 001. 000 ДП	<u>Дипломний проект</u>		
A4		1	БКВ 05. 001. 000 ДП ПЗ	Пояснювальна записка	1	
				<u>Креслення</u>		
A4		1	БКВ 05. 001. 001 ДП СБ	Схема блоку живлення 12в	1	
A4		2	БКВ 05. 001. 002 ДП СБ	Схема автоматизації	1	
A4		3	БКВ 05. 001. 003 ДП СБ	Схема зеднання елементів	1	
				Пельтьє		

БКВ 05. 001. 000 ДП

Зм	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Літера	Арк.	Арк.
Розробив		Башлій Д			н	д	п
Перевір.		Черненко					
Н. контр.		Волянська			ВСП ОТФК ОНТУ,		

## РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента

Пруби Дмитра Сергійовича  
(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

Беркань Ір.В.

Тема дипломного проекту: Розробка системи кондиціонування і вентиляції повітря залу засідань ТОВ «Вінницька птахофабрика» на 293 посадкових місць

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 «Розробка системи кондиціонування і вентиляції повітря залу засідань ТОВ «Вінницька птахофабрика» на 293 посадкових місць», виконаний згідно завданню і складається з пояснювальної записки на \_\_\_\_\_ сторінках і графічного матеріала на чотирьох 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 добра

г) Перелік позитивних якостей дипломного проекту (роботи)

1. Обґрунтування і вибір сучасних центральних кондиціонерів VTS Clima CV/A
2. Застосування в якості холодильного агенту сучасного озонобезпечного хладону R 134
3. Виконання графічної частини за допомогою програми Auto CAD

д) Основні недоліки дипломного проекту (роботи)

Для теплового розрахунку прийняті максимальні теплоприпливи, при яких необхідно застосовувати систему з акумулятором холоду для зниження теплового навантаження.

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

**Башлія Дениса**

**Спеціальність**                      № 142 «Енергетичне машинобудування»  
**Освітня програма**                «Системи 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)

Башлій Денис дипломний проект виконав згідно завданню.

ДП складається з пояснювальної записки на сторінках і графічного матеріалу на аркушах, формату А-4. Дипломний проект відповідає вимогам ЕСКД і ДСТУ

б) Самостійність роботи над проектом (роботою)

Дипломник Башлій Денис над дипломним проектом працював самостійно, графік виконання окремих розділів пояснювальної записки і графічних аркушів не порушував

в) Теоретична підготовка дипломника

Теоретична підготовка студента Башлія Дениса 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 Башлій Денис працюючи над дипломним проектом показав, що зможе вирішувати конструкторські і виробничі питання на базі сучасних досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування.

Башлій Денис отримав освітній рівень бакалавр з енергетичного машинобудування.

Оцінка розрахункової частини \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Оцінка графічної роботи \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Загальна оцінка \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_)

Прізвище, ім'я, по батькові керівника Черненко Андрій Олександрович

Місце роботи і посада керівника проекту: Майстер виробничого навчання ВСП «ОТФК ОНТУ»

-

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Підпис \_\_\_\_\_

## Зміст

<b>Вступ.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Загальна частина. Технічна характеристика, призначення експериментального стенду.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Розробка електричної частини лабораторно-дослідницького стенду на базі елементів Пельтьє.....</b>	<b>10</b>
2.1 Призначення і технічна характеристика компонентів електричної схеми стенду.....	10
2.2 Розрахунок та розробка системи живлення та керування для всіх електричних елементів дослідницько-лабораторного стенду.....	18
2.3 Розробка система автоматизації та вимірювання, побудованої на мікроконтролері ESP32 з використанням Wi-Fi технології для передачі даних про температуру в режимі реального часу на пристрої клієнтів.....	22
2.4 Розробка веб-застосунку, для моніторингу температури, та керування роботою обладнання.....	24
2.5 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті електричної системи стенду.....	26
<b>3.Розробка системи тепловідводу від елементів Пельтьє.....</b>	<b>29</b>
3.1 Призначення, технічна характеристика елементів стенду, які задіяні в системі тепловідводу.....	29
3.2 Розрахунок системи тепловідводу тепла від елементів Пельтьє.....	37

					<i>2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Башлій Д.І			Розробка лабораторного-дослідницького стенду для дослідження термоелектричного способу охолодження, холодопродуктивністю 420 Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ».	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Черненко А.О					3	59
Реценз.						Організація		
Н. Контр.		Волянська С.В						
Затверд.		Беркань Ір.В						

3.3 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті системи тепловідводу.....	46
<b>4. Розробка методик проведення лабораторних робіт.....</b>	<b>49</b>
<b>5. Економічна частина.....</b>	<b>50</b>
<b>6. Охорона праці.....</b>	<b>53</b>
<b>7. Висновки.....</b>	<b>58</b>
<b>8. Перелік використаних джерел.....</b>	<b>59</b>

					2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Умови стрімкого розвитку науково-технічного прогресу та підвищених вимог до енергоефективності й екологічної чистоти технічних рішень стимулюють широке застосування новітніх технологій у різних сферах індустрії та науки. Однією з перспективних технологій є використання елементів Пельтьє, які завдяки своїм термоелектричним властивостям забезпечують ефективне охолодження та нагрівання без потреби у рухомих частинах. Це робить їх особливо привабливими для використання у різних технічних рішеннях, де критично важлива ефективність та надійність системи.

Метою даного комплексного дипломного проекту є розробка та виготовлення стенду на базі елементів Пельтьє, що об'єднує в собі технічні розробки і наукові дослідження. Основна увага приділяється двом ключовим аспектам: проектуванню електричної частини стенду та проектуванню системи відводу тепла. Перше завдання передбачає розробку оптимальної електричної схеми, яка забезпечить стабільну роботу елементів Пельтьє та інших компонентів стенду. Друге завдання полягає в створенні ефективної системи відведення тепла, що є критично важливим для забезпечення оптимальних робочих умов і тривалої експлуатації елементів Пельтьє.

Однією з ключових цілей цього проекту є вивчення і аналіз переваг та недоліків холодильних установок, заснованих на елементах Пельтьє. Це дозволить з'ясувати оптимальні умови їх застосування, а також виявити можливі напрямки для подальших удосконалень та інновацій. Розробка інтегрованої системи керування температурними режимами на основі модуля ESP-32 дозволяє автоматизувати процеси та підвищити ефективність експлуатації холодильних установок з елементами Пельтьє.

Дипломна робота також передбачає розробку науково-методичного апарату для проведення лабораторних досліджень та експериментів на стенді. Це сприятиме подальшому розвитку технічних систем і підготовці кваліфікованих фахівців у сфері теплоенергетики та автоматизації. Проект також відкриває

					2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нові можливості для наукових досліджень і практичного застосування в галузі сучасних технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності та сталість технологічних процесів.

					2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Технічна характеристика, призначення стенду

Експериментальний стенд, розроблений на основі елементів Пельтьє, призначений для детального вивчення термоелектричних явищ, оцінки ефективності термоелектричних модулів, а також для тестування різних методів охолодження та нагрівання. Основною метою комплексного дипломного проекту було виявлення переваг і недоліків систем охолодження, що базуються на елементах Пельтьє, у порівнянні з традиційними компресорними системами. В процесі розробки електричної схеми стенду особливу увагу приділили можливостям розширення функціональності та управління, для чого було вирішено додати мікроконтролер ESP-32.

Термоелектричні модулі, відомі як елементи Пельтьє, функціонують на основі ефекту Пельтьє, який полягає у створенні температурного градієнта під час проходження електричного струму через контакт двох різних матеріалів. Це дозволяє використовувати модулі як для охолодження, так і для нагрівання, що робить їх універсальними для багатьох застосувань. Проте, їх ефективність залежить від численних факторів, включаючи матеріали виготовлення, конструкцію модуля та умови експлуатації.

Серед основних переваг холодильних систем на базі елементів Пельтьє є їх компактність та відсутність рухомих частин, що забезпечує тиху роботу та довгий термін служби. Крім того, такі системи легко масштабуються і адаптуються до різних умов експлуатації. З іншого боку, компресорні установки зазвичай мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД) і здатні забезпечувати більш інтенсивне охолодження. Однак, вони характеризуються більш складною конструкцією, потребують регулярного обслуговування та генерують шум під час роботи.

В рамках комплексного дипломного проекту було проведено серію експериментів, щоб порівняти ефективність холодильних систем на основі елементів Пельтьє та компресорних систем. Дослідження включали оцінку

					2БКВ 05.001.001.ДП.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

таких параметрів, як швидкість охолодження, споживання енергії, стабільність роботи під різними навантаженнями і в різних умовах навколишнього середовища. Результати показали, що системи на базі елементів Пельтьє є ефективними для застосувань, де важливими є компактність, низький рівень шуму та точний контроль температури. Водночас, для застосувань, які потребують інтенсивного охолодження великих обсягів, компресорні системи залишаються більш продуктивними.

Включення мікроконтролера ESP-32 до електричної схеми експериментального стенду значно розширило його функціональні можливості. Мікроконтролер ESP-32 є потужним і багатофункціональним пристроєм, що підтримує Wi-Fi та Bluetooth-з'єднання, має численні аналогові та цифрові входи і виходи, а також високу обчислювальну потужність. Це дозволяє реалізувати різноманітні способи управління термоелектричними модулями, збирати та аналізувати дані в режимі реального часу, а також здійснювати дистанційний моніторинг і управління установкою.

За допомогою ESP-32 можна впроваджувати алгоритми управління, що оптимізують роботу термоелектричних модулів, забезпечуючи максимальну ефективність охолодження або нагрівання при мінімальному енергоспоживанні. Також мікроконтролер дозволяє інтегрувати стенд з іншими системами, такими як системи розумного дому або промислові автоматизовані системи, що відкриває нові можливості для його використання.

Додатково, можливість дистанційного моніторингу та управління дозволяє стежити за роботою системи в режимі реального часу, аналізувати її ефективність і вносити необхідні корективи. Це особливо важливо для наукових досліджень, де точність і надійність вимірювань є ключовими.

Таким чином, лабораторно-дослідницький стенд на базі елементів Пельтьє з мікроконтролером ESP-32 є ефективним інструментом для вивчення термоелектричних явищ і оптимізації систем охолодження і нагрівання. Його гнучкість і розширені можливості відкривають нові перспективи як для наукових досліджень, так і для практичного застосування.

					2БКВ 05.001.001.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

## 2. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЧАСТИНИ ЛАБОРАТОРНО-ДОСЛІДНИЦЬКОГО СТЕНДУ НА БАЗІ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ

### 2.1 Призначення і технічна характеристика компонентів електричної схеми стенду

До складу лабораторно-дослідницького стенду входять такі електричні компоненти:

1. Елементи Пельтьє
2. Циркуляційний насос
3. Блок живлення 12В
4. Вентилятори повітряного теплообмінника
5. Терморезистори
6. Мікроконтролер ESP-32
7. Реле нормально-закрите
8. Реле нормально-відкрите
9. Блок живлення 5V

#### 1. Елемент Пельтьє

Елементи Пельтьє, або термоелектричні модулі, використовуються для створення температурного градієнта шляхом пропускання електричного струму через з'єднані напівпровідникові матеріали. Розглянемо як виглядає елемент Пелетє на рисунку 1.

