

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.3

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Е.А. Нелін С.А. Нелін
(підпис) (ініціали, прізвище)

«13» 12 2019р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіoeлектронної техніки (код назва спеціальності)

на тему: Пристрій автономного електроживлення
на основі елементів ШІМ

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи РІ-81 мп
(шифр групи)

Міщенко Денис Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Науковий керівник ст. викл. Кепочатих Ю.В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Консультант з охорони праці к.т.н., доцент Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рецензент доцент каф. РІПР, к.т.н., доц. С.Н.Різдунський
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент Міщенко Д.
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Факультет (інститут) радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

За спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка

За освітньою програмою (спеціалізацією) Інтелектуальні технології
мікросистемної радіоелектронної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Є. А. Нелін
(підпис)

Є. А. Нелін
(ініціали, прізвище)

02 вересня 2019р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Мищені Денису Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Пристрій автономного електроживлен-
ня на основі елементів Пелотес

науковий керівник дисертації Мелюхатих Юрій Васильович, ст. викл.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» 11 2019 р. № 3881-с

2. Строк подання студентом дисертації 13 грудня 2019р.

3. Об'єкт дослідження пристрій автономного електроживлен-
ня на основі елементів Пелотес

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) схема принципова для функціонування пристрою, аналіз ефективності роботи елементів та характеристики пристрою

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) Розробити схему електричну принципову. 2. Розробити макет моделі пристрою в середовищі Autodesk Inventor. 3. Провести моделювання термоелектричної комірки в ANSYS Workbench.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу Мультимедійна презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації*

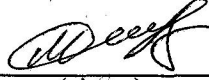
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
3 охорони праці	Каштанов С.Ф., доцент, к.т.н.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року

Календарний план

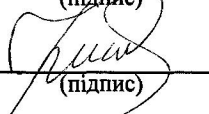
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Підбір джерел інформації	03.09.2018 - 01.06.2019	
2.	Аналітичний огляд джерел. Розроб. ТЗ	01.06.2019 - 15.09.2019	Розділ 1, 2
3.	Розробка принципу побудови	14.09.2019 - 01.11.2019	Розділ 3, 4
4.	Дослідження елементів Пел'єве та пристрою	01.11.2019 - 20.11.2019	Розділ 5, 6
5.	Старт проекту та охорона праці	21.11.2019 - 01.12.2019	Розділ 4, 8
6.	Остаточне оформлення дисертації	02.12.2019 - 13.12.2019	

Студент


(підпис)

Мицкевич Д.В.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації


(підпис)

Ю.В. Копочатих
(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки становить 91 сторінку. Записка включає 28 ілюстрацій, 1 додаток і 28 джерел посилання, 28 таблиць.

ПРИСТРІЙ АВТОНОМНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕЛЬТЬЄ

Ключові слова: елементи Пельтьє, термогенератор, пристрій автономного електроживлення, газоочисні установки.

Актуальність роботи обумовлена перспективністю такого науково-технічного напрямку як термоелектрика та необхідністю підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів виробництва на газоочисних установках.

Мета роботи — аналіз та вибір конструктивних рішень для створення термогенератора на основі елементів Пельтьє з високим рівнем надійності, економічності та ефективності.

Завдання дисертації:

1. Розробити схему електричну принципову для функціонування пристрою.
2. Провести моделювання в середовищі ANSYS Workbench, в результаті якого відбудеться: порівняння різних температурних режимів роботи елементів Пельтьє, аналіз ефективності використання елементів в кожному із них та буде обрано найкращий варіант.
3. Розробити макет 3D моделі пристрою в середовищі Autodesk Inventor.

Об'єкт дослідження — пристрій автономного електроживлення на основі елементів Пельтьє.

Предмет дослідження — конструкція та характеристики пристрою.

Методи дослідження: теоретичний розрахунок та моделювання пристрою.

Наукова новизна полягає в пропозиції нового конструктивного застосування термогенераторів у промисловому виробництві, підвищенню його ефективності та зменшенню енергозатрат.

Міщенко Д.В. РІ-81МП, 2019

ABSTRACT

The volume of the explanatory note is 91 pages, which includes 28 illustrations, 1 application and 28 source links, 28 tables.

AUTONOMOUS POWER SUPPLY BASED ON PELTIER ELEMENTS

Keywords: Peltier elements, thermal generator, autonomous power supply, electricity, gas treatment plants.

The urgency of the work is due to the prospect of such a scientific and technical area as thermoelectricity and the need to increase the efficiency of use of energy resources on production at gas treatment plants.

The purpose of the work is to analyze and select design solutions for creating a Peltier-based thermogenerator with high level of reliability and efficiency.

Dissertation tasks:

1. Develop a wiring diagram for the operation of the device.
2. Conduct simulation in ANSYS Workbench environment, which will result in: comparison of different temperature modes of Peltier elements operation, analysis of efficiency of using elements in each of them and the best option will be chosen.
3. Develop a 3D model layout of the device in Autodesk Inventor.

The object of study is a self-contained device based on Peltier elements.

The subject of the study is the design and characteristics of the device, the increase in the efficiency of the thermoelectric power source.

Research Methods: Theoretical calculation and modeling of device layout parameters.

The scientific novelty is to propose a new constructive use of thermal generators in industrial production, to increase its efficiency and to reduce energy costs.

Міщенко Д.В. РІ-81МП, 2019

ЗМІСТ

Перелік скорочень	8
Вступ.....	9
1 Теоретичні основи термоелектрики.....	11
1.1 Принцип дії ефекту Зеебека	11
1.2 Ефект Пельтьє	13
1.3 Ефект Томсона	14
1.4 Основні параметри термоелектричних генераторів.....	15
2 Розробка функціональної схеми.....	19
2.1 Порівняння технологій та рішень	19
2.1.1 Термоелектричний генератор фірми BMW з використанням температури вихлопних газів.....	19
2.1.2 Термоелектричні модулі в різних галузях	20
2.1.1 Термоелектричний генератор Індігірка-2	22
2.1.2 Термоелектричні генератори фірми BioLite.....	22
2.2 Аналіз технологічної бази.....	24
2.2.1 Вибір способу теплового відводу від термоелементів	24
2.2.2 Вибір теплового джерела для термоелементів.....	25
2.3 Модуль Пельтьє	26
2.4 Функціональна схема	27
3 Обґрунтування схемотехнічних рішень	29
4 Розробка конструкції та конструктивні елементи.....	32
4.1 Вибір елементної бази.....	32
4.1.1 Вибір елементів Пельтьє.....	32

4.1.2	Мікросхема TP4056	33
4.1.3	Підсилюючий перетворювач CE8301.....	34
4.1.4	Літій-іонний акумулятор 18650 3.7V SZNS.....	35
4.2	Друкована плата.....	35
4.2.1	Метод виготовлення друкованої плати	35
4.2.2	Вибір матеріалу друкованої плати.....	36
4.2.3	Визначення габаритів друкованої плати	36
4.2.4	Визначення ширини друкованих провідників.....	37
4.2.5	Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу	40
4.2.6	Розрахунок мінімальної відстані для прокладання одного провідника між двома контактними майданчиками.....	41
5	Розробка моделі У ANSYS WORKBENCH ENVIRONMENT	43
5.1	Об'єкт дослідження, матеріали, фізичні параметри	44
5.2	Аналіз результатів розрахунку	48
6	Розробка 3D моделі конструкції.....	55
6.1	Рекомендації щодо вибору матеріалів макета	57
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	58
7.1	Визначення основних потенційних шкідливих та небезпечних факторів при виконанні науково-дослідних робіт.....	58
7.2	Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	59
7.2.1	Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	59
7.2.2	Освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ	61
7.2.3	Виробничий шум	63

7.2.4	Мікроклімат робочої зони	63
7.3	Електробезпека	65
7.3.1	Розрахунок захисного відключення електромережі	66
7.4	Заходи щодо поліпшення умов праці в науково-дослідницькій лабораторії	67
7.4.1	Розрахунок повторного заземлення нульового дроту	68
7.5	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	69
7.5.1	Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу в разі виникнення надзвичайної ситуації.....	69
7.6	Пожежна безпека	72
8	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	75
8.1	Опис ідеї проекту.....	75
8.2	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	76
8.3	Розроблення ринкової стратегії проекту	78
8.4	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	80
	Висновки	83
	Перелік джерел посилання	85
	ДОДАТОК А. Технічне завдання	89

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГОУ — газоочисна установка

ДП — друкована плата

ОДП — одностороння друкована плата

ЕРС — електрорушійна сила

ТЕ — термоелемент

ТЕГ — термоелектричний генератор

ТЕМ — термоелектричний модуль

LED — light-emitting diode

USB — universal serial bus

Міщення Д.В. РІ-81 МП, 2019

ВСТУП

Розвиток сучасної техніки та технології нерозривно пов'язаний із пошуком нових джерел енергії, насамперед електричної. Основна вимога — збільшення обсягу її виробництва. Але останнім часом на перший план виходять додаткові умови: енергія повинна вироблятися екологічно чистим способом, вона повинна бути відновлюваною.

Підвищення енергоефективності можливе лише при створенні та використанні ефективних технологічних рішень. Завдання прямого перетворення теплової енергії в електричну також є дуже актуальною проблемою в сучасних умовах виснаження природних джерел палива. У сучасних двигунах внутрішнього згоряння частка непридатної теплоти досягає 70 % [1]. Оскільки втрати вироблюваної людством енергії досить значні, необхідно нарощувати зусилля в пошуку можливостей максимально повного використання одержуваної енергії. Враховуючи те, що електростанції і двигуни внутрішнього згоряння є серйозними джерелами забруднення навколишнього середовища, збільшення ефективності їх використання дозволить знизити витрати природних ресурсів і викиди шкідливих речовин в атмосферу. Поряд з цим існує необхідність автономного електропостачання віддалених об'єктів. Вирішення описаних вище завдань можливе за допомогою термоелектричних генераторів.

Відсутність рухомих частин, стабільність і простота у використанні роблять термогенератори (ТЕГ) ідеальними в галузях, де є потреба в надійних джерелах електроенергії, яким властивий тривалий термін експлуатації і які не потребують обслуговування: автономні космічні апарати, ракети, підводні човни, морські маяки, автоматичні метеостанції та інші установки невеликої потужності.