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

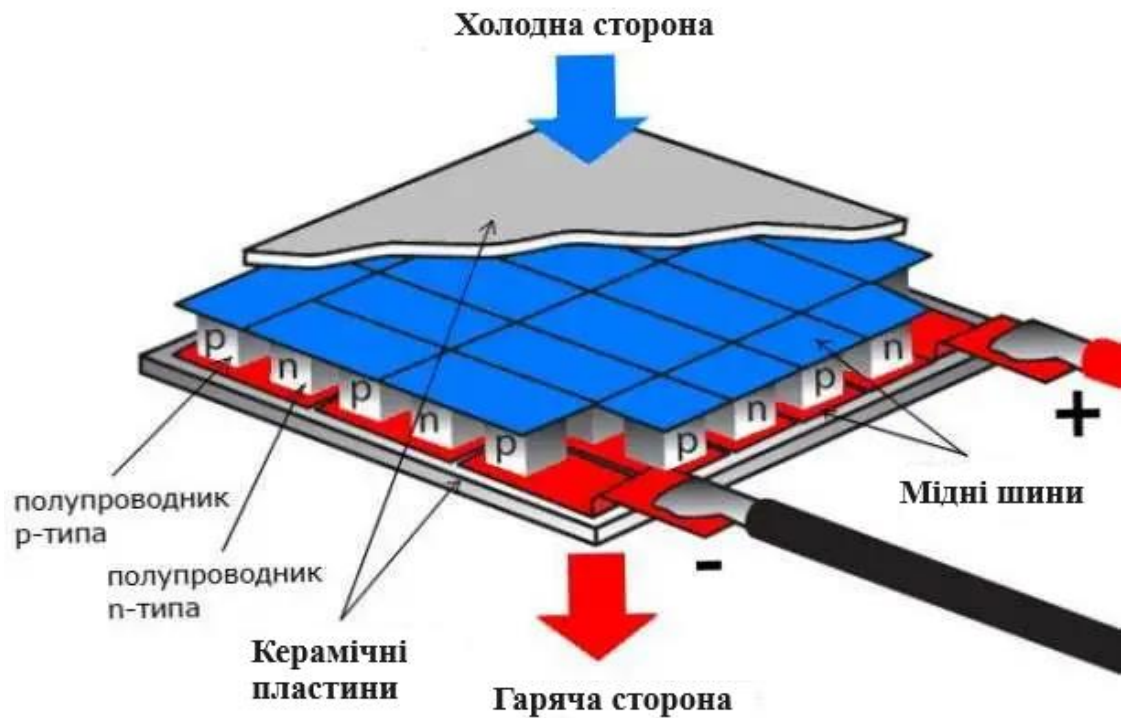


Рисунок 1 – Елемент Пелетьє

Основні призначення елементів Пельтьє включають:

- Термоелектричне охолодження:
- Елементи Пельтьє використовуються в системах охолодження для забезпечення низьких температур без використання традиційних холодильних агентів. Вони можуть застосовуватися в електронних пристроях, медичних приладах, оптичних системах тощо.
- Нагрівання: Завдяки зміні напрямку струму через модуль, елементи Пельтьє можуть виконувати функцію нагрівання, що дозволяє їх використовувати в системах з підігрівом.
- Температурне регулювання: Елементи Пельтьє забезпечують точне управління температурою, що є важливим у наукових експериментах і промислових процесах.
- Термоелектричні генератори: Елементи Пельтьє можуть генерувати електроенергію при наявності температурного градієнта, що дозволяє використовувати їх в альтернативних джерелах енергії.

- Технічні характеристики елементів Пельтьє :
- Температурний діапазон: Діапазон температур, в якому модуль може ефективно працювати (від  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ ).
- Максимальна різниця температур ( $\Delta T_{\text{max}}$ ): Максимальна різниця температур між холодною та гарячою сторонами модуля, яку він може створити (зазвичай до  $70^{\circ}$  -  $75^{\circ}\text{C}$ ).
- Коефіцієнт корисної дії (ККД): Співвідношення корисної охолоджувальної потужності до введеної електричної потужності
- Розміри: Габарити модуля : 40mm x 40mm x 4mm.
- Термін служби: Середній час безвідмовної роботи модуля (звичайно від 20 000 до 100 000 годин).

Електричні параметри:

- Напруга (V): Робоча напруга, при якій модуль працює найефективніше (звичайно від 4V до 16V).
- Струм (I): Робочий струм - 8A

2. **Циркуляційний насос** є важливим компонентом лабораторного стенду, призначеним для створення надлишкового тиску в теплообмінниках, достатнього для постійної циркуляції теплоносія. Оскільки теплоносій часто має підвищену температуру, необхідно обирати циркуляційний насос з високою робочою температурою. На рисунку 2 зображено циркуляційний насос.



Рисунок 2 – Циркуляційний насос

									Арк.
									91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ				

Додатковою перевагою буде виконання циркуляційного насоса в роздільному корпусі, де електропривод та робоча частина розташовані окремо. Це конструктивне рішення запобігає контакту електроприводу з теплоносієм, що підвищує безпеку та надійність роботи системи. Подібна конструкція забезпечує захист електроприводу від впливу високих температур та агресивного середовища, що може сприяти довговічності та стабільній роботі насоса.

Циркуляційний насос має бути ретельно підібраний з урахуванням робочих параметрів системи, включаючи температуру, тиск та швидкість потоку теплоносія. Важливо також враховувати хімічні властивості теплоносія, особливо якщо він містить агресивні або корозійні речовини, які можуть вплинути на матеріали насоса.

Забезпечення ефективної роботи циркуляційного насоса є критично важливим для підтримання стабільної температури і належного функціонування теплообмінників. Надійна циркуляція теплоносія дозволяє уникнути перегріву та підвищує ефективність теплообмінних процесів. Використання насоса з роздільним корпусом також сприяє легшому обслуговуванню та ремонту, що є додатковою перевагою в експлуатації лабораторного обладнання.

Таким чином, циркуляційний насос є ключовим елементом у системах циркуляції теплоносія, і його правильний вибір і конструктивне виконання є важливими для забезпечення ефективної і безпечної роботи лабораторного стенду.

Технічні характеристики:

-об'єм перекачуваної рідини: 1,5л/хв

-робоча напруга: 12В

-робочий струм: 0,3А

**3. Блок живлення 12 В** є одним з основних елементів лабораторного

стенду. Його завданням є перетворення змінного струму 220 В у постійний струм напругою 12 В. Імпульсні блоки живлення мають ряд переваг над

									Арк.
									102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ				

традиційними трансформаторами, серед яких головною перевагою є компактні розміри (рисунок 3).

Вихідна потужність блоку живлення повинна бути достатньою для живлення всіх електричних елементів стенду, а також забезпечувати можливість додавання додаткового функціоналу. При виборі блоку живлення необхідно враховувати, що для стабільної та коректної роботи його вихідна потужність має дозволяти уникнути перевантаження блоку живлення і забезпечити його довговічну та надійну експлуатацію.

Імпульсні блоки живлення, порівняно з трансформаторними, також відзначаються вищою ефективністю, меншою вагою та кращим регулюванням вихідної напруги. Вони використовують високочастотні перетворення, що дозволяє зменшити розміри магнітних компонентів і фільтрів. Завдяки цим характеристикам, імпульсні блоки живлення є оптимальним вибором для сучасних лабораторних стендів.

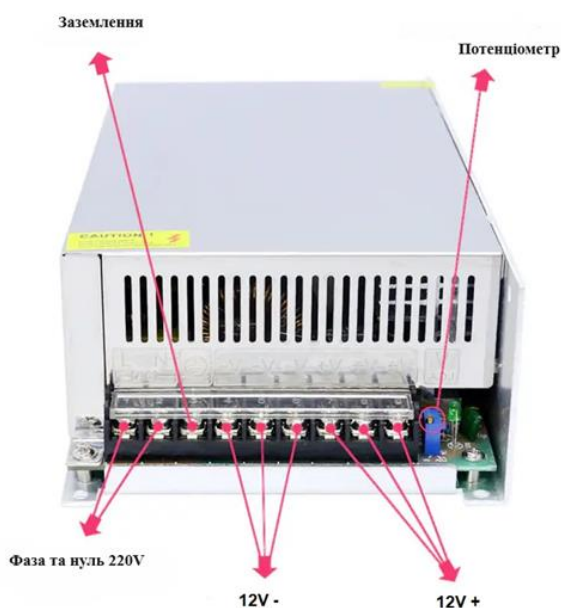


Рисунок 3 – Блок живлення 12 В

Крім того, важливо враховувати умови експлуатації блоку живлення, такі як температура, вологість і наявність електромагнітних перешкод. Якісний блок

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		113

живлення повинен мати захист від короткого замикання, перевантаження та перегріву, що додатково підвищує його надійність і безпеку використання.

Таким чином, блок живлення 12 В є критичним компонентом лабораторного станду, забезпечуючи стабільне і надійне живлення всіх електричних елементів. Його правильний вибір та налаштування є запорукою ефективної роботи всього станду.

Технічні характеристики:

- споживаюча потужність  $(600\text{Вт}+20\%)=720\text{Вт}$
- номінальна напруга: 12В
- номінальний струм: 50А

#### **Вентилятори повітряного теплообмінника:**

Головною функцією вентиляторів, що працюють в парі з повітряним теплообмінником є забезпечення підвищення ефективності теплообміну. Вентилятор забезпечує примусову циркуляцію повітря через теплообмінник, що значно покращує процес теплопередачі. Це сприяє більш швидкому відведенню тепла від охолоджуваних поверхонь. Також, створюючи постійний потік повітря через теплообмінник, унеможливується утворення "гарячих зон" і забезпечується рівномірний розподіл температури по всій площі теплообмінника.



Рисунок 4 - Вентилятор повітряного теплообмінника

Окрім вищевказаних, вентилятор виконує наступні функції:

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

- **Зменшення теплового опору:** Примусова циркуляція повітря знижує тепловий опір між теплообмінником і повітрям, що дозволяє ефективніше відводити тепло.

- **Підтримка стабільної роботи системи:** Вентилятор забезпечує стабільну роботу системи охолодження або нагрівання, що є особливо важливим у випадках змінного теплового навантаження.

Технічні характеристики:

-робоча напруга: 12В

-діаметр робочого колеса: 80мм

**Терморезистор**-радіодеталь, яка в даному випадку використовується для моніторингу температури на різних ділянках системи охолодження. Передаючи інформацію на мікроконтролер ESP-32, вищевказаний радіоелемент дає можливість візуалізувати температурні показники, у вигляді графіку.

Спочатку розглянемо на рисунку 5 мікроконтролер ESP32.