Наприклад, на багатьох вітчизняних промислових підприємствах технологічний процес пов'язаний з викидом високотемпературних газів в навколишнє середовище. Щоб не витратити безкоштовне тепло в повітря, збільши-

ти працездатність і зменшити витрати на експлуатацію газоочисних установок (ГОУ) за рахунок зниження температури технологічних газів, доцільно використовувати термоелектричні генератори.

Потенційно найефективніший інструмент для створення автономного пристрою електроживлення є елемент Пельтьє — найпростіший перетворювач теплової енергії в електричну. При всіх очевидних перевагах сучасних генераторних пристроїв, виготовлених на основі модулів Пельтьє, вони мають загальний недолік — низьку ефективність, крім того, ці пристрої мають відносно високу вартість. Ефективність роботи безпосередньо залежить від якості матеріалу і визначається значенням термоелектричної добротності. В зв'язку з цим, потрібні матеріали з високою термоелектричною добротністю, які здатні ефективно працювати в різних температурних діапазонах.

З точки зору екологічної чистоти термоелектрика відноситься до перспективних способів прямого перетворення теплової енергії в електричну без проміжного етапу переходу в механічну енергію, як це відбувається на теплових і атомних електростанціях. Саме тому, розробка технічних рішень для підвищення ефективності теплоенергетичних установок в малій енергетиці та на транспорті з використанням прямого перетворення теплової енергії в електричну є актуальним завданням.

Метою даної роботи — змодельовати і оптимізувати структуру термоелектричного генератора. У рамках поставленої мети вирішуються такі завдання:

- аналіз технологічної бази та ринку;
- встановлення технічних характеристик модулів Пельтьє;
- обробка результатів та створення моделі пристрою в середовищі ANSYS Workbench та Autodesk Inventor.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕРМОЕЛЕКТРИКИ

Термоелектрика — це сукупність явищ прямого перетворення теплоти в електричний струм у твердих або рідких провідниках, а також зворотного явища прямого нагрівання і охолодження спаїв двох провідників струмом, що проходить крізь них [2].

До термоелектричних матеріалів відносять металеві та напівпровідникові сплави і хімічні сполуки, що мають високі значення термоелектричних параметрів. Термоелектричні матеріали мають дві основні області застосування: термоелектричні генератори (ТЕГ) і термоелектричні холодильники [3]. Перші використовуються для перетворення теплоти в електрику, другі — для створення різниці температур за рахунок електрики.

Термоелектричні властивості мають практично всі метали, їх хімічні сполуки (оксиди, сульфіді, селеніді, фосфіді, карбіді та ін.) і сплави, а також багато напівпровідників. До основних матеріалів, що використовуються в термоелектричних генераторах, відносяться телуриди свинцю, сурми, бісмуту і їх тверді розчини, телурид германію, селеніді сурми і бісмуту, моносульфід самарія і силіцид магнію [4].

Термін «термоелектрика» охоплює три взаємозалежних ефекти: термоелектричний ефект Зеєбека та електротермічні ефекти Пельтьє і Томсона. В основі роботи лежить технологія прямого перетворення теплової енергії в електричну, заснована на ефекті Зеєбека.

1.1 Принцип дії ефекту Зеєбека

Термоелектричне перетворення полягає в перетворенні різниці температур в різницю електричних потенціалів за рахунок властивостей матеріалу. Термоелектричний ефект (Ефект Зеєбека) — явище виникнення електро рушійної сили (ЕРС) в замкнутому електричному колі, що складається з послідовно з'єднаних різнорідних провідників, контакти між якими знахо-

дяться при різних температурах (рис. 1.1). Величина термоелектрорушійної сили (термоЕРС) залежить тільки від матеріалу провідників і температур гарячого (T_h) і холодного (T_c) контактів [4]. Коло, яке складається тільки з двох різних провідників або термоелементів (ТЕ), називається термопарою. Кількість термопар в одному ТЕ може доходити до кількох сотень. Від їх кількості залежить потужність модуля.

Для того, щоб створити різницю температур на сторонах термопари, до її гарячої сторони необхідно підвести тепловий потік Q_h , а з холодної сторони відвести тепловий потік Q_c , причому їх різниця за законом збереження енергії складе електричну потужність P :

$$P = Q_h - Q_c. \quad (1.1)$$

На ефекті Зеєбека основана дія термоелектричних генераторів (ТЕГ).

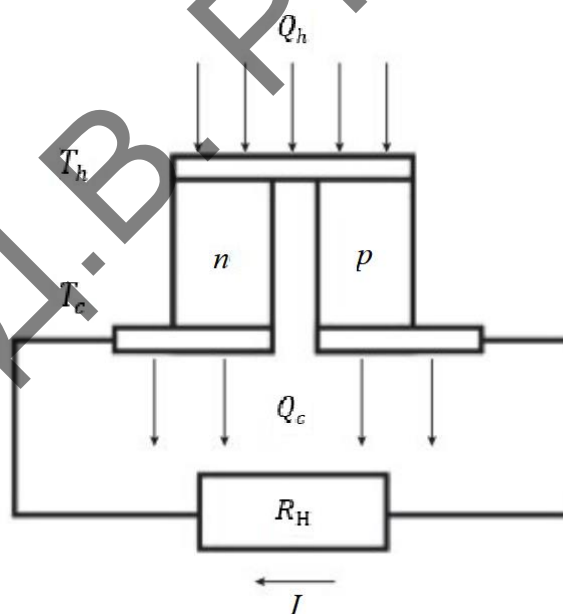


Рисунок 1.1 — Ефект Зеєбека [4]

Якщо уздовж провідника існує градієнт температур, то електрони на гарячому кінці набувають більш високої енергії і швидкості, ніж на холодному; в напівпровідниках разом з цим концентрація електронів провідності зро-

стає з температурою. В результаті виникає потік електронів від гарячого кінця до холодного і на холодному кінці накопичується негативний заряд, а на гарячому залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду триває до тих пір, поки різниця потенціалів, що виникла, не викличе потік електронів у зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага [4].

1.2 Ефект Пельтьє

В термоелектриці існує ще один ефект, який можна вважати умовно зворотним ефекту Зеебека. Якщо пропустити електричний струм через термопару, що складається з двох різних провідників, то на одному контакті тепло виділяється, а на іншому — поглинається (рис. 1.2). Цей процес отримав назву ефекту Пельтьє [5]. Слід зазначити, що цей ефект є термодинамічно зворотним: при зміні напрямку струму, гарячий контакт починає охолоджуватися.

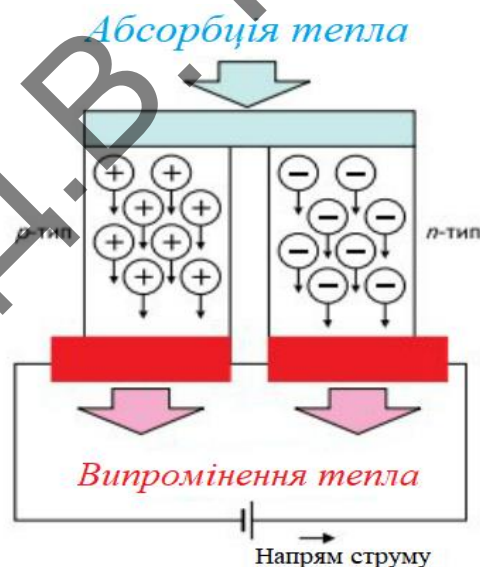


Рисунок 1.2 — Ефект Пельтьє [5]

Причиною виникнення явища ефекту Пельтьє є контактна різниця потенціалів на межі двох речовин. Якщо через контакт йде струм, то це поле буде сприяти проходженню струму, або перешкоджати йому. Якщо струм йде

проти контактного поля, то зовнішнє джерело повинне витратити додаткову енергію, яка виділяється в контакті, що призведе до його нагрівання. Якщо ж струм йде по напрямку контактного поля, то він може підтримуватися цим полем, яке і здійснює роботу по переміщенню зарядів. Необхідна для цього енергія відбирається у речовини, що призводить до її охолодження на місці контакту [5]. Ефект Пельтьє контактний, а отже — поверхневий, велика площа контакту дозволяє отримати велику охолоджуючу потужність.

Для реального застосування енергії поглинання теплоти однієї термопари недостатньо. В термоелектричному модулі використовується багато термоелектричних пар. Їх з'єднують електрично послідовно. А конструктивно — так, що охолоджуючі і нагріваючі переходи повинні розташовуватися на протилежних сторонах модуля.

Термоелектричний модуль Пельтьє знижує температуру однієї сторони, відносно іншої. Таким чином, щоб холодна сторона мала низьку температуру, необхідно відводити тепло від гарячої поверхні, зменшуючи її температуру.

1.3 Ефект Томсона

Даний ефект полягає в тому, що якщо пропустити постійний електричний струм через нерівномірно нагрітий однорідний провідник, то на кінцях цього провідника виникає градієнт температур [6]. Ефект Томсона (рис. 1.3) є внутрішньою, об'ємною модифікацією ефекту Пельтьє і проявляється у всьому об'ємі термоелектричної речовини.



Рисунок 1.3 — Ефект Томсона [6]

Якщо уздовж провідника, по якому протікає струм, існує градієнт температури (причому напрямок струму відповідає руху електронів від гарячого кінця до холодного), то при переході від гарячого кінця до холодного електрони передають надлишкову енергію навколишнім атомам, тобто виділяється теплота Q_s [6]:

$$Q_s = S \cdot (T_h - T_c) \cdot I \cdot t, \quad (1.2)$$

де S — коефіцієнт Томсона, t — час, за який вимірюється кількість теплоти, T_h — температура гарячого кінця, T_c — температура холодного кінця.

При напрямку струму в зворотну сторону — електрони, проходячи з більш холодної ділянки в більш гарячу, поповнюють свою енергію за рахунок оточуючих атомів (теплота поглинається) [6].

Важливою властивістю напівпровідників є те, що концентрація носіїв в них дуже залежить від температури. Якщо напівпровідник нагрітий нерівномірно, то концентрація носіїв заряду в ньому буде більше там, де вище температура і нижче там, де нижча температура по ТЕ. Саме тому градієнт температури призводить до градієнта концентрації носіїв заряду, внаслідок цього виникає їх дифузійний потік. Це призводить до порушення електронейтральності. Подальший поділ зарядів викликає таке електричне поле, яке перешкоджає цьому поділу. Таким чином, якщо в напівпровіднику є градієнт температури, то в ньому спостерігається об'ємне електричне поле E' [7].