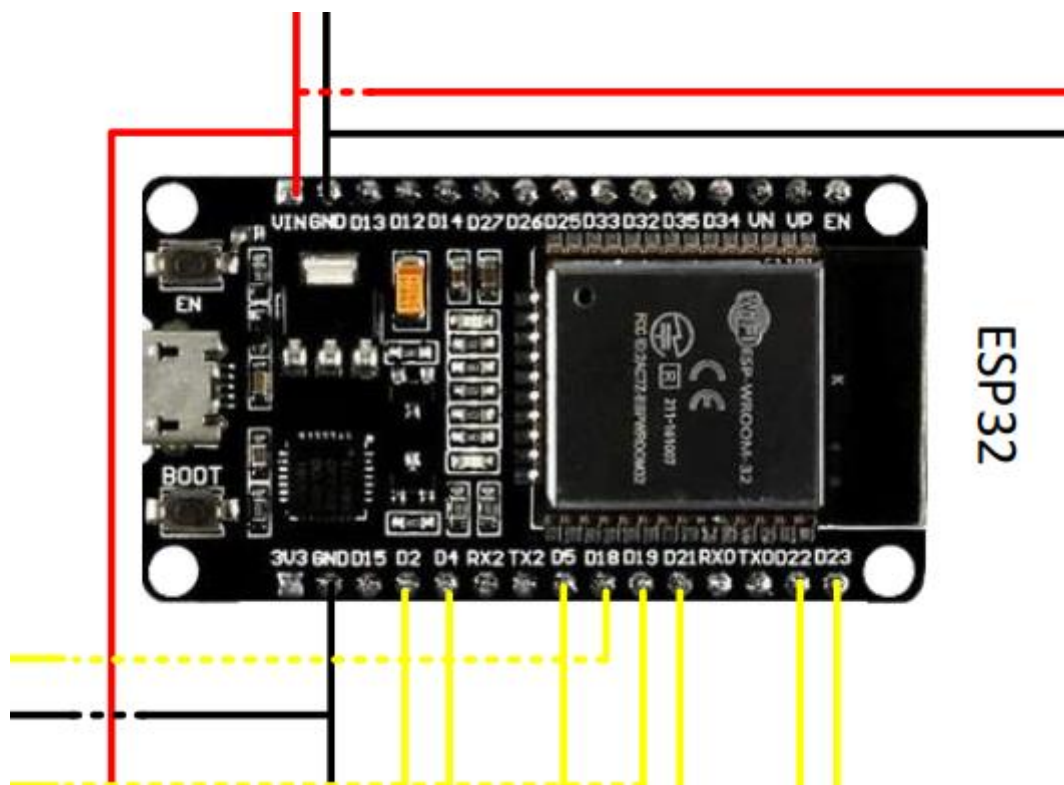


Рисунок 5 - Мікроконтролер ESP32

Мікроконтролер ESP32 є високопродуктивним і багатофункціональним модулем, розробленим компанією Espressif Systems. Він широко використовується в різних електронних проектах завдяки своїм потужним характеристикам, інтегрованим бездротовим модулям та широким можливостям для розробки. Даний девайс має дуже широкий спектр застосувань, тому логічно зупинитись лише на тих, які актуальні, враховуючи специфіку дипломної роботи.

А саме :

- функція багатоканального ключа керування (включення та вимкнення різних елементів електричної схеми)
- можливість віддаленого доступу, за допомогою інтегрованого WI-FI модуля.

В даному випадку, модуль дозволяє віддалено керувати увімкненням/вимкненням елементів Пельтьє, та відключати попарно вентилятори, слідкуючи при тому за зміною графіку температури.

Технічні характеристики:

- робоча напруга: 5V
- максимальний струм: 0.5A (0.08A середній)
- максимальная електрична потужність: 2.5

**Реле**, нормально відкрите-застосовується для варіативності роботи вентиляторів, а саме можливості відключення при роботі стенду, тим самим зменшуючи відвід тепла з повітряного теплообмінника. В даній схемі застосовано два NO- реле, що відключають попарно вентилятори. Реле нормально закриті-застосоване для реалізації 2-модельної схеми включення стенду (ручним способом та автоматично, за допомогою модуля ESP-32. При ввімкненні ручного вмикача, контакти NC реле розімкнуті, модуль ESP-32- відключений. При переведенні ручного вимикача в положення «вимкнено», контакти реле відкриваються, подаючи напругу на модуль ESP-32.

										Арк.
										146
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ					

**Блок живлення, 5V.** Враховуючи, що напруга живлення модуля ESP-32 становить 5V, виникла необхідність додати до схеми блок живлення номіналом в 5V.

Технічні характеристики:

- вихідна напруга: 5V
- максимальний струм: 0,7А
- максимальна потужність: 3,5Вт

## 2.2 Розрахунок та розробка системи живлення та керування для електричних елементів дослідницько-лабораторного стану

Розрахунок коефіцієнта корисної дії елемента Пельтьє:

$$COP=Q_c/P=(71.1)/96=0.74$$

Розрахунок кількості елементів Пельтьє, для забезпечення холодопродуктивності 420Вт:

$$n=Q/Q_c=420/71,1=5,9$$

Таким чином визначили кількість елементів Пельтьє-6шт.

Згідно з тепловим розрахунком, кількість вентиляторів для ефективного тепловідводу з повітряного теплообмінника становить 4шт.

Проведемо розрахунок сумарної споживаної потужності.

Елементи, що споживають електроенергію розглянемо в таблиці 1.

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		157

Таблиця 1 - Елементи, що споживають електроенергію

	Кількість, шт	Потужність, Вт	Сумарна потужність, Вт
Елементи Пельтьє	6	96	576
Вентилятори	4	5,8	23,2
Циркуляційний насос	1	0,3	0,3
Загальна потужність	599,5Вт		

Для забезпечення можливості модернізації стенду було вирішено підбирати блок живлення з запасом, а саме на 720Вт, 12В, 60А.

Аналіз схеми блоку живлення 220В на 12В

Блок живлення, представлений на схемі, забезпечує перетворення змінної напруги 220В на постійну напругу 12В, використовуючи випрямлення, фільтрацію, імпульсне перетворення та стабілізацію. Такий пристрій є критично важливим у багатьох електронних системах, де необхідно забезпечити стабільне та безпечне живлення для чутливих компонентів.

Розглянемо функції та задачі кожного компоненту та вузла схеми детальніше, щоб повністю зрозуміти її роботу.

Вхідна фільтрація та захист:

- **F1 (6.3A)**: Запобіжник, призначений для захисту схеми від надмірного струму та короткого замикання. Його функція полягає в розриві електричного кола у разі перевищення допустимого струму. Це забезпечує захист інших компонентів від пошкодження у випадку несправності.

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		168

- **N1, N2 (NTC 5D-15)**: Нелінійні термістори з негативним температурним коефіцієнтом. Вони обмежують пусковий струм, що запобігає пошкодженню компонентів під час увімкнення живлення. Це особливо важливо для захисту конденсаторів та напівпровідникових елементів від пікових струмів.

- **R1, R2 (680kΩ)**: Резистори, підключені паралельно до термісторів, забезпечують стабілізацію та знижують залишковий струм, що проходить через термістори після їх нагрівання. Це дозволяє мінімізувати вплив на роботу схеми після початкового пуску.

- **CX1 (100nF)**: X-клас конденсатор, призначений для фільтрації електромагнітних завад. Він забезпечує зниження високочастотних перешкод, які можуть передаватися через мережу живлення.

- **Y1, Y2 (2.2nF)**: Y-клас конденсатори, використовуються для придушення високочастотних перешкод між лініями живлення та заземленням. Ці конденсатори допомагають забезпечити електромагнітну сумісність пристрою.

- **L1 (10mH)**: Дросель, виконує функцію фільтрації електромагнітних завад, що можуть бути присутні на вході живлення. Його індуктивність забезпечує затримку високочастотних компонентів струму.

- **Міст ZL1 (5408)**: Випрямний діодний міст, який перетворює змінний струм на постійний. Цей компонент виконує ключову роль у перетворенні змінного струму 220В на випрямлену постійну напругу.

Фільтрація випрямленої напруги

- **C25, C26 (470μF)**: Електролітичні конденсатори, які фільтрують пульсації випрямленої напруги, забезпечуючи більш гладку постійну напругу. Вони накопичують енергію та віддають її під час зниження рівня випрямленої напруги, згладжуючи коливання.

- **R23, R21 (51kΩ), R11, R17 (510kΩ)**: Резистори, що розряджають конденсатори при вимкненні живлення, запобігаючи утворенню залишкової напруги, яка може бути небезпечною для обслуговуючого персоналу та подальшого функціонування пристрою.

Пускова схема:

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- **R7, R7A (160kΩ)**: Резистори, через які подається початкова напруга на ШІМ контролер для його пуску. Вони визначають струм, необхідний для запуску контролера.

- **C2 (4.7nF)**: Конденсатор, який зменшує пульсації напруги, забезпечуючи стабільну роботу схеми. Він також допомагає усунути перехідні процеси при включенні живлення.

ШІМ контролер

- **UC2845**: Контролер широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), що керує роботою ключових транзисторів. Він забезпечує регулювання вихідної напруги та струму за допомогою зміни ширини імпульсів керуючого сигналу. Контролер містить вбудовані захисні функції, такі як обмеження струму та захист від перегріву.

- **R24 (7.5kΩ), C14, C20 (1nF)**: Компоненти, що задають робочий режим ШІМ контролера. Вони визначають частоту та ширину імпульсів, що генерує контролер, забезпечуючи оптимальні умови для роботи ключових транзисторів.

Ключові транзистори та драйвери:

- **VT3 (8050), VT4 (8550)**: Біполярні транзистори, що виконують роль драйверів для MOSFET ключів, забезпечуючи їх швидке включення та виключення. Вони працюють у схемі підсилювача струму, підвищуючи потужність сигналу від контролера до рівня, достатнього для керування MOSFET транзисторами.

- **BT11, BT12 (20N60)**: MOSFET транзистори, які комутують первинну обмотку трансформатора. Вони працюють у ключовому режимі, перетворюючи постійну напругу в імпульси. Висока швидкість комутації MOSFET транзисторів забезпечує ефективну роботу схеми з мінімальними втратами.

Трансформатор та вторинна фільтрація:

**Tr1**: Імпульсний трансформатор, забезпечує гальванічну розв'язку між первинною та вторинною сторонами, а також перетворення напруги.

Для живлення мікроконтролера застосований блок живлення 5В, з максимальною потужністю 3,5ВТ

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.3 Розробка системи автоматизації, побудованої на мікроконтролері ESP-32 з використанням WI-FI технології для передачі даних про температуру і навантаження в реальному часі на пристрої клієнтів ESP-32

Головною ідеєю, при розробці системи автоматизації, було забезпечення двомодельної системи керування стендом. А саме ручним способом (за допомогою ручного вимикача), та автоматичним, за допомогою модуля ESP- 32. Для реалізації задуму, була складена наступна схема

На зображенні представлена схема підключення системи автоматизації на основі мікроконтролера ESP32. Система включає в себе кілька ключових компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення моніторингу та керування температурою і навантаженням. Ось детальний опис кожного компонента та їх підключення:

Основні компоненти:

### **Блок живлення 12V:**

- Підключений до мережі 220V для живлення всіх компонентів системи.
- Вихідні лінії (червоні та чорні дроти) йдуть до різних компонентів для забезпечення живлення.

### **Мікроконтролер ESP32:**

- Центральний контролер системи, який збирає дані з датчиків та керує іншими компонентами.
- До ESP32 підключені терморезистори (жовті дроти), які вимірюють температуру.
- Підключення до блоку живлення (через модуль живлення 5V).

### **Терморезистори (5 шт.):**

- Використовуються для вимірювання температури в різних точках системи.
- Підключені до ESP32 через аналогові або цифрові входи.

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

**Реле (нормально відкриті):**

- Використовується для управління включенням/виключенням насосів та вентиляторів.

- Підключено до ESP32 для отримання сигналів керування.

**Вимикач:**

- Механічний вимикач для ручного управління системою.

- Підключений до реле для включення/вимкнення.

**Насос:**

- Використовується для циркуляції рідини у системі охолодження або обігріву.

- Керується реле, яке підключене до ESP32.

**Вентилятори (4 шт.):**

- Використовуються для охолодження або вентиляції.

- Підключені парами до двох реле для попарного управління.

- Керується ESP32 через реле.

**Реле для вентиляторів (2 шт.):**

- Кожне реле керує парою вентиляторів.

- Підключені до ESP32 для сигналів керування.

**Підключення та взаємодія**

- Червоні та чорні дроти забезпечують живлення компонентів.

- Жовті дроти підключають терморезистори до ESP32 для зчитування даних температури.

- Сині дроти з'єднують ESP32 з реле для керування насосом і вентиляторам.

- Реле, підключені до ESP32, контролюють увімкнення/вимкнення насосів та вентиляторів.

- Вимикач дозволяє ручне управління через реле.

Ця система автоматизації дозволяє віддалено контролювати і управляти температурою і навантаженням, забезпечуючи ефективно і надійне функціонування.

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ				

## 2.4 Розробка веб-застосунку, для моніторингу температури, та керування роботою обладнання

В рамках дослідницького проекту було розроблено веб-застосунок для вимірювання температури та загальної візуалізації даних. Цей застосунок функціонує на базі веб-серверу ESP32 і складається з двох основних частин: back-end та front-end. Back-end відповідає за управління всіма процесами, тоді як front-end призначений для відображення інформації користувачу.

### Структура веб-застосунку

Веб-застосунок для вимірювання температури складається з кількох ключових елементів, які взаємодіють для забезпечення повного функціоналу системи. На основі файлів проекту, структура веб-застосунку описана наступним чином:

1. **Back-end:** Веб-сервер ESP32, який відповідає за обробку даних з терморезисторів та передачу їх на front-end. Веб-сервер отримує дані з різних точок вимірювання і передає їх через WebSocket-з'єднання у форматі JSON.

2. **Front-end:** Інтерфейс користувача, реалізований за допомогою HTML, CSS та JavaScript. Front-end відображає дані у вигляді графіків, які оновлюються в реальному часі на основі отриманих даних. Стиль веб-сторінки налаштований для зручного візуального сприйняття, зокрема використано градієнтний фон та адаптивний дизайн.

### 3. Функціональні можливості веб-застосунку

Веб-застосунок забезпечує кілька основних функцій:

1. **Відображення температурних графіків:** На веб-сторінці відображаються п'ять графіків (рисунок 6), кожен з яких представляє температуру, виміряну в різних частинах стенда. Це дозволяє проводити лабораторні роботи, засновані на аналізі температурних різниць. Графіки створені за допомогою бібліотеки Chart.js, що забезпечує їх динамічне оновлення.

2. **Управління стендом:** Для дистанційного керування стендом передбачено три кнопки: запуск елементів Пельтьє, увімкнення/вимкнення

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

вентиляторів 1-2 та 3-4. Керування здійснюється через WebSocket-з'єднання з передачею відповідних команд на веб-сервер.

**3. Аутентифікація:** Для забезпечення безпеки та запобігання несанкціонованому доступу студентів до управління стендом передбачено поле для введення пароля. Лише після введення правильного пароля, відомого викладачу, стають доступними кнопки для керування стендом.

#### Принцип роботи веб-застосунку

Принцип роботи веб-застосунку полягає у безперервному збиранні та передачі даних з терморезисторів до веб-серверу ESP32. Сервер обробляє ці дані та через WebSocket-з'єднання надсилає їх на front-end, де вони відображаються у вигляді графіків. Завдяки інтерактивному інтерфейсу користувачі можуть в реальному часі спостерігати за змінами температури та керувати стендом для проведення експериментів.

Розроблений веб-застосунок на базі веб-серверу ESP32 ефективно виконує завдання з вимірювання температури та візуалізації даних. Завдяки

інтеграції front-end та back-end компонентів, а також забезпеченню безпеки через аутентифікацію, цей інструмент стає важливим елементом для проведення лабораторних робіт і досліджень.

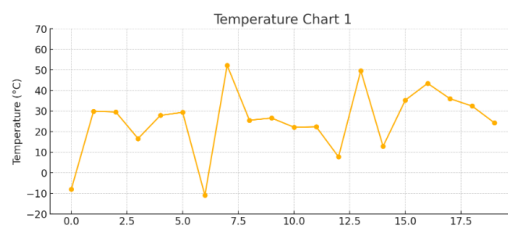
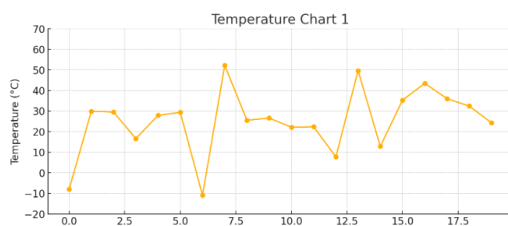


Рисунок 6

## 2.5 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті електричної системи стенду

Для майбутнього вдосконалення електричної схеми стенду на базі елементів Пельтьє можна розглянути кілька можливостей. Однією з перспективних ідей є впровадження живлення від альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі та вітрогенератори. Це дозволить

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

використовувати відновлювану енергію для живлення стенду, забезпечуючи екологічно чисте і енергоефективне рішення. В умовах частих відключень електроенергії використання альтернативних джерел енергії є особливо актуальним, оскільки це забезпечить безперервну роботу стенду і запобігатиме перериванню досліджень та експериментів. Сонячні панелі можуть бути встановлені на даху лабораторії або безпосередньо на стенді, що забезпечить автономність його роботи в умовах гарної освітленості. Вітрогенератори можуть використовуватися як додаткове джерело енергії, що дозволить використовувати стенд навіть у нічний час або в умовах недостатнього сонячного світла.

Також важливим доповненням може стати система резервного живлення. Встановлення акумуляторних батарей забезпечить безперервну роботу стенду під час відсутності основного живлення, що особливо важливо для тривалих досліджень та експериментів. Акумулятори можуть зберігати енергію, отриману від альтернативних джерел, і забезпечувати живлення у разі відключення основного джерела електроенергії. Додавання системи безперебійного живлення (UPS) допоможе захистити обладнання від раптових відключень електроенергії і забезпечити стабільну роботу системи, запобігаючи втраті даних і пошкодженню компонентів стенду.

Модуль дистанційного керування та моніторингу є ще одним корисним доповненням. Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) дозволить віддалено керувати та моніторити стан стенду через інтернет, збирати дані, контролювати роботу елементів Пельтьє та налаштовувати параметри. Це дозволить

проводити експерименти та дослідження з будь-якої точки світу, забезпечуючи зручність і гнучкість у роботі з обладнанням. Розробка мобільного додатку для зручного віддаленого управління і моніторингу роботи стенду також буде корисною, оскільки дозволить оперативно реагувати на зміни в роботі стенду та вносити необхідні корективи.

Важливим аспектом є система регулювання та контролю температури. Впровадження інтелектуальних алгоритмів для автоматичного регулювання температури забезпечить оптимальні умови роботи стенду. Ці алгоритми можуть враховувати різні фактори, такі як зовнішня температура, інтенсивність

					2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сонячного випромінювання або навантаження на систему, і автоматично коригувати роботу елементів Пельтьє для досягнення заданих параметрів. Додавання додаткових датчиків температури дозволить більш точно контролювати і моніторити температурні режими, забезпечуючи стабільність і надійність експериментів.

Розширення функціональності системи відводу тепла може включати використання теплових насосів і теплових труб для підвищення ефективності відводу тепла і оптимізації роботи системи охолодження. Теплові насоси можуть використовуватися для ефективного переміщення тепла від елементів Пельтьє до зовнішнього середовища, що забезпечить більш стабільну роботу системи. Теплові труби, в свою чергу, можуть

покрасити теплопровідність і забезпечити більш ефективне відведення тепла від елементів Пельтьє, запобігаючи їх перегріву і підвищуючи їх ефективність.

Іншим напрямком вдосконалення є впровадження енергозберігаючих технологій. Використання інтелектуальних алгоритмів для оптимізації споживання енергії знизить витрати на електроенергію і підвищить енергоефективність стенду. Алгоритми можуть автоматично регулювати роботу компонентів стенду, забезпечуючи мінімальне споживання енергії без втрати продуктивності. Заміна або модернізація існуючих компонентів на більш енергоефективні аналоги також сприятиме зниженню енергоспоживання і підвищенню ефективності роботи системи.

Нарешті, інтеграція з іншими лабораторними установками може значно розширити функціональні можливості стенду. Синхронізація роботи стенду з іншими дослідницькими установками дозволить проводити комплексні експерименти і отримувати більш точні та об'ємні результати. Це може бути особливо корисним для міждисциплінарних досліджень, де необхідно інтегрувати дані з різних джерел і об'єднувати результати для отримання більш повної картини. Такі вдосконалення дозволять підвищити ефективність та надійність роботи стенду, забезпечивши додаткові можливості для проведення наукових досліджень і лабораторних експериментів.

										Арк.
										28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.002.ДП.ПЗ					

### 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВІДВОДУ ТЕПЛА ВІД ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ

#### 3.1 Призначення, технічна характеристика елементів стенду, які задіяні в системі тепловідводу

В охолодженні елементів Пельтьє беруть участь наступні елементи стенду:

1. водяний теплообмінник (водоблок)
2. повітряний теплообмінник (пластинчастий)
3. проміжна ємність
4. циркуляційний насос
5. пластикові трубки, для з'єднання компонентів

1. **Водяний теплообмінник** ми можемо розглянути на рисунку 6.



Рисунок 6

Відвод тепла від елементів Пельтьє є важливим компонентом системи термоелектричного охолодження. Виготовлений з металу, він забезпечує ефективне охолодження шляхом передачі тепла від термоелектричних модулів до теплоносія, яким в даному випадку виступає вода.

Конструкція теплообмінника включає два отвори: один для подачі води, а інший для її відводу. Це забезпечує безперервний потік охолоджувальної рідини

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

через систему, підтримуючи стабільну роботу елементів Пельтьє та запобігаючи їх перегріванню.

Для збільшення ефективності передачі тепла, внутрішня частина теплообмінника оснащена металевим оребренням. Це оребрення значно збільшує площу контакту між теплообмінником та теплоносієм, що дозволяє більш ефективно відводити тепло. Оребрення створює турбулентний потік води всередині теплообмінника, що сприяє кращому теплообміну та запобігає утворенню теплових зон застою.

Матеріали, що використовуються для виготовлення водяного теплообмінника, повинні мати високу теплопровідність і корозійну стійкість. Зазвичай для цієї мети обирають мідь або алюміній, оскільки ці метали мають відмінні теплопровідні властивості. Мідні теплообмінники мають вищу теплопровідність, але є дорогими, тоді як алюмінієві є більш доступними за ціною і мають достатньо високу ефективність.

Важливою характеристикою теплообмінника є його габаритні розміри та форма, що повинні відповідати конкретним умовам експлуатації. Розмір теплообмінника впливає на об'єм води, який він може пропускати, і, відповідно, на його охолоджувальну здатність. Форма та розміщення оребрення також відіграють ключову роль у забезпеченні максимальної ефективності теплообміну.

Монтаж водяного теплообмінника повинен здійснюватися з урахуванням особливостей конструкції системи охолодження та її компонентів. Потрібно забезпечити надійне з'єднання теплообмінника з водопровідними трубками, щоб уникнути протікань. Також важливо передбачити можливість легкого демонтажу теплообмінника для проведення технічного обслуговування, очищення та ремонту.

Застосування водяних теплообмінників для відводу тепла від елементів Пельтьє поширене в різних галузях, включаючи електроніку, промислову автоматизацію, медичне обладнання та інші сфери, де необхідне ефективне охолодження. Завдяки своїй конструкції та високій ефективності, водяні теплообмінники забезпечують надійну роботу термоелектричних систем та сприяють збільшенню їхнього терміну служби.

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні характеристики:

-габаритні розміри: 120x40x15мм

-діаметр входу та виходу: 8мм

**2.Повітряний теплообмінник** (рисунок 7) представляє собою ряд металевих пластин або ребер, з'єднаних між собою та виготовлених таким чином, щоб між ними був можливий наскрізний обвід повітря. Ці пластини, зазвичай виготовлені з металів з високою теплопровідністю, таких як алюміній або мідь, значно збільшують площу поверхні для ефективного розсіювання тепла.