Поряд з коротко описаними вище термоелектричними ефектами при протіканні електричного струму через термоелектричний матеріал в ньому безповоротно виділяється теплова потужність [2].

1.4 Основні параметри термоелектричних генераторів

Для того щоб розуміти, як побудувати високоефективний термоелектричний генератор, необхідно розглянути їх основні характеристики.

Внутрішній електричний опір:

$$R_{BH} = N(\rho_n + \rho_p) \frac{h}{a^2}, \quad (1.3)$$

де N — число пар ТЕ, h — висота ТЕ, a — сторона поперечного перерізу ТЕ, ρ_n, ρ_p — питомий електричний опір ТЕ n - і p -типу відповідно;

Теплова провідність:

$$\lambda_T = N(\lambda_n + \lambda_p) \frac{a^2}{h}, \quad (1.4)$$

де λ_n, λ_p — коефіцієнти теплопровідності ТЕ n - і p -типу відповідно;

ЕРС, що виникає в колі різномірних провідників електричного струму при наявності різниці температур на кінцях розімкнутого кола, може бути виражена через різницю температур і коефіцієнт Зеебека — коефіцієнт термоЕРС матеріалів, що складають коло [3]:

$$E = (\alpha_T^p - \alpha_T^n) \cdot (T_h - T_c), \quad (1.5)$$

де α_T^p — коефіцієнт Зеебека для діркової частини термоелемента, α_T^n — коефіцієнт Зеебека для електронної частини термоелемента, T_c — температура холодного спаю, T_h — температура гарячого спаю.

Струм кола I_{TEG} при підключенні до кола опору навантаження R_H (рис. 1.1) буде дорівнювати:

$$I_{TEG} = \frac{E}{R_{BH} + R_H} = \frac{(\alpha_T^p - \alpha_T^n) \cdot (T_h - T_c)}{R_{BH} + R_H}, \quad (1.6)$$

Опір навантаження:

$$R_H = \rho_M \frac{l}{S_{\perp}}, \quad (1.7)$$

де l — висота елемента навантаження, $S_{\perp}$ — площа його поперечного перерізу, ρ_M — питомий опір матеріалу.

Напругу можна знайти, використовуючи формули (1.3), (1.5), (1.6):

$$U_{\text{ТЕГ}} = E - I_{\text{ТЕГ}} R_{\text{ВН}}. \quad (1.8)$$

Електрична потужність (1.9) у термоелектричному генераторі виражається за допомогою формул (1.6) і (1.8) і представляється як:

$$P_{\text{ТЕГ}} = I_{\text{ТЕГ}} U_{\text{ТЕГ}} = R_H \frac{(\alpha_T^p - \alpha_T^n)^2 \cdot (T_h - T_c)^2}{(R_{\text{ВН}} + R_H)^2}. \quad (1.9)$$

«Фактор потужності» (Power factor):

$$P_f = \alpha^2 \sigma, \quad (1.10)$$

де α — коефіцієнт Зеєбека, σ — питома електропровідність матеріалу.

Для будь-якого класу матеріалів ефективність перетворення теплової енергії в електричну визначається термоелектричною добротністю. Термоелектрична добротність прямо пропорційна квадрату термоЕРС і електропровідності та обернено пропорційна теплопровідності матеріалу. Вона має розмірність зворотної температури і залежить тільки від фізичних властивостей матеріалу. Найчастіше для опису ефективності ТЕ користуються безрозмірним коефіцієнтом термоелектричної добротності ZT [8].

$$ZT = \frac{\sigma \cdot \alpha^2}{\lambda_T} \cdot \Delta T, \quad (1.11)$$

де λ_T — питома теплопровідність матеріалу, σ — питома електропровідність, α — коефіцієнт Зеєбека (термоЕРС), ΔT — робоча або середня температура, $\Delta T = ((T_h + T_c))/2$, T_c, T_h — температури холодного і гарячого спаїв відповідно.

Забезпечення високої добротності (1.20) пред'являє до матеріалу дві вимоги, які є суперечливими: необхідна висока електропровідність при малій

теплопровідності, в той час як ці величини при постійній температурі пов'язані лінійною залежністю — законом Відемана-Франца (1.12).

Закон Відемана-Франца — це фізичний закон, стверджуючий, що для металів відношення коефіцієнта теплопровідності λ_T до питомої електричної провідності σ пропорційне температурі [8]:

$$\frac{\lambda_T}{\sigma} = L_0 \cdot \Delta T. \quad (1.12)$$

де $L_0 = 2,85 \cdot 10^{-6} \text{ В}^2/\text{К}^2$ — стала Лоренца.

Таким чином, збільшення електропровідності матеріалу буде призводити до зростання теплопровідності, і одночасно з цим до зниження коефіцієнта термоЕРС матеріалу.

Висновки щодо розділу: термоелектричний матеріал повинен мати високу термоЕРС, високу електричну провідність (інакше внутрішні втрати будуть занадто великими) і малу термічну провідність (щоб зменшити зайве перенесення тепла). Формули, наведені в пункті 1.4, будуть використані у термоелектричному аналізі, проведеному у розділі 6.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ

Для того, щоб розробити власний пристрій, який буде функціонувати на елементах Пельтьє, необхідно спочатку провести аналіз існуючих генераторів, представлених на ринку, а також вибрати найперспективнішу сферу їх застосування.

2.1 Порівняння технологій та рішень

Використання термоелектричних генераторів має кілька суттєвих переваг:

- екологічна чистота;
- безшумна робота;
- невеликий розмір і вага;
- висока надійність — до 200 000 годин безвідмовної роботи [9];
- стійкість до механічних навантажень;
- здатність працювати в будь-якому просторовому положенні.

Однак великому розповсюдженню цієї технології все ще перешкоджає дуже низька ефективність перетворення енергії (зазвичай 5 – 8 %) [9] і все ще відносно висока вартість більшості генераторів. У майбутньому повинні з'явитися нові матеріали, які можуть збільшити ККД генераторів до 20 – 30 % [9]. Це може означати справжній прорив у використанні цієї технології.

2.1.1 *Термоелектричний генератор фірми BMW з використанням температури вихлопних газів*

Автовиробник BMW застосовує термоелектричні генератори для отримання енергії з використанням температури вихлопної системи (рис. 2.1), яка може сягати аж до 700 °C. При використанні звичайного контуру охолодження двигуна внутрішнього згоряння для охолодження іншого боку термоелект-

ричного генератора не виникає проблем з досягненням різниці температур в декілька сотень градусів за Цельсієм. За інформацією розробника, використання ТЕГ дозволяє скоротити потреби в електроенергії автомобілів на 5-7% [10].



Рисунок 2.1 — Вироблення електроенергії термоелектричним генератором з використанням температури вихлопних газів автомобіля [10]

2.1.2 Термоелектричні модулі в різних галузях

Досить широко застосовуються термоелектричні збірки — пристрої для термостабілізації та локального кондиціонування обладнання в закритих стійках, шафах (рис. 2.2.). Вони мають високу ефективність і потужність від одиниць до сотень Вт.



Конвекційне охолодження кулером

"Гаряча" сторона

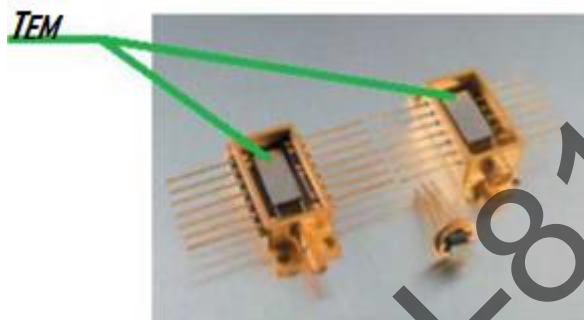
Блок ТЕМ

"Холодна" сторона

Рисунок 2.2 — Термоелектрична збірка для охолодження (нагріву) [9]

Існує налагоджене виробництво побутових приладів (холодильників, пікнік-боксів, винних барів та ін.), виконаних на базі ТЕМ. Вони виробляються великими партіями і мають невисоку собівартість при високій якості.

Також ТЕМ застосовують і в галузі мікроелектроніки (рис. 2.3). Вони дозволяють здійснювати охолодження і термостабілізацію елементів мікроелектроніки (напівпровідникових лазерів, кварцових резонаторів, датчиків, мікросхем, оптоелектронних вузлів, та ін. температурозалежних компо-



нентів).

Рисунок 2.3 — Термоелектричні модулі в мікроелектроніці [9]

Представлені на ринку термоелектричні генераторні пристрої, що використовують як джерело тепла енергію від природного газу, рідких видів палива, пари (рис. 2.4), мають відносно високу вартість при низькому ККД.

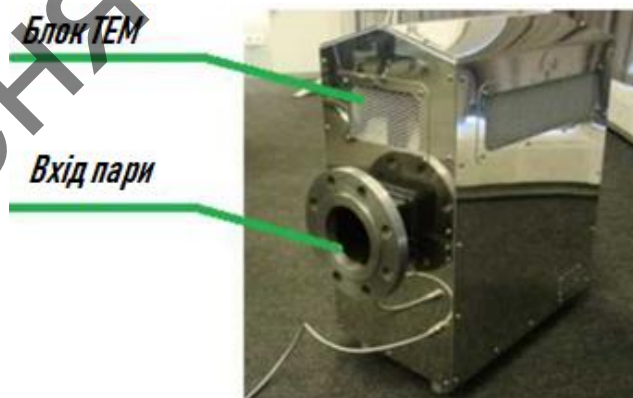


Рисунок 2.4 — Паровий ТЕГ [9]

2.1.1 Термоелектричний генератор Індігірка-2

Прикладом функціонування ТЕГ за рахунок спалювання деревини є туристичні печі фірми Термофор «Індігірка-2» з модулями Пельтьє (рис. 2.5), вартістю близько 32 рис. грн. Їхня вихідна потужність не менше 60 Вт, напруга — 12 В, вага — 37 кг [11]. В приладі не передбачено накопичувальних акумуляторів.



Рисунок 2.5 — Туристична піч «Індігірка-2» [11]

Але в таких печах модулі Пельтьє розраховані на температуру до 200 градусів Цельсія, що значно підвищує вартість самих пристроїв. Наприклад, генераторний модуль ТГМ-127-2,0-1,3 з електричною потужністю до 12,2 Вт коштує близько 1,2 рис. грн [3].