Рисунок 7

У внутрішній частині такого теплообмінника постійно циркулює теплоносій, який передає тепло на металеві пластини або ребра. Це забезпечує ефективну теплопередачу від джерела тепла, такого як елемент Пельтьє, до теплообмінника. Для більш ефективного розсіювання тепла у навколишнє середовище, повітряний теплообмінник доцільно використовувати в парі з вентилятором(декількома вентиляторами). Вентилятор створює примусовий обдув, що підвищує швидкість теплообміну між пластинами і навколишнім повітрям, забезпечуючи тим самим більш ефективне охолодження.

Конструкція повітряного теплообмінника включає не тільки пластини, але й систему трубок або каналів для циркуляції теплоносія. Теплоносій, рухаючись через ці трубки, передає своє тепло на пластини, які, у свою чергу, віддають його

									Арк.
									31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ				

в навколишнє повітря. Це дозволяє ефективно підтримувати стабільну температуру термоелектричних модулів, таких як елементи Пельтьє, запобігаючи їх перегріванню і забезпечуючи стабільну роботу.

Використання вентиляторів у поєднанні з повітряними теплообмінниками має кілька переваг. По-перше, це підвищує ефективність розсіювання тепла, особливо в умовах високого теплового навантаження. По-друге, примусовий обдув вентилятором дозволяє значно зменшити розміри теплообмінника, що є важливим фактором у компактних пристроях та системах.

Повітряні теплообмінники знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи охолодження електронних пристроїв, комп'ютерної техніки, промислових машин, а також в медичному обладнанні. Вони забезпечують надійне і стабільне охолодження, що є критично важливим для подовження терміну служби та ефективної роботи термоелектричних модулів.

Для забезпечення оптимальної роботи повітряних теплообмінників важливо регулярно проводити їх обслуговування, зокрема очищення від пилу та інших забруднень, які можуть знижувати ефективність тепловідведення. Відсутність належного догляду може призвести до зменшення продуктивності і, в окремих випадках, до виходу з ладу охолоджуваного обладнання.

Отже, повітряні теплообмінники є ключовими компонентами систем охолодження, що використовуються для забезпечення ефективної роботи термоелектричних модулів, таких як елементи Пельтьє. Їх конструкція і принцип дії дозволяють ефективно розсіювати тепло, забезпечуючи стабільну роботу різноманітних пристроїв і систем.

Технічні характеристики:

характеристиками довжина 270 мм, висота 265 мм, ширина 90 мм, відстань між пластинами 5 мм, кількість трубок 22, виготовлений з заліза.

**3.Проміжна ємність** виконує кілька важливих функцій у системах циркуляції теплоносія. Основним її призначенням є візуалізація процесу циркуляції теплоносія, що дозволяє операторам контролювати та забезпечувати правильне функціонування системи. Завдяки прозорим стінкам або спеціальним

						Арк.
					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вікнам, користувачі можуть легко спостерігати за рухом рідини, оцінювати її рівень та стан.

Окрім цієї важливої функції, проміжна ємність також виконує роль додаткового теплообмінника. У ній теплоносії безпосередньо контактує з повітрям, що сприяє додатковому відведенню тепла від рідини. Цей процес відбувається через стінки ємності, що забезпечує охолодження теплоносія до того, як він знову буде використаний у системі.

Інша важлива функція проміжної ємності – забезпечення забору теплоносія циркуляційним насосом. Вона служить як резервуар, з якого насос забирає охолоджену рідину і подає її назад у систему. Це забезпечує безперервний процес циркуляції і ефективне охолодження.

Проміжна ємність також може допомагати в дегазації системи, тобто видаленні повітряних бульбашок з теплоносія. Повітряні бульбашки можуть значно знизити ефективність теплообміну і викликати пошкодження компонентів системи, тому їх видалення є важливим аспектом підтримки правильної роботи.

Матеріали, з яких виготовляється проміжна ємність, повинні бути стійкими до корозії і мати високу теплопровідність. Найчастіше використовують нержавіючу сталь або спеціальні полімери, що забезпечують довговічність і надійність ємності.

Розташування проміжної ємності в системі також має значення. Вона повинна бути встановлена таким чином, щоб забезпечити оптимальний забір теплоносія насосом і максимальне відведення тепла через контакт з повітрям. Часто проміжні ємності розміщують у верхніх частинах системи, де вони можуть ефективно виконувати свої функції.

Таким чином, проміжна ємність є ключовим компонентом у системах циркуляції теплоносія, що виконує кілька важливих функцій, від візуалізації процесу і додаткового охолодження до забезпечення безперебійної роботи циркуляційного насоса. Її правильний вибір і експлуатація є критично важливими для ефективного функціонування всієї системи охолодження.

#### 4. Циркуляційний насос

Насос, що працює на напрузі 12 вольт, характеризується швидкістю перекачування рідини до 2 літрів за хвилину. Конструктивні особливості насоса включають окремий мотор та корпус з лопастями. Така конструкція не лише сприяє високій швидкості перекачування охолоджуючої рідини, але й підвищує надійність та стійкість самого насоса. Завдяки роздільному розташуванню мотора та корпусу з лопастями, досягається оптимальне балансування робочих компонентів, що знижує ймовірність механічних збоїв та підвищує ефективність експлуатації. Це, в свою чергу, дозволяє забезпечити стабільну та надійну роботу всієї системи охолодження, яка використовується в лабораторно-дослідницькому стенді, що робить насос важливим елементом конструкції. Додатково варто зазначити, що насос оснащений вдосконаленою системою охолодження самого мотора, яка запобігає його перегріву під час тривалої роботи. Матеріали, з яких виготовлені лопасті та корпус насоса, відрізняються високою корозійною стійкістю, що забезпечує тривалий термін експлуатації без значних зношень. Завдяки цьому насос може ефективно працювати у важких умовах, включаючи роботу з різними типами охолоджуючих рідин, які можуть мати агресивні хімічні властивості. Особлива увага приділена герметичності з'єднань, що запобігає витоків рідини та втраті ефективності системи охолодження. Крім того, насос спроектовано з урахуванням легкості технічного обслуговування, що дозволяє швидко та безпечно здійснювати його діагностику та ремонт, мінімізуючи час простою обладнання.



Рисунок 8

#### 5 Пластикові труби

						Арк.
					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 9

Прозорі ПВХ труби діаметром 8 мм використовуються для замкнення всієї системи циркуляції холодоагенту. Вибір цих труб обумовлений можливістю візуалізації всього робочого процесу, що дозволяє спостерігати за потоком холодоагенту. Візуалізація є важливою для контролю та аналізу ефективності роботи системи. Проте, через матеріал, з якого виготовлені трубки, при нагріванні відбувається зниження їх жорсткості. Це може призвести до перегинів у місцях поворотів труб, що негативно впливає на стабільність системи. Для усунення цього недоліку всі повороти були виготовлені з мідних труб діаметром 1/3". Мідні труби мають високу теплопровідність та жорсткість, що запобігає перегинам і забезпечує стабільну роботу системи навіть при високих температурах. Додатково, слід зазначити, що використання мідних труб сприяє покращенню тепловідведення, що є критично важливим для підтримання оптимальних робочих умов системи. Для підвищення ефективності циркуляції холодоагенту, система повинна бути оснащена насосом відповідної потужності, що забезпечить необхідний тиск і швидкість потоку в замкненій системі.

Всі використані елементи охолодження записані в дану таблицю:

<b>Компонент</b>	<b>Технічні характеристики</b>	<b>Призначення та особливості</b>
<b>Водяний теплообмінник</b>	- Габаритні розміри: 120x40x15 мм- Діаметр входу та виходу: 8 мм- Матеріал: мідь або алюміній	Відведення тепла від елементів Пельтьє до теплоносія (вода). Конструкція включає оребрення для покращення теплопередачі та запобігання утворенню теплових зон застою.

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<b>Компонент</b>	<b>Технічні характеристики</b>	<b>Призначення та особливості</b>
<b>Повітряний теплообмінник</b>	- Довжина: 270 мм- Висота: 265 мм- Ширина: 90 мм- Відстань між пластинами: 5 мм- Кількість трубок: 22- Матеріал: залізо	Розсіювання тепла за допомогою металевих пластин, які збільшують площу поверхні для ефективного теплопередавання. Використовується в парі з вентилятором для примусового обдуву та підвищення ефективності охолодження.
<b>Проміжна ємність</b>	- Матеріал: нержавіюча сталь або спеціальні полімери	Виконує роль візуалізації процесу циркуляції теплоносія, додаткового теплообмінника, резервуару для циркуляційного насоса, та допомагає в дегазації системи.
<b>Циркуляційний насос</b>	- Напруга: 12 В- Швидкість перекачування: до 2 л/хв- Матеріал лопастей та корпусу: висококорозійні стійкі матеріали- Система охолодження мотора- Оптимальне балансування компонентів	Забезпечує безперервний потік охолоджуючої рідини через систему. Вдосконалена система охолодження мотора запобігає його перегріву. Герметичність з'єднань запобігає витоків рідини. Спрощене технічне обслуговування.
<b>Пластикові труби</b>	- Діаметр: 8 мм- Матеріал: ПВХ	Прозорі труби для замкнення системи циркуляції холодоагенту, що дозволяють візуалізувати процес. У місцях поворотів використовуються мідні труби діаметром 1/3" для запобігання перегибам.

### 3.2 Розрахунок системи тепловідводу тепла від елементів Пельтьє

#### Теплопоглинання та тепловиділення елемента пелтьє

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 ( $\alpha_p$ ) та ( $\alpha_n$ ) - 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 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

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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:

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

де ( $\tau$ ) - 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:

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

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

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 (  $\alpha$  ) - коефіцієнт Зеебека, (  $\sigma$  ) - електропровідність, а (  $\lambda$  ) - теплопровідність матеріалу.

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 (  $I_{\text{opt}}$  ), 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:

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

						2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
							39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

де (  $T_{\max}(1)$  ) - 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 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.

Перелічимо основні характеристики елемента Пелетьє:

- 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: 40x40 мм.

Елемент Пельтьє працює за принципом поглинання і виділення тепла при проходженні електричного струму через напівпровідникові матеріали. При подачі робочої напруги 12 В і максимальному струмі 8 А, кожен елемент споживає потужність:

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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 м<sup>2</sup>. Загальна площа шести елементів Пельтьє дорівнює 0,0096 м<sup>2</sup>, а з урахуванням проміжків - 0,0126 м<sup>2</sup>. 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.

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.

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						437
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 °C;
- коефіцієнт теплопровідності: приблизно 0,25 Вт/(м·К) при 20 °C;
- щільність: приблизно 1,12 г/см<sup>3</sup> 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<sub>2</sub>O;
- температурний діапазон: від 0 °C до +100 °C при атмосферному тиску;
- коефіцієнт теплопровідності: приблизно 0,58 Вт/(м·К) при 20 °C;
- щільність: 1,0 г/см<sup>3</sup> 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 замерзання до приблизно -12 °C, що дозволяє системі охолодження ефективно працювати в умовах не дуже низьких температур. Важливо також, що ця суміш підвищує температуру кипіння до приблизно +104 °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.

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

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  $0,52 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , розраховано за формулою середньої гармонічної:

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

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

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

4) щільність: середнє значення між щільностями антифризу та води. Приблизно  $1,03 \text{ г}/\text{см}^3$  при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ :

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

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.

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.

									Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ				

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

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

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

Підставимо значення:

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

Для шести елементів:

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

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:

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

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

Припустимо, що різниця температур становить  $20^\circ\text{C}$ , 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:

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Підставимо значення:

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

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

$$A \approx 0.627 \text{ м}^2$$

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:

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

Перевірка відповідності теплової потужності

Загальна теплова потужність, яку може відвести теплообмінник:

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

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

$$Q = 2099.2 \text{ Вт}$$

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.