2.1.2 Термоелектричні генератори фірми BioLite

Ще однією з компаній, яка займається виробництвом зарядних станцій з використанням термоелектричних генераторів, є BioLite. Прикладом використання енергії при спалюванні деревини є набір генераторів «BioLite CampStove» та «BioLite Kettle Charge». Це персональні генератори для підзарядки портативної електроніки, що показані на рисунку 2.6 [12].



Рисунок 2.6 — Зарядні пристрої BioLite CampStove (a) і «Biolite Kettle Charge» (б) [12]

«BioLite CampStove» — це маленький котел, в якому можна розвести багаття і до якого можуть бути прикріплені різні насадки для приготування їжі або кип'ятіння води. На одній із сторін цього котла встановлено термоелектричний генератор з охолодженням і необхідною електронікою. Обладнання має один USB-порт для зарядки. Вага установки 0,935 кг, ємність акумулятора 2600 мАг. Виробник стверджує, що прилад генерує потужність до 2 Вт (пік потужності — до 4 Вт) і напругу 5 В [12].

«BioLite KettleCharge» — це контейнер для води (об'ємом 750 мл), в який вбудований термоелектричний генератор. Закип'ятивши воду, користувач отримує електроенергію за кілька хвилин. Пристрій призначений для кемпінгу, а також для використання в умовах відключення електроенергії. Вага установки 0,907 кг, ємність акумулятора 1250 мАг. Пристрій знову має один USB-вихід для зарядки і має напругу на виході USB 5 В. Виробник вказує максимальну потужність зарядки 10 Вт [12].

Обидва пристрої продаються за ціною близько 3000 гривень.

В даний час, незважаючи на всі переваги, генератори на основі ТЕМ мають спільну проблему — низьку ефективність та досить високу вартість. Для того щоб розробити конкурентоспроможний пристрій, він повинен бути

порівняно дешевим та ефективнішим за його аналоги. Крім того, він повинен бути ергономічним і зручним у використанні.

2.2 Аналіз технологічної бази

Будь-яку термоелектричну систему можна розділити на три частини: модулі, холодна сторона, гаряча сторона. Залежно від доступної потужності (щільності) теплового потоку, а також від способу відводу тепла від охолоджувальної боку ТЕМ в навколишнє середовище, конструкція термоелектричного генератора (ТЕГ) змінюється. Зазвичай тепло відводиться за допомогою рідинного або повітряного радіатора.

2.2.1 Вибір способу теплового відводу від термоелементів

Для рідинного способу відводу тепла, як правило, використовуються ТЕМ з невеликою висотою термопар і, відповідно, меншим внутрішнім електричним опором і більшою вироблюваною потужністю. Модулі з великим числом термопар дозволяють отримати більшу напругу. Це важливо для запуску перетворювача постійного струму при малих перепадах температур.

Рідинний радіатор має мінімальний тепловий опір і дозволяє отримати максимальний перепад температур, але вимагає додаткові пристрої (насос, зовнішній тепловідвід). Повітряний радіатор може експлуатуватися з природною конвекцією або з посиленням додатковим обдувом (за рахунок тяги витяжної труби або вентилятора, що живиться від ТЕГ). Термоелектричний генераторний модуль обирають, виходячи з технічно доступного способу відводу теплоти у навколишнє середовище [5].

Оскільки ми намагаємося побудувати ТЕГ, що буде мати найвищий ККД при хороших економічних показниках, буде доцільно використовувати саме рідинне охолодження через його більшу ефективність.

2.2.2 Вибір теплового джерела для термоелементів

Однією із найперспективніших галузей застосування ТЕГ є газоочисні установки (ГОУ). За рахунок зниження температури технологічного газу можна зменшити витрати на експлуатацію ГОУ. Також ТЕГ буде доцільно використовувати в опалювальних котлах, адже в названих промислових системах відведення теплоти з холодної сторони термогенератора в рідинне середовище проблем не становить і є єдино прийнятним [13].

Окрім додаткового джерела живлення термогенератори дозволяють збільшити ефективність і зменшити витрати на експлуатацію ГОУ, адже за рахунок зниження температури технологічних газів відбувається зменшення їх фізичних об'ємів.

Більше того, необхідність охолодження обумовлена тим, що в теплу пору року температура газів на вході в ГОУ може досягати максимально допустимих значень (понад 200 °C), а виготовлені з поліестеру рукавні фільтри, що застосовуються в останні роки в технології газоочищення, мають граничні експлуатаційні значення по температурі газів, що відходять 140 – 145 °C. Застосування фільтрів з термостійких тканин, що витримують температуру понад 200 °C, призведе до три-, чотирикратного збільшення витрат на експлуатацію ГОУ [13].

Тому вибір газоочисних установок у виробництві є оптимальним для застосування даної технології, вирішуючи декілька проблем одночасно. Можливість рекуперації теплової енергії на ГОУ дозволяє домогтися більшої енергоефективності виробництва за рахунок:

- нагріву води для виробничих потреб;
- використання для опалення побутових приміщень;
- отримання дистильованої води;
- виробництва електроенергії;
- зменшення температури технологічних газів.

За основу подальшого термоелектричного аналізу буде взято умови використання ТЕГ на поверхні труби, якою рухається гарячий газ з температурою в діапазоні 100 – 200 °C. Ці умови є стаціонарним режимом роботи вхідної ділянки газоходу.

Для роботи в цьому температурному діапазоні необхідно визначити матеріал і модель термоелектричного модуля, який буде використаний для розробки ТЕГ.

2.3 Модуль Пельтьє

В основі роботи даного пристрою лежить елемент Пельтьє. Одиничним елементом пристрою є термопара що складається з одного провідника *n*-типу і одного провідника *p*-типу, як показано на рисунку 2.7. ТЕМ являє собою сукупність великого числа таких термопар. Напівпровідникові елементи утворюють термопари з'єднані між собою з допомогою мідних перемичок і розташовані між двома тонкими керамічними пластинами [14].

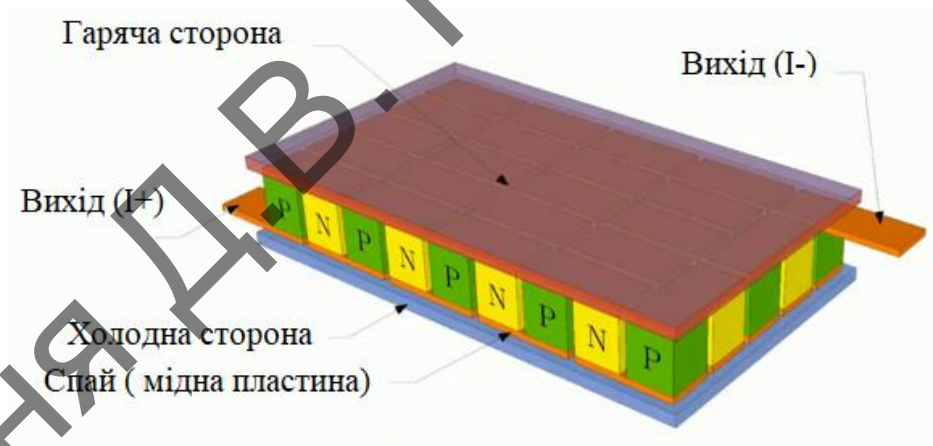


Рисунок 2.7 — Конструкція елемента Пельтьє [14]

При створенні ТЕМ використовують різні сплави напівпровідникових сполук, умовно поділених на три групи: низькотемпературні (0—300 °C): халькогеніди бісмуту та сурми, середньотемпературні (300—600 °C): телуриди плумбуму, германій та олово та високотемпературні (від 600 °C і вище): кремній-германієві сплави [9].

Найбільше поширення набули так звані низькотемпературні ТЕМ з діапазоном робочих температур до 200°C . Найбільше застосування при виготовленні термоелектричних модулів останніми роками отримав теллурид бісмуту Bi_2Te_3 з коефіцієнтом термоЕРС — 230 мкВ/К і деякі його тверді розчини. Температура в 280°C є гранично високою для зазначеного матеріалу, тому тривала експлуатація ТЕМ при температурах понад 300°C неможлива [3].

У зв'язку з тим, що середньо- і високотемпературні термоелектричні модулі даний момент проходять ряд експериментальних досліджень, їх немає у вільному продажу, а ті, які є, продаються по необґрунтовано високій ціні, тому для створення ТЕГ було прийнято рішення використовувати термоелектричні модулі низькотемпературного виконання. Залежно від специфікації і області застосування, такі модулі при різниці температур $100 - 200^{\circ}\text{C}$ дозволяють забезпечувати генерацію електричної енергії потужністю до 10 Вт за напруги постійного струму до 6 В .

Для вирішення даного завдання доцільне використання модулів на основі телуриду бісмуту Bi_2Te_3 . Детальний аналіз вибору елементів Пельтьє буде проведений в підпункті 4.1.1.

2.4 Функціональна схема

Виходячи з висновків із попередніх пунктів, побудовано комбіновану функціональну схему розробленого пристрою автономного електропостачання (представлено на рисунку 2.8).

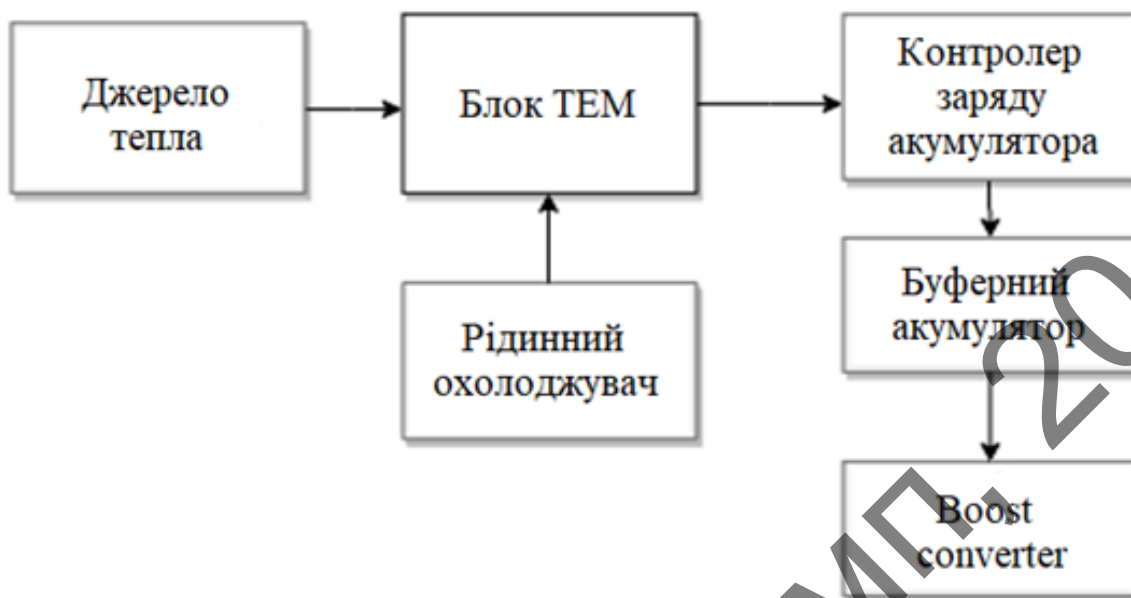


Рисунок 2.8 — Схема комбінованого функціонального пристрою живлення

Вона включає в себе джерело теплоти, блок термоелектричних модулів, рідинний охолоджувач з іншого боку блоку ТЕМ. Генерована електрична енергія передається в буферну батарею через контролер заряду. Напруга з акумулятора подається підвищуючим перетворювачем (Boost converter) на споживчу навантагу через роз'єм USB.

3 ОБГРУНТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

Електрична частина пристрою повинна налаштовуватись на необхідний рівень потужності і зберігати електричну енергію, що надходить з блоку термоелектричних модулів, а також безпечно передавати її споживачеві. Для цього доцільно використовувати набір буферних акумуляторів, а також схеми управління для зарядження акумуляторів та підсилення напруги.

Відповідно до цих вимог, розроблено загальну електричну схему для запропонованого пристрою автономного живлення, показаного на рисунку 3.1.

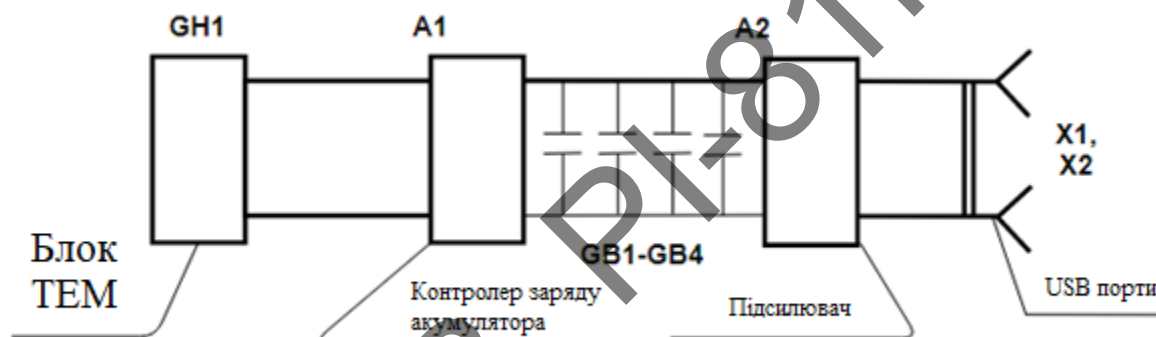


Рисунок 3.1 — Електрична функціональна схема пристрою

Схема містить блок термоелектричних генераторних модулів GN1, контролер заряду акумуляторів A1, блок акумуляторів GB1 – GB4 і підсилюючий перетворювач A2. Підключення навантаги — через USB-роз'єми X1, X2.

В одній збірці може бути встановлено кілька генераторних модулів Пельтьє. Енергія з декількох вузлів може бути додана за допомогою відповідного з'єднання. Завдяки своїй простоті конструкція відрізняється високою надійністю та довговічністю (термін служби може перевищувати 10 років при правильній експлуатації). Також, завдяки наявності контролерів заряду, акумулятори будуть захищені від несправності при неправильному використанні.

Для збільшення функціональності є можливість використовувати 2 і більше перетворювачів для збільшення кількості USB-портів. Для збільшення кількості портів необхідно брати більшу кількість елементів Пельтьє для підтримання належного рівня характеристик приладу. Оптимальним рішенням буде використання блоку TEM з 4 елементів Пельтьє задля збереження конкурентноспроможної ціни і компактності пристрою. На виході схеми функціонують 2 конвертери, що підвищують напругу до 5В, для можливості підключення 2 споживачів.

Електрична схема приладу, що розроблена в програмі «sPlan 7.0», показана на рисунку 3.2.

Коротко опишемо режими роботи термоелектричного пристрою: під час зарядки акумуляторів загоряється червоний світлодіод. Коли напруга на акумуляторі досягає 4,2 В, червоний світлодіод згасає, заряджання припиняється загоряється зелений світлодіод. Якщо відбудеться перегрів мікросхеми, обидва світлодіоди вимикаються, а якщо акумулятор не підключений до виходу мікросхеми, зелений індикатор горить, а червоний блимає.

Заряджання акумуляторів. В цій схемі доцільно використовувати акумулятори не надто великої ємності, приблизно: 2 – 5 Аг.

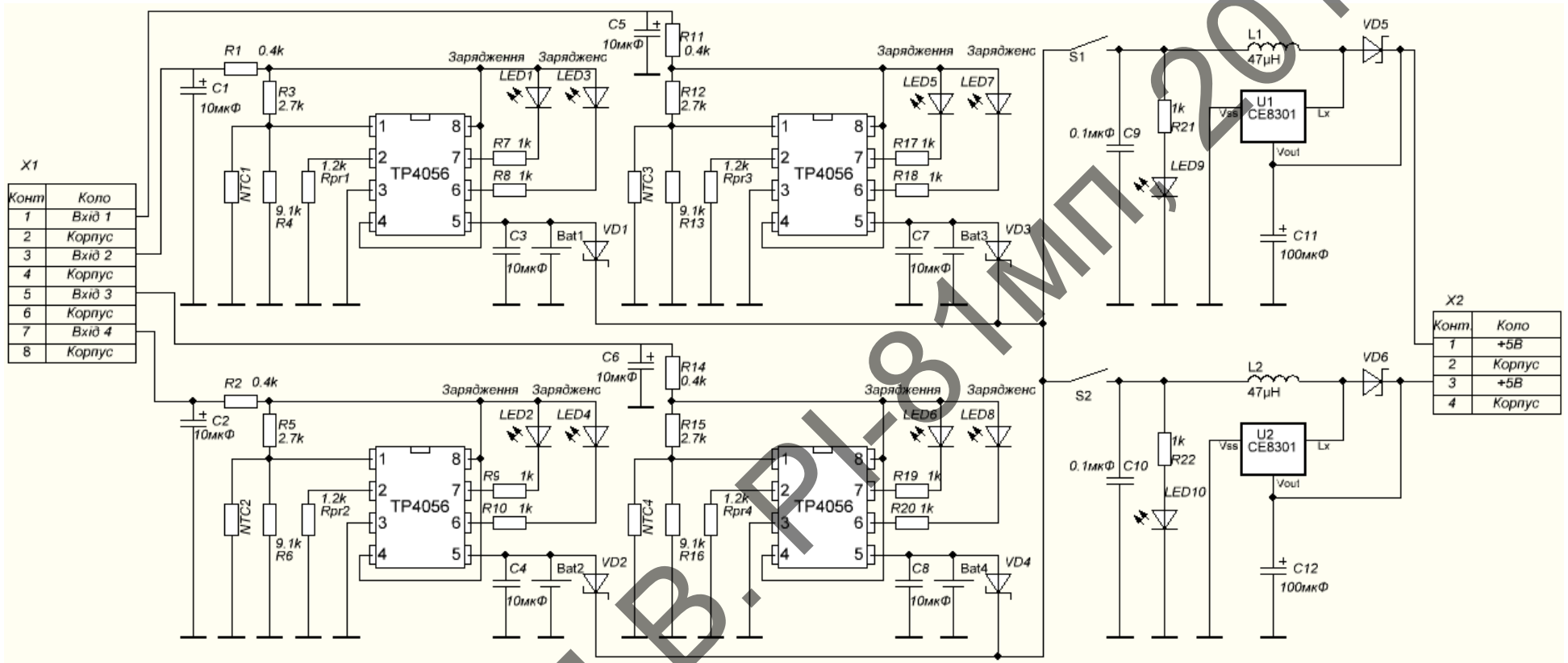


Рисунок 3.2 — Схема електрична принципова для термоелектричного пристрою

4 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ

4.1 Вибір елементної бази

В даному розділі приведено вибір елементної бази для даного приладу, розрахунок параметрів друкованого монтажу а також макет шару друкованої плати.

4.1.1 Вибір елементів Пельтьє

При виборі елементів Пельтьє необхідно звернути увагу на їх характеристики: габаритні розміри, кількість термопар, тепловий опір, надійність, діапазон робочих температур, коефіцієнт термоЕРС та вартість.

Виходячи з вимог діапазону робочих температур і теплового опору зупиняємо вибір на елементах ТГМ-199-1,4-0,8, ТГМ-127-1,4-0,8 та ТГМ-127-1,0-1,0. Складемо порівняльну таблицю і визначимо оптимальний тип модуля. Виробник напівпровідникових ТЕМ «Кріотерм» забезпечує технічні характеристики для генераторних модулів відповідно до таблиці 4.1, де R_{ac} — електричний опір термоелектричного модуля за температури 22 °C, Ом; A, B, H — довжина, ширина і висота термоелектричного елемента, мм; U — напруга на виході модуля, В; I — електричний струм під час навантаження, А; P — електрична потужність у навантаженні, Вт; η — коефіцієнт ефективності модуля, (%); R_t — тепловий опір модуля за 22 °C, К/Вт.

Таблиця 4.1 — Характеристики модулів Пельтьє в режимі генератора ($T_c = 30$ °C; $T_h = 200$ °C) [3]

Найменування	Розміри, мм			R_{ac} ,	R_t ,	U ,	I ,	P ,	η ,	Ціна ≈,
	A	B	H	Ом	К/Вт	В	А	Вт	%	
ТГМ-127-1,4-0,8	40	40	3,1	0,66	0,87	3	3,1	9,4	4,6	480
ТГМ-127-1,0-1,0	30	30	3,4	1,29	1,69	3	1,66	5,1	4,7	260
ТГМ-199-1,4-0,8	40	40	3,2	1,03	0,57	4,1	2,8	11,4	4,1	620

З таблиці 4.1 видно, що ефективність термоелектричних модулів невелика, струм і напруга в модулі також відносно невисокі. Максимальна робоча температура модулів становить 200 °C. Вартість цих модулів висока. З таблиці видно, що оптимальним є модуль ТГМ-127-1,0-1,0. Хоч він має гірші ніж в аналогів показники вихідної потужності, він має меншу ціну при менших розмірах, що важливо для виготовлення радіатора охолодження. Інші характеристики теж повністю відповідають вимогам.