### **3.3 Перспективний план з розширення функціональних можливостей стенду, в контексті системи тепловідводу**

Система тепловідводу в експериментальному стенді, що базується на елементах Пельтьє, має важливе значення для забезпечення стабільної роботи та тривалої експлуатації термоелектричних модулів. Розширення функціональних можливостей цієї системи може бути досягнуто шляхом впровадження новітніх технологій та удосконалення існуючих компонентів.

Одним із ключових напрямків вдосконалення є застосування теплових труб. Ці компоненти мають високу теплопровідність і здатні ефективно передавати тепло від елементів Пельтьє до зовнішнього середовища. Використання теплових труб дозволяє зменшити розміри та вагу теплообмінників, підвищуючи при цьому їх ефективність. Зокрема, застосування теплових труб з наноструктурованими поверхнями може значно покращити теплопередачу завдяки збільшенню площі контакту і зниженню теплового опору.

Інтеграція теплових насосів у систему тепловідводу є ще одним перспективним напрямком. Теплові насоси дозволяють ефективно переміщувати тепло від елементів Пельтьє до зовнішнього середовища, забезпечуючи стабільну роботу системи навіть за умов високих теплових навантажень. Це рішення може бути особливо корисним для застосувань, де важливими є компактність і мобільність охолоджувальної системи.

Автоматизація процесу управління тепловідводом може значно підвищити ефективність роботи системи. Використання інтелектуальних алгоритмів

керування, таких як методи машинного навчання, дозволить оптимізувати роботу елементів Пельтьє в реальному часі, враховуючи змінні умови

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ				

навколишнього середовища та навантаження. Інтеграція таких алгоритмів у мікроконтролери, як ESP32, дозволить автоматично регулювати параметри роботи системи, забезпечуючи оптимальні умови для термоелектричних модулів.

Розширення функціональних можливостей системи тепловідводу також може включати вдосконалення матеріалів теплообмінників. Застосування нових сплавів з покращеними теплопровідними властивостями та корозійною стійкістю дозволить підвищити надійність і тривалість експлуатації компонентів системи. Дослідження наноматеріалів та композитів відкривають нові можливості для створення більш ефективних та легких теплообмінників.

Важливим аспектом є впровадження системи моніторингу та діагностики стану компонентів системи тепловідводу. Встановлення додаткових датчиків температури, тиску та витрати теплоносія дозволить в режимі реального часу відстежувати роботу системи, виявляти потенційні проблеми та проводити профілактичне обслуговування. Це підвищить надійність і стабільність роботи експериментального стенду.

Інтеграція системи тепловідводу з іншими лабораторними установками та обладнанням дозволить проводити комплексні дослідження та

експерименти, зокрема в галузі матеріалознавства, теплофізики та електроніки. Така синергія відкриє нові можливості для міждисциплінарних досліджень, підвищуючи загальну ефективність наукових робіт.

У підсумку, розширення функціональних можливостей системи тепловідводу експериментального стенду може бути досягнуто шляхом впровадження новітніх технологій, удосконалення матеріалів та компонентів, автоматизації процесів управління та моніторингу, а також інтеграції з іншими лабораторними системами. Ці заходи забезпечать стабільну та ефективну роботу термоелектричних модулів, підвищуючи загальну продуктивність і надійність стенду.

					2БКВ 05.001.003.ДП.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4. Розробка методик проведення лабораторних робіт

Основне завдання цього дослідницького стенду полягає в розробці та дослідженні лабораторних робіт для вивчення методів та принципів охолодження за допомогою елементів Пельтьє. У зв'язку з цим було розроблено кілька ідей для проведення таких лабораторних робіт:

1. **Аналіз швидкості поширення температури:** Завдяки встановленню трьох датчиків температури в різних частинах робочої поверхні, з'являється можливість дослідження швидкості поширення температури по даному матеріалу. Отримані дані можуть бути представлені у вигляді графіків, що дозволить наочно продемонструвати температурні зміни та оцінити ефективність охолодження.

2. **Дослідження швидкості охолодження:** Використовуючи метод увімкнення та вимкнення вентиляторів, можна провести експерименти з контролю нагріву та дослідити швидкість охолодження різних частин робочої поверхні при різних температурних режимах. Це дозволяє визначити оптимальні умови для досягнення максимальної ефективності охолодження.

3. **Аналіз температурних змін:** За допомогою температурних датчиків та реле керування вентиляторами можна дослідити зміни температури охолодження залежно від температури нагрітої сторони. Важливо враховувати, що різниця температур між сторонами не повинна перевищувати 60 градусів, що забезпечує стабільність і безпеку роботи системи.

4. **Вивчення параметрів нагріву:** Завдяки різним параметрам і температурним датчикам можна наочно перевірити швидкість нагріву та максимальні температури в різних елементах стенду. Це дозволяє детально вивчити процес теплопередачі та визначити найбільш ефективні методи управління температурою.

5. **Аналіз ефективності роботи стенду:** Використовуючи змінний резистор на блоці живлення, можна проаналізувати ефективність роботи стенду залежно від робочої напруги. Це дозволить визначити оптимальні параметри для досягнення максимальної продуктивності системи охолодження.

					2БКВ 05.001.004.ДП.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 5.1 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.

### 5.2 Розрахунок витрат на впровадження проєкту

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

Таблиця 5.2 Вартість елементів

№	Компонент	Технічні характеристики	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Елементи Пельтьє	12В, 8А, 96Вт, 71.1Вт охолоджувальна здатність, -40°C до +80°C, $\Delta T_{max}$ 70°-75°C, COP 0.74	6	75	450
2	Циркуляційний насос	12В, 15 л/хв, 0.3А	1	150	150
3	Блок живлення 12В	Вхід: 220В змінного струму, Вихід: 12В постійного струму, 720Вт, 50А	1	900	900

										Арк.
										50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2БКВ 05.001.004.ДП.ПЗ					

№	Компонент	Технічні характеристики	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
4	Вентилятори повітряного теплообмінника	12В, діаметр 80мм	4	100	400
5	Терморезистори	Використовують ся для моніторингу температури	5	5	25
6	Мікроконтролер ESP-32	5В, 0.5А	1	180	180
7	Блок живлення 5В	Вихід: 5В, 0.7А, 3.5Вт	1	70	70
8	Водяний теплообмінник	120x40x15мм, діаметр входу/виходу: 8мм	1	350	350
9	Повітряний теплообмінник	270x265x90мм, відстань між пластинами: 5мм, 22 трубки	1	3500	3500
10	Проміжна ємність	Матеріал: нержавіюча сталь або спеціальні полімери	1	300	300
11	Пластикові трубки	Діаметр: 8мм, матеріал: ПВХ	2 метра	30грн/метр	60
12	Реле (нормально відкриті/закриті)	Використовують ся для керування вентиляторами та перемикання ESP-32	5	35	160
	Разом				6545

Загальна вартість капіталовкладень  $K_v$  в грн. на реалізацію проєкту розраховується за формулою:

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

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

					2БКВ 05.001.005.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$Кв = 0 + 6545 = 6545 \text{грн}$$

Загальна сума витрат складає 6545 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.

					2БКВ 05.001.005.ДП.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 Охорона праці

Охорона праці є невід'ємною складовою будь-якого виробничого процесу, особливо у сфері, що передбачає роботу з високовольтним обладнанням і термоелектричними модулями, такими як елементи Пельтьє. Забезпечення безпеки працівників, які займаються розробкою та експлуатацією лабораторного стенду, вимагає впровадження цілого комплексу заходів.

Організаційні заходи включають проведення регулярних інструктажів та навчання працівників з техніки безпеки при роботі з електричним обладнанням. Вступні інструктажі проводяться для нових співробітників, а також періодичні - для всіх працівників, з метою підтримання високого рівня знань з охорони праці. Важливим аспектом є спеціальне навчання для працівників, які мають справу з високовольтним обладнанням та системами охолодження. Окрім цього, обов'язковими є первинні медичні огляди при прийомі на роботу та періодичні медичні огляди для працівників, що працюють в умовах підвищеної небезпеки, що дозволяє контролювати стан здоров'я працівників та запобігати можливим захворюванням.

### 6.1 Аналіз та безпека умов праці працівника на робочому місці

Аналіз виробництва, що проектується, показує, що в процесі праці можуть виникнути потенційно небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Це:

- недостатнє освітлення робочої зони; підвищений рівень шуму та вібрації;
- підвищена або знижена вологість повітря, його рухомість;
- рухливі частини виробничого обладнання тощо;

Дипломним проектом враховані санітарні нормативи освітлення, вимоги до параметрів мікроклімату (температура, відносна вологість), ступеня і сили вібрації, звукового шуму і вогнестійкості приміщення;

### 6.2 Розробка заходів з охорони праці

Ліквідація або зменшення шкідливої дії на організм людини ряду технологічних чинників здійснюється безперервним удосконаленням

					2БКВ 05.001.006.ДП.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічного процесу виробництва, наслідком якого є усунення шкідливих та небезпечних чинників.

Для нормальної життєдіяльності працівників в умовах виробництва потрібно створити санітарні умови, які б дали змогу плідно працювати, не перевтомлюючись та зберігати своє здоров'я.

Найбільш значним фактором продуктивності й безпеки праці є виробничий мікроклімат, що характеризується температурою й вологістю повітря, швидкістю його руху і повинен відповідати ДСН 3.3.6-042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Мікроклімат виробничих приміщень впливає на тепловий стан організму людини, його теплообмін з навколишнім середовищем.

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

- ✓ температура - 22-24 С;
- ✓ відносна вологість – 40-60 %;
- ✓ швидкість руху повітря – 0,1-0,2 м/с;

Для підтримки необхідної температури й вологості робочі приміщення оснащені системами опалення й вентиляції, що забезпечують постійне й рівномірне нагрівання, циркуляцію, а також очищення повітря від пилу й шкідливих речовин. Вимоги до параметрів мікроклімату в цілому виконані

Освітлення нормується ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». У разі поганого освітлення людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно. Освітлення повинно бути надійним і простим в експлуатації, економічним та естетичним

### **6.3 Безпека праці**

Технічні заходи також відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки. Захист від термічних ризиків включає застосування термоізоляційних матеріалів для елементів, що нагріваються, встановлення термодатчиків для контролю температурних режимів та використання вентиляторів та інших засобів

					2БКВ 05.001.006.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

оохолодження для запобігання перегріву обладнання.

Засоби індивідуального захисту забезпечують додаткову безпеку працівників. Використання захисних рукавичок є необхідним для роботи з електричними компонентами, а захисні окуляри запобігають потраплянню осколків та інших часток в очі. Спеціальний одяг, стійкий до електричних впливів, є ще одним важливим елементом захисту. Для відвідувачів лабораторії також передбачено використання захисних касок та інших засобів захисту.

#### **6.4 Електробезпека**

Електробезпека є ще одним важливим аспектом: всі електричні з'єднання повинні бути надійно ізолювані, а обладнання – заземлене. Використання захисних пристроїв від короткого замикання та перевантаження є обов'язковим.

Причинами ураження працівника електрострумом можуть бути:

- Випадковий дотик до струмоведучих частин, у результаті ведення робіт поблизу або на цих частинах;
- Несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкався до струмоведучих частин;

Значення сили струму, що проходить через організм людини, залежить від напруги, під якою перебуває людина й від опору ділянки тіла, до якого прикладена ця напруга. Джерелом живлячої напруги є мережа змінного струму з напругою 229В, на яку поширюється ГОСТ 25861-83.

Основними причинами електротравматизму є:

- напругою, як відключеного;
- несподіване виникнення напруги через ушкодження ізоляції там, де в нормальних умовах його бути не повинно;
- контакт струмопровідного устаткування із проводом, що перебуває під напругою.