Подальший вибір елементів проводився за таким же принципом, як і для елементів Пельтьє.

4.1.2 Мікросхема TP4056

Для управління акумуляторами було вирішено використовувати мікросхему TP4056, розроблену для зарядки літій-іонних акумуляторів. Основні переваги TP4056 (рис. 4.1) [14]:

1. забезпечення захисту акумуляторів;
2. невелика кількість елементів;
3. сповіщення про переключення режимів функціонування;
4. можливість регулювати струмом, який буде подаватись на акумулятор.

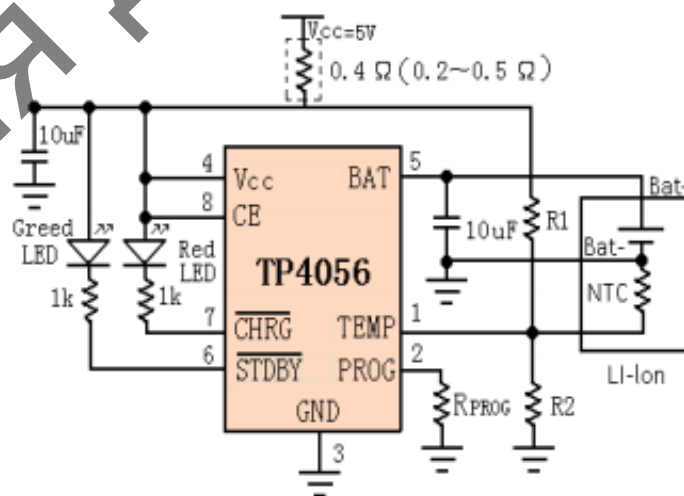


Рисунок 4.1 — Коло живлення TP4056 [15]

За допомогою резистора R_{prog} можна налаштувати необхідний рівень струму заряду (рис. 4.2).

R_{prog} (k)	I_{BAT} (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

Рисунок 4.2 — Налаштування струму R_{prog} [15]

4.1.3 Підсилюючий перетворювач CE8301

Для того щоб підняти напругу на виході акумулятора до необхідного рівня в 5 В було вирішено використовувати підвищуючий перетворювач, побудований на мікросхемі CE8301. Його можна придбати готовим модулем.

Конвертер CE8301 (рис. 4.3) працює від 0,9 В до 5 В, а на виході він видає постійну напругу 5 В і струм 500 мА (максимум 600 мА) [16]. Це задовільняє наші вихідні умови для живлення малопотужних споживачів.

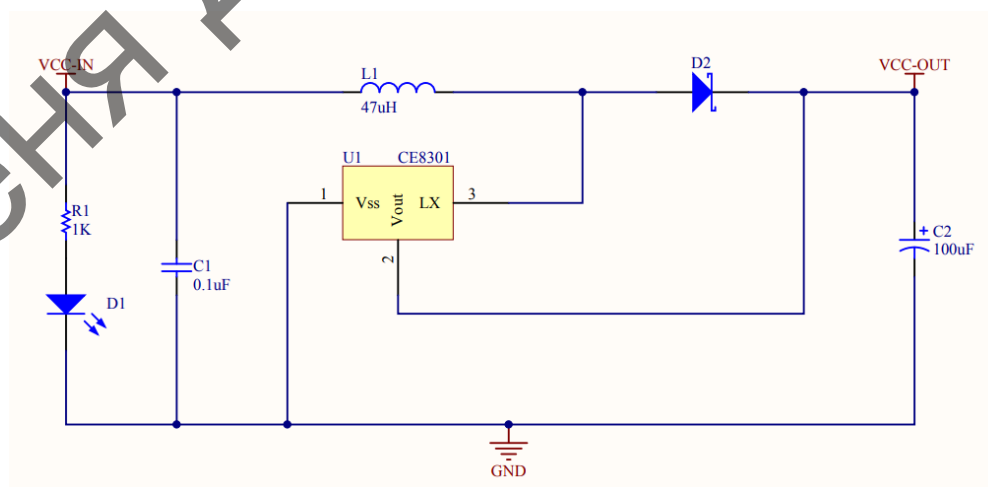


Рисунок 4.3 — Коло живлення CE8301 [16]

4.1.4 Літій-іонний акумулятор 18650 3.7V SZNS

Акумулятор 18650 3.7V SZNS (рис. 4.4) є надійним і дешевим варіантом для пристроїв з струмом споживання не вище 4 А, тому задовільняє наші вимоги [17]. Основні характеристики:

- номінальна ємність — 2600 мАг;
- номінальна напруга — 3,7 В;
- нижня межа напруги — 2,75 В;
- верхня межа напруги — $4,20 \pm 0,05$ В.



Рисунок 4.4 — акумулятор 18650 3.7V SZNS [17]

4.2 Друкована плата

В даному розділі необхідно зробити макет ДП для схеми на TP4056.

4.2.1 Метод виготовлення друкованої плати

Всі елементи схеми можна розташувати на односторонній друкованій платі (ОДП). Основною перевагою ОДП над двосторонніми друкованими платами є більша точність виконання рисунку провідникового шару і суміщення його з отворами, при цьому вони мають меншу собівартість виготовлення.

Виготовлення ДП відбудеться комбінованим негативним методом. Друковану плату виготовляють на фольгованому діелектрику з металізацією отворів, потім виконують травлення міді, а після цього здійснюють свердління отворів та металізацію. При нанесенні рисунку схеми провідники і контактні площадки покривають захисним шаром. Після свердління і хімічної металізації виконують гальванічне осадження на провідники, контактні площадки і отвори. Електричні з'єднання всіх елементів схеми здійснюють за допомогою контактного пристрою та контактних провідників. Метод забезпечує високу щільність монтажу і є рекомендованим для виготовлення ОДП. Однак такий метод має певні недоліки, зокрема при металізації отворів відкриті ділянки основи насичуються хімічними розчинами та за рахунок цього отримують підвищену провідність [18].

4.2.2 Вибір матеріалу друкованої плати

В якості матеріалу основи обираємо: склотекстоліт фольгований FR-4 0,35/0,35 1,5 мм (товщина діелектрика — 1,5 мм), який використовують для ОДП з підвищеною щільністю монтажу. Склотекстоліт має високу механічну міцність, термостійкість, низькі втрати, високий поверхневий опір. Товщина мідного покриття — не менше 70 мкм, але за необхідності можна використовувати і більш поширений матеріал з покриттям товщиною 35 мкм.[19].

4.2.3 Визначення габаритів друкованої плати

Для визначення площі плати потрібно розрахувати мінімальну площу, що відповідає загальній площі всіх елементів. Розрахуємо площу всіх елементів для плати (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 — Розміри елементів і площа, необхідна для їх встановлення

Елемент	L, мм	B, мм	N, шт.	Σ , мм ²	Коефіцієнт
Мікросхема TP4056	5	4	4	160	2
Світлодіод	5	5	8	300	1.5
Резистор 1 кОм	3	3	8	72	1
Резистор 0.4 кОм	3	3	4	36	1
Резистор <i>prog</i>	3	4	4	72	1.5
Резистор 2.7 кОм	3	3	4	36	1
Резистор 9.1 кОм	3	2	4	24	1
Конденсатор 10 мкФ	4	4	8	128	1
Термістор NTC	4	4	4	96	1.5
Діод Шотткі	4	4	4	96	1.5

Розрахунки за даними таблиці 4.2 дають значення мінімальної площі плати — 1020 мм². Будемо використовувати це значення в якості мінімальної площі для друкованої плати. Для забезпечення оптимального розміщення елементів та для резервування місця під монтажні отвори було вибрано друковану плату розмірами 64x22 мм.

4.2.4 Визначення ширини друкованих провідників

Для даної плати обрали 3 клас точності при високому насиченні поверхні елементами, оскільки даний клас точності також відповідає параметрам обраного методу виготовлення ДП [18].

Проведемо розрахунки ширини друкованих сигнальних провідників. Мінімальне значення ширини провідника у вузькому місці визначається за формулою (4.1):

$$t_{1min} = t_{min} + |\Delta t_{H.o}|, \quad (4.1)$$

де t_{min} — мінімальне значення номінальної ширини провідника; $\Delta t_{H.o}$ — допуск на ширину провідника;

$$t_{min} = 0,25 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{H.o} = 0,05 \text{ мм};$$

$$t_{1min} = 0,25 + |0,05| = 0,3 \text{ мм}.$$

Мінімальне значення ширини друкованого провідника у широкому місці визначається за формулою (4.1), але мінімальне значення номінальної ширини провідника та допуск на ширину буде відрізнятися:

$$t_{min} = 0,45 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{H.o} = -0,1 \text{ мм};$$

$$t_{1min} = 0,45 + |-0,1| = 0,55 \text{ мм}.$$

Розрахуємо мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%):

$$t_{2min} = \frac{l \cdot I_{max} \cdot \rho}{h \cdot U_{живл} \cdot 0,03}, \quad (4.2)$$

де $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ — питомий опір провідників; $l = 0,1 \text{ м}$ — довжина провідника; $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ — товщина фольги; $U_{живл} = +5 \text{ В}$ — прикладена напруга; $I_{max} = 1,2 \text{ А}$ — максимальний струм;

$$t_{2min} = \frac{0,1 \cdot 1,2 \cdot 0,0175}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,03} = 0,424 \text{ мм}.$$

Розрахуємо мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого рівня струму на ньому:

$$t_{3min} = \frac{I_{max}}{h \cdot J}, \quad (4.3)$$

де $I_{max} = 1,2 \text{ А}$ — максимальний струм; $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ — товщина фольги; $J = 20 \text{ А/мм}^2$ — допустима щільність струму в провіднику;

$$t_{3min} = \frac{0,6}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 1,604 \text{ мм.}$$

З розрахованих даних потрібно вибрати ширину друкованих провідників у вузькому та широкому місці, виконуючи наступні умови:

$$t_{min.B} \geq \max \begin{cases} t_{1min.B} \\ t_{2min.B} \text{ — у вузькому провіднику;} \\ t_{3min.B} \end{cases} \quad (4.4)$$

$$t_{min.ш} \geq \max \begin{cases} t_{1min.ш} \\ t_{2min.ш} \text{ — у широкому провіднику;} \\ t_{3min.ш} \end{cases} \quad (4.5)$$

$$t_{min.B} = 1,604 \text{ мм;}$$

$$t_{min.ш} = 1,604 \text{ мм.}$$

Далі приведемо розрахунки силових провідників. Мінімальне значення ширини друкованого провідника у широкому місці визначається за формулою (4.1).