Для попередження поразок електричним струмом необхідно чітко й у повному обсязі виконувати правила провадження робіт і правил технічної експлуатації. Необхідно виключити можливість доступу працівника до частин устаткування, що працює під небезпечною напругою, до неізолюваним

					2БКВ 05.001.006.ДП.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частинам, призначеним для роботи при малій напрузі й не підключеним до захисного заземлення.

## 6.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека включає регулярну перевірку справності електричних систем та обладнання, а також правильне зберігання легкозаймистих матеріалів.

Приміщення має бути оснащено сучасними системами пожежогасіння та сигналізації, а також евакуаційними виходами з чіткими вказівниками.

Приміщення, де розміщені робочі місця, мають бути оснащені системою автоматичної пожежної сигналізації і вогнегасниками відповідно до вимог чинного законодавства України.

Всі приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння: пожежним водопостачанням ( пожежні крани ПК), пожежні щити з набором пожежного інструменту, вуглекислотними або порошковими вогнегасниками.



Проходи до засобів пожежогасіння мають бути вільними

У випадку виникнення пожежі необхідно відключити електроживлення, викликати по телефону 101 пожежну команду, евакуювати людей із приміщення відповідно до плану евакуації і приступити до ліквідації пожежі.

Виробничі, адміністративні, побутові та інші приміщення потрібно постійно утримувати в чистоті. Куріння у приміщеннях та на території забороняється. Курити дозволяється лише у спеціально відведених місцях, забезпечених засобами пожежогасіння, скриньками (ящиками з піском).

					2БКВ 05.001.006.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Ці місця повинні мати вказівні знаки.



Проведення інструктажів з пожежної безпеки дозволяє підготувати працівників до дій у разі виникнення пожежі. У разі пожежі важливо негайно повідомити пожежну службу, провести евакуацію працівників та відвідувачів згідно з планом евакуації, а також використовувати первинні засоби пожежогасіння, такі як вогнегасники та пожежні крани.

Загалом, дотримання всіх вищезазначених заходів дозволяє забезпечити безпечні умови праці під час розробки та експлуатації лабораторного стенду на базі елементів Пельтьє, мінімізуючи ризики та запобігаючи виникненню нещасних випадків.

					2БКВ 05.001.006.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## Висновки

Холодильні системи на базі елементів Пельтьє мають значні переваги, такі як компактність, відсутність рухомих частин, що забезпечує тиху роботу та довгий термін служби. Вони також легко масштабуються і адаптуються до різних умов експлуатації. Однак, компресорні установки мають вищий коефіцієнт корисної дії (ККД) і здатні забезпечувати більш інтенсивне охолодження, хоча вони складніші в конструкції, потребують регулярного обслуговування і генерують шум під час роботи.

Експерименти, проведені в рамках проекту, показали, що системи на основі елементів Пельтьє є ефективними для застосувань, де важливі компактність, низький рівень шуму та точний контроль температури. Для застосувань, які потребують інтенсивного охолодження великих обсягів, компресорні системи залишаються більш продуктивними.

Включення мікроконтролера ESP-32 до електричної схеми експериментального стенду значно розширило його функціональні можливості, дозволивши здійснювати точний контроль температури та моніторинг у реальному часі. Веб-застосунок, розроблений для моніторингу температури та керування роботою обладнання, забезпечує відображення температурних графіків, дистанційне управління стендом та аутентифікацію користувачів для запобігання несанкціонованому доступу.

Таким чином, проект продемонстрував ефективність і практичність використання елементів Пельтьє для специфічних завдань охолодження, особливо в умовах, де потрібна висока точність контролю температури і низький рівень шуму, одночасно підтверджуючи переваги компресорних систем для більш інтенсивних охолоджувальних застосувань.

					2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Використані джерела

З.С. Сірко, В.А. Коренда, І.Ю. Вишняков, О.С. Протасов, Н.В. Бірківська. Використання теплових насосів для опалення будівель на підприємствах. // Агромаш, № 43, січень 2020. DOI: 10.36910/agromash.vi43.210.

Iryna Finyk. Особливості використання теплових насосів в системах опалення приватних будинків. // Journal of Engineering and Applied Sciences, № 311, серпень 2022. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-311-4-14-17.

M. Janovcová, J. Jandačka, R. Kiš. Cooling through heat pumps powered by a combustion engine for natural gas. // AIP Conference Proceedings, серпень 2014. DOI: 10.1063/1.4892711.

S. Rabczak, D. Proszak-Miąsik. Passive Cooling in the System of a Heat Pump with a Vertical Ground Collector. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, вересень 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/603/5/052094.

Tatyana Babak, N. Duić, G. Khavin, Stanislav Boldyryev, G. Krajačić. Possibility of Heat Pump Use in Hot Water Supply Systems. // Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, вересень 2016. DOI: 10.13044/J.SDEWES.2016.04.0017.

Ірина Фіник. Характеристики використання теплових насосів у системах опалення приватних будинків. // Журнал "Енергозбереження", № 2 (120), лютий 2022. DOI: 10.31891/2307-5732-2022-311-4-14-17.

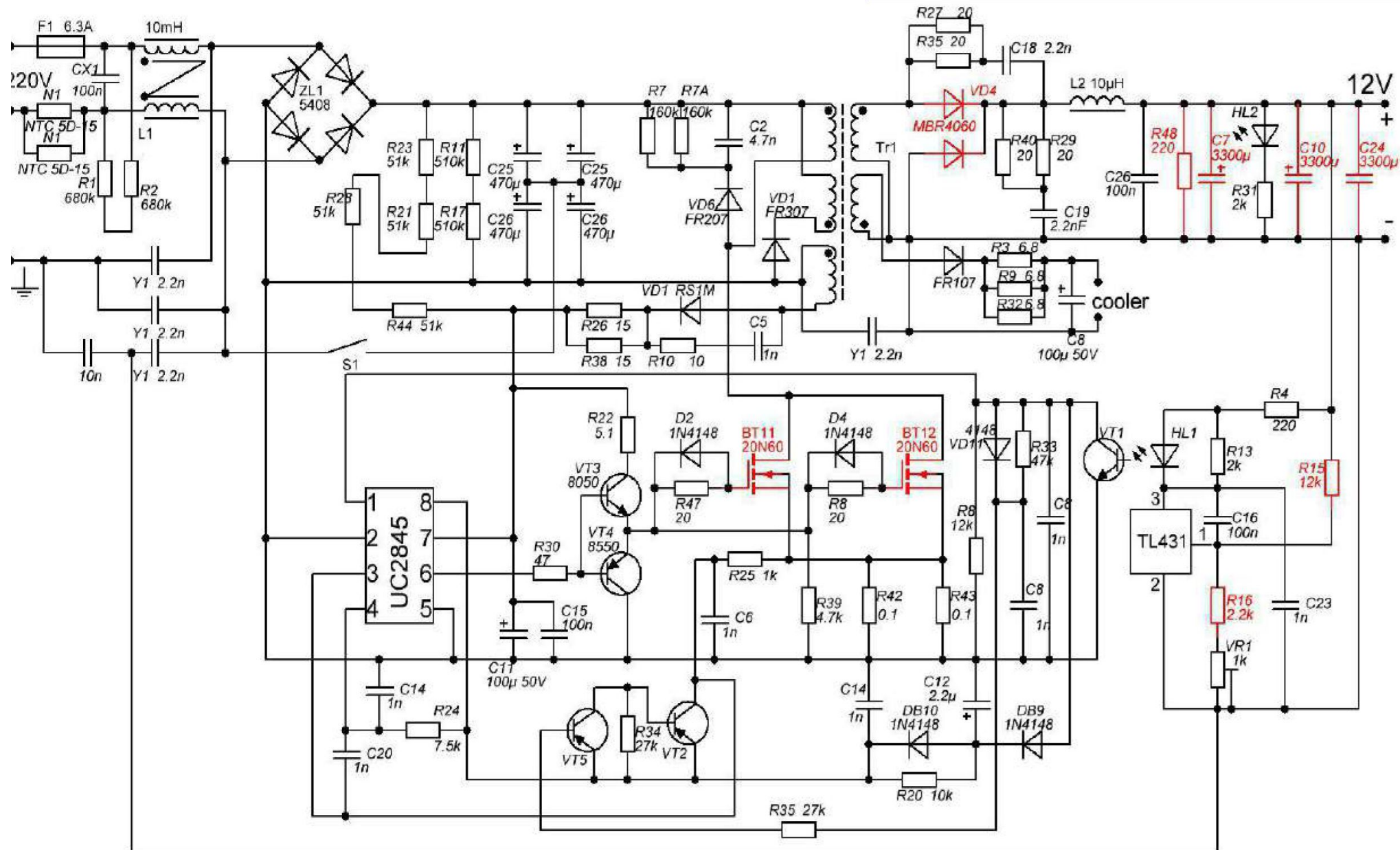
З.С. Сірко, В.А. Коренда, І.Ю. Вишняков, О.С. Протасов, Н.В. Бірківська. Використання теплових насосів для опалення будівель на підприємствах. // Агромаш, № 43, січень 2020. DOI: 10.36910/agromash.vi43.210.

Л.Пекар, М.Сонг, Н.Мао, Х.Алі, В.Ву, Дж.Кай. Нові технології теплових насосів для житлового опалення. // Журнал "Енергозбереження", № 3 (121), березень 2022. DOI: 10.3389/fenrg.2022.866466.

С.Альпізар-Кастільо, Л.Рамірес-Елізондо, П.Бауер. Ефект електрифікації опалення на низьковольтні мережі з високою проникністю фотоелектричних систем. // Журнал "Енергозбереження", № 4 (122), квітень 2023. DOI: 10.1109/CPE-POWERENG58103.2023.10227394.

Ю.С. Сергєєва, Т.В. Щукіна, І.І. Ковальов. Вплив поліфункціональності на енергоефективність теплових насосів. // Журнал "Теплові насоси", № 4 (25), грудень 2015. DOI: 10.1109/CPE-POWERENG58103.2023.10227394.