Вихідні дані для розрахунку:

$$t_{min} = 0,25 \text{ мм;}$$

$$\Delta t_{H.O} = 0,05 \text{ мм;}$$

$$t_{1min.B} = 0,25 + |0,05| = 0,3 \text{ мм.}$$

Мінімальне значення ширини друкованого силового провідника у широкому місці визначається за формулою (4.1):

$$t_{min} = 0,45 \text{ мм};$$

$$\Delta t_{H.O} = -0,1 \text{ мм};$$

$$t_{1min.ш} = 0,45 + |-0,1| = 0,55 \text{ мм.}$$

Мінімально допустима ширина провідника, з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому (3%), розраховується за формулою (4.1),

де $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ — питомий опір провідників; $l = 0,1 \text{ м}$ — довжина провідника; $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ — товщина фольги; $U_{живл} = +5 \text{ В}$ — прикладена напруга; $I_{max} = 1,2 \text{ А}$ — максимальний струм;

$$t_{2min} = \frac{0,1 \cdot 1,2 \cdot 0,0175}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 0,03} = 0,566 \text{ мм.}$$

Розрахуємо мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого рівня струму за формулою (4.3),

де $I_{max} = 1,2 \text{ А}$ — максимальний струм; $h = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$ — товщина фольги; $J = 20 \text{ А/мм}^2$ — допустима щільність струму в провіднику;

$$t_{3min} = \frac{1,2}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 1,604 \text{ мм.}$$

З розрахованих даних потрібно вибрати ширину друкованих провідників у вузькому та широкому місці, згідно з формулами (4.4) та (4.5):

$$t_{min.B} = 1,604 \text{ мм};$$

$$t_{min.ш} = 1,604 \text{ мм.}$$

4.2.5 Розрахунок зазорів між елементами друкованого монтажу

Для розрахунку найменшого зазору між друкованими елементами, використаємо формулу (4.6):

$$S = S_m + \Delta t_{B.O}, \quad (4.6)$$

де $S_m = 0,25$ мм — мінімально допустима відстань між сусідніми друкованими об'єктами; $\Delta t_{B.O} = 0,05$ мм — допуск на ширину провідника.

Підставимо дані в формулу (4.6):

$$S = 0,25 + 0,05 = 0,3 \text{ мм.}$$

4.2.6 Розрахунок мінімальної відстані для прокладання одного провідника між двома контактними майданчиками

Використаємо формулу (4.7) для визначення мінімальної відстані між двома контактними майданчиками (рис. 4.5):

$$L_{KM} = \frac{D1 + D2}{2} + S_m \cdot (N + 1) + N \cdot t_{min} + T, \quad (4.7)$$

де $D1 = 1,3$ мм — діаметр першої контактної площадки; $D2 = 1,3$ мм — діаметр другої контактної площадки; $S_m = 0,3$ мм — відстань між елементами провідникового рисунку; $N = 1$ — кількість провідників; $T = 0,05$ мм — розміщення центрів осей; $t_{min} = 1,604$ мм — ширина провідника.

Підставимо дані в формулу (4.7):

$$L_{KM} = \frac{1,3 + 1,3}{2} + 0,3 \cdot (1 + 1) + 1 \cdot 1,604 + 0,05 = 3,6 \text{ мм.}$$

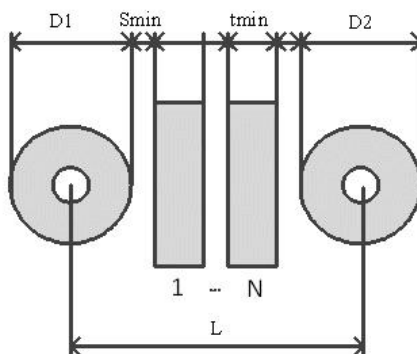


Рисунок 4.5 — Відстань між двома контактними майданчиками

Верхній шар плати, розробленої в програмі Sprint-Layout 6, зображено на рисунку 4.6. Розміри плати 64x22 мм.

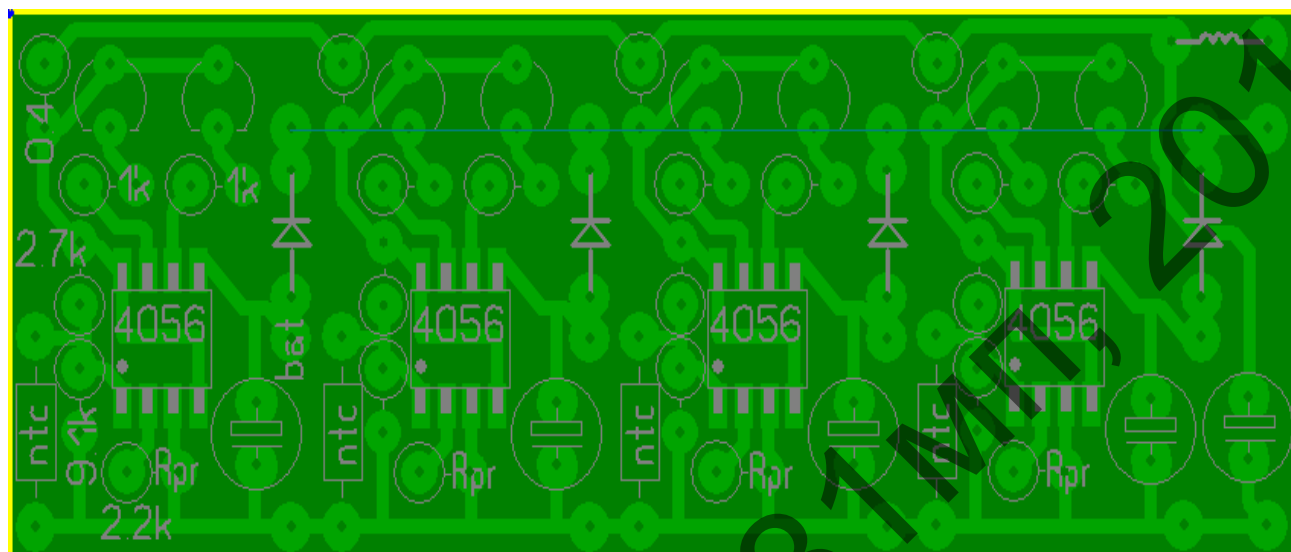


Рисунок 4.6 — Макет шару друкованої плати для схеми на *TP4056*

5 РОЗРОБКА МОДЕЛІ У ANSYS WORKBENCH ENVIRONMENT

Вирішення проблеми моделювання засноване на методі кінцевих елементів з використанням ANSYS Workbench. Процес моделювання включає в себе наступні етапи: попередню обробку, результат і постобробку результатів.

Етап попередньої обробки складається з п'яти етапів:

- 1) побудова геометричного 3D-модель об'єкта з використанням ANSYS Design Modeler, що призначений для побудови;
- 2) редагування геометрії, і присвоєння атрибутів моделей;
- 3) вибір типу аналізу — термоелектричний аналіз, який застосовується для моделювання ТЕГ;
- 4) налаштування фізичних властивостей матеріалів, з яких складається модельований об'єкт (технічні дані);
- 5) створення моделі твердотільного об'єкту використовуючи механічний модуль ANSYS, який дозволяє нам визначити температурне поле, вирішуючи проблеми стаціонарної і нестаціонарної теплопровідності, конвекції і радіаційного теплообміну; а також генерацію елементної сітки з використанням модуля ANSYS Meshing.

Стадія отримання результатів складається з наступних етапів:

- 1) вибір типу аналізу (стаціонарний аналіз) і варіанти для типу аналізу, обрані на попередньому етапі;
- 2) вибір граничних умов: теплових та електричних;
- 3) вибір параметрів розрахунку.

На останньому етапі результати відображаються в графічній і в табличній формі. Для подальших досліджень необхідно створити модель пристрою в

середовищі ANSYS Workbench. Це програмне забезпечення дозволяє робити обчислення різних фізичних процесів, розкладаючи компоненти системи на кінцеві елементи.

Основним завданням проведеного розрахунку є моделювання процесів генерації електричної енергії. Вирішення цієї проблеми дозволить встановити найбільш ефективні режими генерації, і, відповідно, можна оптимізувати конструкцію, зменшити втрати та збільшити коефіцієнт корисної дії пристрою.

На основі конструктивних особливостей модуля Пельтьє були змодельовані режими роботи елементарної комірки термоелектричного генератора. Оскільки модуль Пельтьє складається з декількох послідовно з'єднаних елементарних напівпровідникових $p-n$ переходів, для обчислення буде достатньо імітувати одну секцію $p-n$. Реалізація моделі дозволить отримати енергетичні характеристики модуля Пельтьє в різних режимах роботи.

5.1 Об'єкт дослідження, матеріали, фізичні параметри

Матеріали, необхідні для створення термоелектричної комірки, — це дві різні речовини: напівпровідник типу p і n , електрично з'єднані між собою мідною пластиною.

Вибраний модуль Пельтьє ТГМ-127-1,0-1,0 має максимальну температуру експлуатації $220\text{ }^{\circ}\text{C}$, складається з 127 термоелектричних пар, кожен елемент має поперечний переріз $1,0 \times 1,0\text{ мм}$ ($A \times B$) і висоту $1,0\text{ мм}$ (H) [20].