					2БКВ 05.001.000.ДП.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

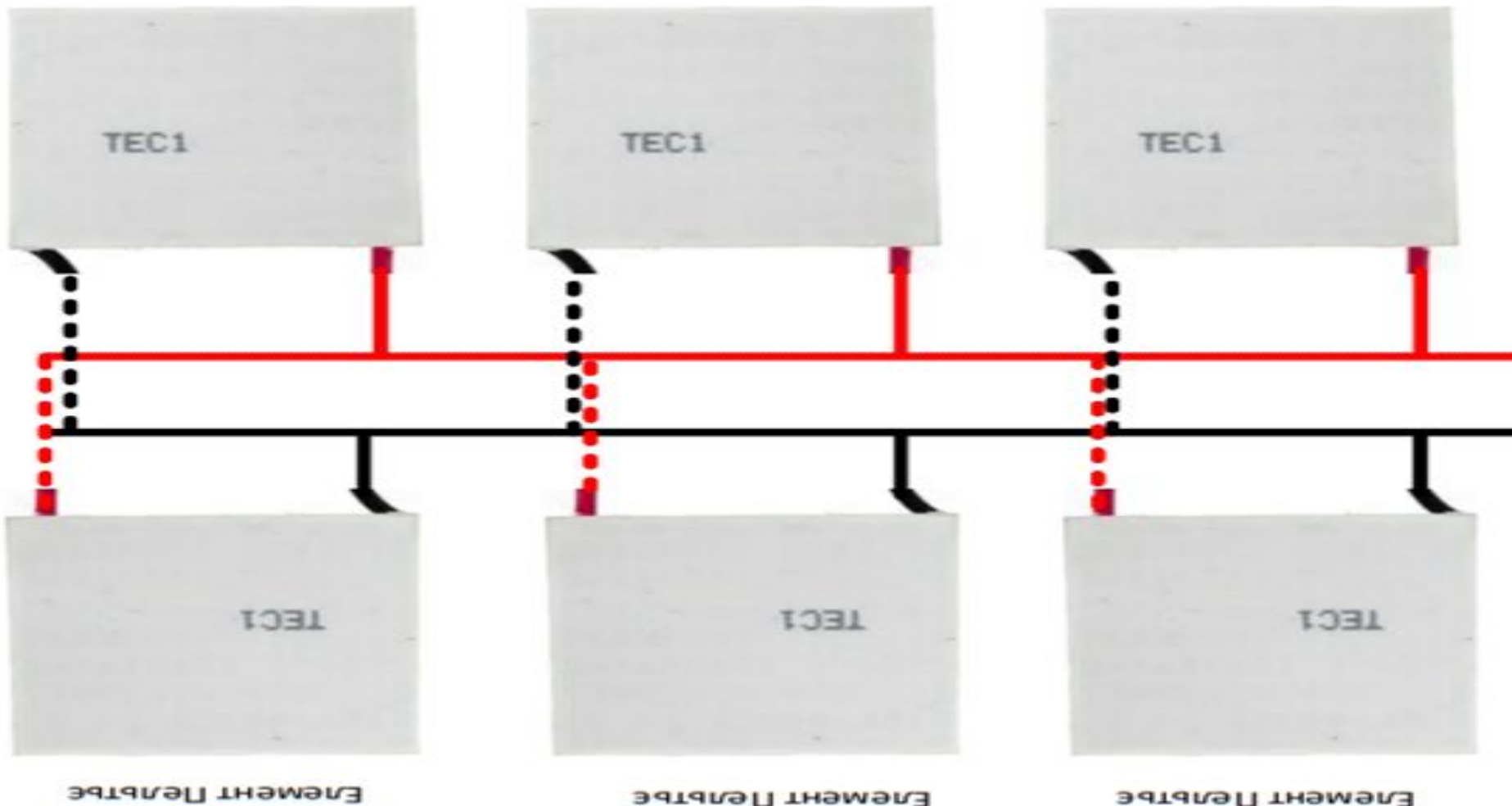


				БКВ 05.001 002.ДП СБ			
Эм. Асс.	№ докум.	Издание	Дата	C	Лист	Масштаб	Масштаб
Разработчик	Башкир				у		1:1
Технический	А				Архив 2	Архив 3	
И.контр.	Волынец С.В.				ВСП "ОТФК ОНТУ"		
И.контр.	Волынец С.В.			г.БКВ - 05			
Дата							

Элемент Пельтье

Элемент Пельтье

Элемент Пельтье

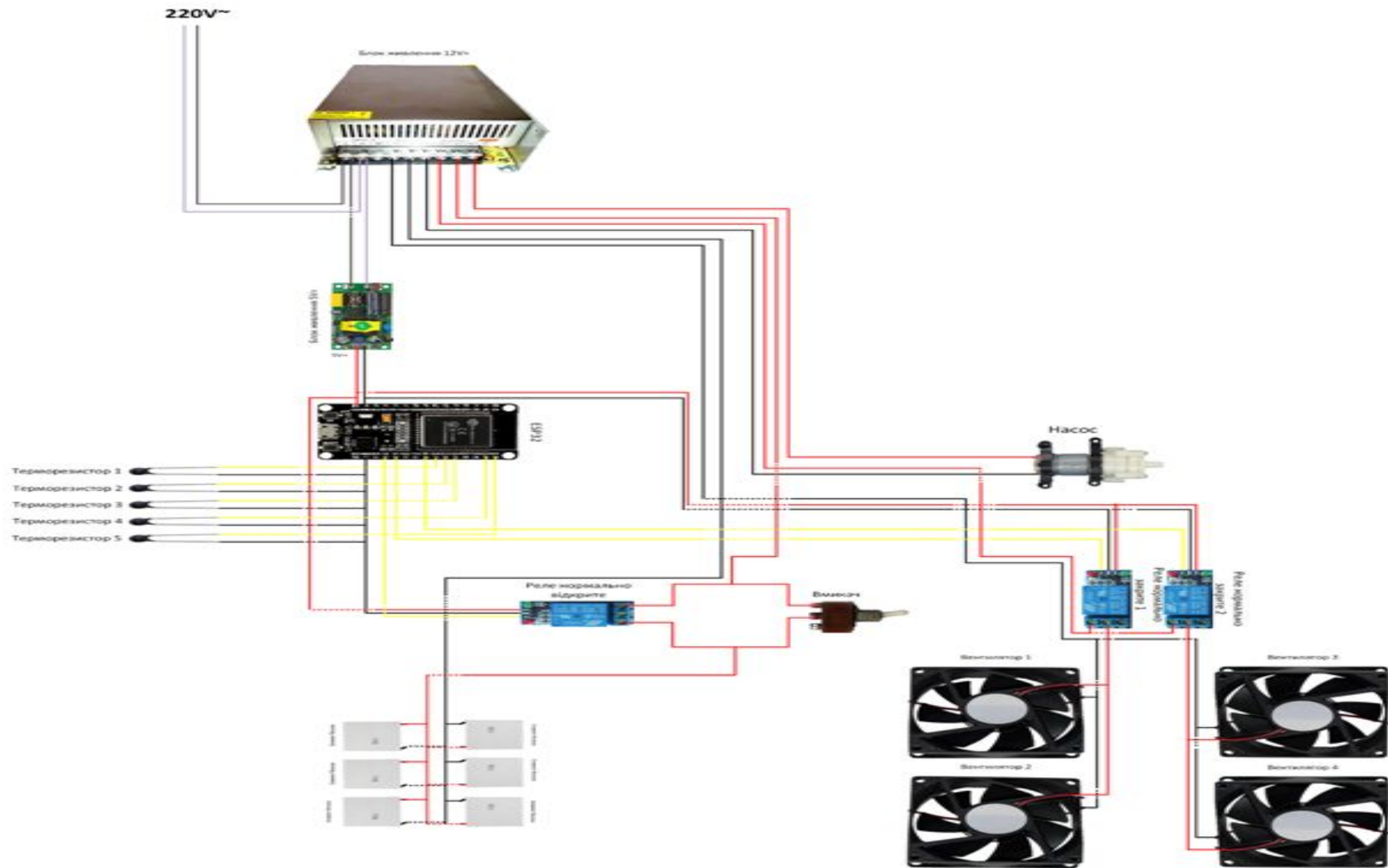


Элемент Пельтье

Элемент Пельтье

Элемент Пельтье

БКВ 05.001 003.ДП СБ					Лист	Масштаб
Взм.	Арх.	№ докум.	Издание	Дата	С	1:1
Разработчик	Башкир	...			у	3
Проверенный	...				Арсен	Аруша
Т.контр.	Волынец С.В.				ВСП "ОТФК ОНТУ"	
И.контр.	Волынец С.В.				гр.БКВ - 05	
Затв.						



					БКВ 05.001.001.ДП СБ		
Эм. Акт.	№ докум.	Підпис	Дата	С		Лист	Масштаб
Розробив	Башкир Д.			автоматиза		у	1:1
Перевірив	Врнченко А.					з	
Т.контр.	Волынька С.В.					Архив 1	Архив 3
Н.контр.	Волынька С.В.					ВСП "ОТФК ОНТУ"	
Затв.						гр.БКВ - 05	

Ім'я користувача:  
Катерина Григоріївна Краснокутська

ID перевірки:  
1016391928

Дата перевірки:  
28.06.2024 08:33:52 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
28.06.2024 08:34:38 EEST

ID користувача:  
100011688

Назва документа: БКВ 05 Башлій Д.І

Кількість сторінок: 54 Кількість слів: 9864 Кількість символів: 77033 Розмір файлу: 1.87 MB ID файлу: 1016205497

## 3.04% Схожість

Найбільша схожість: 1.89% з Інтернет-джерелом ([https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/35882/1/181\\_Du](https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/35882/1/181_Du))

3.04% Джерела з Інтернету

212

Сторінка 56

Не знайдено джерел з Бібліотеки

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

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

Замінені символи

89

ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ  
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ»

## ВІДГУК

керівника про дипломний проект (роботу) студента

Башлія Дениса

Спеціальність № 142 «Енергетичне машинобудування»

Освітня програма «Системи кондиціонування та вентиляції повітря»

Тема: Розробка лабораторно-дослідницького стенду охолодження елементів Пельть лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт для ВСП «ОТФіОНТУ»

### ХАРАКТЕРИСТИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ (РОБОТИ)

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

Башлій Денис дипломний проект виконав згідно завданню.

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

б) Самостійність роботи над проектом (роботою)

Дипломник Башлій Денис над дипломним проектом працював самостійно, графік виконання окремих розділів пояснювальної записки і графічних аркушів не порушував

в) Теоретична підготовка дипломника

Теоретична підготовка студента Башлія Дениса 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 Башлій Денис І працюючи над дипломним проектом показав, що зможе вирішувати конструкторські і виробничі питання на базі сучасних досягнень науки і техніки в галузі енергетичного машинобудування.

Башлій Денис отримав освітній рівень бакалавр з енергетичного машинобудування

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 Черненко Андрій Олександрович

Місце роботи і посада керівника проекту: Майстер виробничого навчання ВСП «ОТФК ОНТУ»

«18» 06 2024р.

Підпис



## РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента

Башлія Дениса

(прізвище, ім'я і по батькові)

Галузь знань: 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність: 142 «Енергетичне машинобудування»

ОП: «Системи кондиціювання і вентиляції повітря»

Керівник дипломного проекту

Черненко А.О

Тема дипломного проекту: «Розробка лабораторно-дослідницького стенду охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ»

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 «Розробка лабораторно-дослідницького стенду охолодження елементів Пельтьє лабораторно-дослідницького стенду, холодопродуктивністю 420 Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ»,

виконаний згідно завданню і складається з пояснювальної записки на 59 сторінках і графічного матеріала на трьох 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

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 і записки і графічної частина добра  
г) Перелік позитивних якостей дипломного проекту (роботи)

1. Розробка електричної та теплової частин стенду, з урахуванням можливого розширення функціоналу стенду
2. Залучення навичок з програмування, при роботі модуля ESP-32

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)

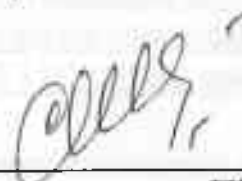
Прізвище, ім'я, по батькові

Мельничко Сергій Іванович  
інженер цеху  
"камілятації" обслуговування  
і матеріалу

Місце роботи і посада рецензента

АТ "ОПЗ" цех камілятації  
обслуговування і матеріалу

« 26 » 06. 24



Підпис

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

Ми, що нижче підписалися,

**Башлій Денис Іванович,**  
здобувач освіти гр. 2БКВ-05, та

**Черненко Андрій Олександрович,**  
керівник дипломного проекту,

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

***«Розробка лабораторного-дослідницького стенду для дослідження термоелектричного способу охолодження, холодопродуктивністю 420Вт для ВСП «ОТФК ОНТУ» (автор роботи – Башлій Д.І., керівник роботи – Черненко А.О.)***

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.

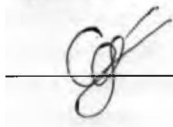
Несемо відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів випускної кваліфікаційної роботи і даємо згоду на обробку персональних даних.

Виконавець



/ Башлій Д.І. /

Керівник



/ Черненко А.О. /

«10» червня 2024 р.