Для виготовлення доріжок (спаїв термопари) використовується мідь (Cu), а в якості діелектричних підкладок використовується кераміка із діоксиду алюмінію (Al_2O_3), питомий опір $\rho = 10^{16}\text{ Ом}\cdot\text{м}$; теплопровідність $\lambda_T = 30,5$

Вт/м·К). Параметри для даного ТЕМ, які були взяті з даташитів компанії виробника [21], наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Характеристика модуля Пельтьє в режимі генератора ТГМ-127-1,0-1,0 ($T_c = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_h = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$) [20]

Найменування	Розміри, мм			R_{ac}	R_t	U , В	I , А	P , Вт	η , %
	A	B	H	Ом	К/Вт				
ТГМ-127-1,0-1,0	30	30	3,4	1,29	1,69	3	1,66	5,1	4,7

У цій таблиці: R_{ac} — електричний опір термоелектричного модуля за заданої температури $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ом; A , B , H — довжина, ширина і висота термоелектричного елемента, (мм); U — напруга на виході модуля, В; I — електричний струм під час навантаження, А; P — електрична потужність у навантаженні, Вт; η — коефіцієнт продуктивності (ефективності) модуля, %; R_t — тепловий опір модуля за $22\text{ }^{\circ}\text{C}$, К/Вт.

У якості напівпровідникового матеріалу, що використовується для ТЕ n - і p - типу, тут використаний телурид бісмуту Bi_2Te_3 [22]. Для того, щоб отримати ТЕ з необхідним типом провідності, необхідно легування невеликою кількістю домішок.

Для того, щоб отримати напівпровідниковий ТЕ n -типу частину телуру (Te) замінюють селеном (Se). Співвідношення стехіометричних коефіцієнтів для даного твердого розчину: $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ [23].

Для того, щоб отримати напівпровідниковий матеріал ТЕ p -типу частину бісмуту (Bi) замінюють сурмою (Sb). Співвідношення стехіометричних коефіцієнтів для даного твердого розчину: $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$ [24]. Отримані розчини представлені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 — Тверді розчини з різним типом провідності

Напівпровідниковий матеріал	Твердий розчин
<i>n</i> -тип	$\text{Bi}_2\text{Se}_{0,6}\text{Te}_{2,4}$
<i>p</i> -тип	$\text{Bi}_{0,5}\text{Sb}_{1,5}\text{Te}_3$

Основні параметри твердих розчинів, отриманих за допомогою легуючих домішок, наведені в таблиці 5.3, на основі досліджень [25].

Таблиця 5.3 — Параметри використаного в роботі матеріалу

№	$T, ^\circ\text{C}$		T, K		ΔT	$\alpha, \frac{\text{мкВ}}{\text{К}}$		$\rho, \frac{\text{мкОм} \cdot \text{м}}{\text{м}}$	$\sigma, \frac{\text{мкСм}}{\text{м}}$
	hot	cold	hot	cold		<i>n</i> -тип	<i>p</i> -тип		
1	50	7	323,15	280,15	43	-153,82	153,82	8,05	0,124
2	75	9	348,15	282,15	66	-158,44	158,44	8,64	0,116
3	100	11	373,15	284,15	89	-163,90	163,90	9,41	0,106
4	125	12	398,15	285,15	113	-164,17	164,17	9,83	0,102
5	150	14	423,15	287,15	136	-165,68	165,68	10,31	0,097
6	175	15	448,15	288,15	160	-166,40	166,40	10,69	0,094
7	200	21	473,15	294,15	179	-170,38	170,38	10,76	0,093

$\lambda_T = 1,05 \left(\frac{\text{мкВт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right)$ — питома теплопровідність, незмінна у всьому діапазоні температур для *n*- і *p*- типу телуриду бісмуту Bi_2Te_3 .

Вхідні параметри були задані для матеріалів, геометрія яких створена в програмі, *n*- і *p*- типу відповідно до таблиці 5.3. Фізичні параметри міді запозичені із стандартної бібліотеки ANSYS.

Створена модель геометрії p - n переходу в ANSYS Design Modeler представлена на рисунку 5.1.

Фізичні властивості матеріалів були присвоєні елементам моделі 3D. Для моделі були встановлені наступні умови:

- напруга (на кінцях пластин, що проводять струм, на початковий момент часу — 0 В);
- струм (у початковий момент часу — 0 А);
- температура «гарячої» сторони (80 °C);
- температура «холодної» сторони (20 °C).

Таким чином, ми наближаємо модель до реальних умов тестування.

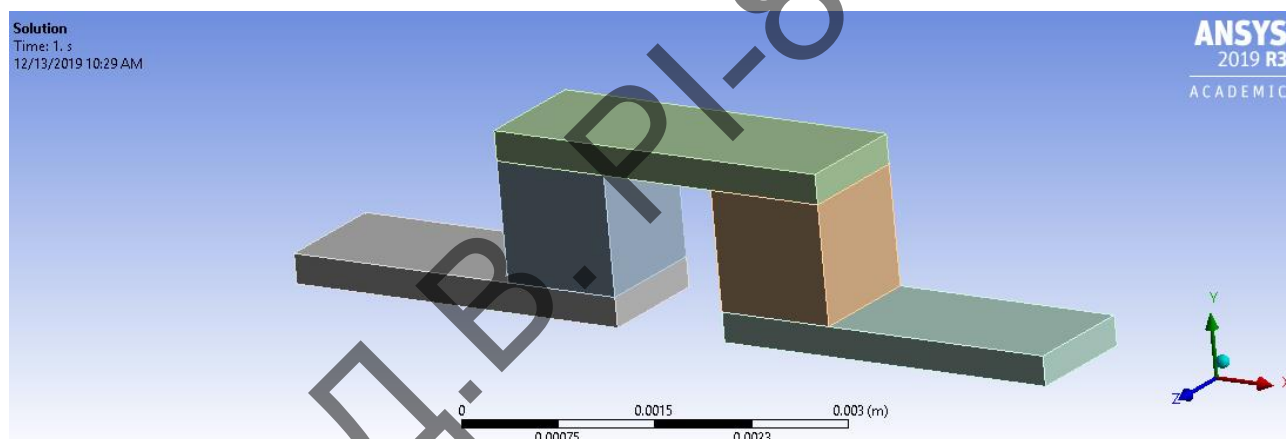


Рисунок 5.1 — Модель термоелектричної комірки

Для наступної стадії процесу моделювання необхідно визначити фізичні величини, що будуть отримані в результаті моделювання. Основними параметрами є розподіл електричного потенціалу та зображення розподілу температури.

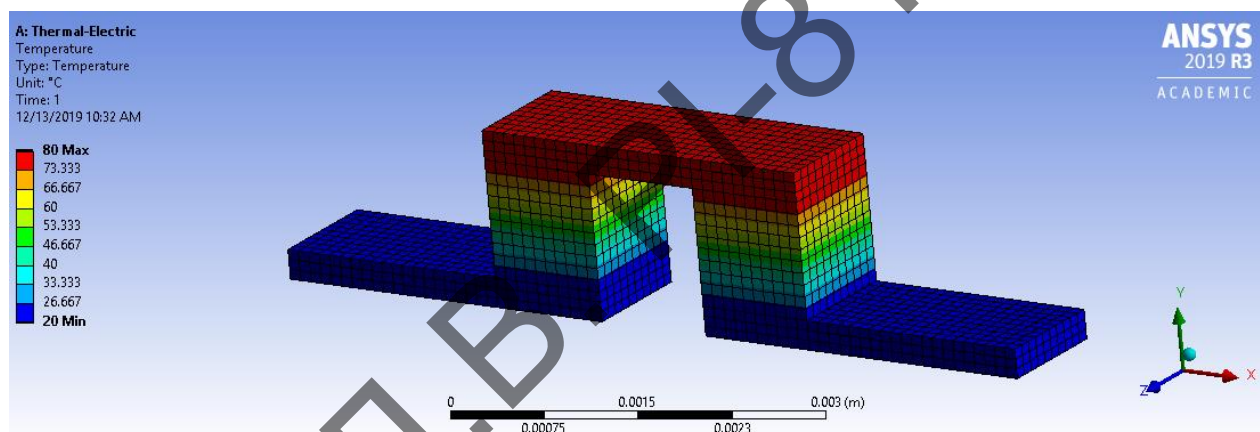
Для визначення параметрів термоелектричного генератора моделювання проводилось для трьох різних перепадів температур:

- 1) $T_h = 80^\circ\text{C}$, $T_c = 20^\circ\text{C}$, $\rightarrow \Delta T = 60^\circ\text{C}$;
- 2) $T_h = 140^\circ\text{C}$, $T_c = 20^\circ\text{C}$, $\rightarrow \Delta T = 120^\circ\text{C}$;
- 3) $T_h = 200^\circ\text{C}$, $T_c = 20^\circ\text{C}$, $\rightarrow \Delta T = 180^\circ\text{C}$.

Програмний комплекс автоматично обчислює параметри, визначені на першому етапі, за допомогою зазначеного термоелектричного методу. Оскільки в нашому випадку режим моделювання статичний, немає необхідності у великій кількості елементів сітки.

5.2 Аналіз результатів розрахунку

Результати моделювання представлено на рисунку 5.2 для розподілу

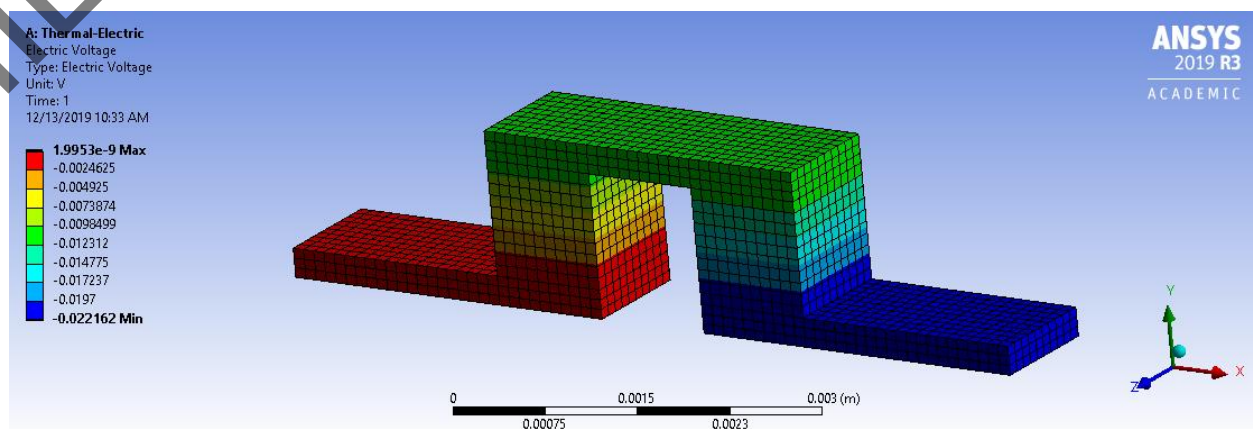


температури та на рисунку 5.3 — для потенціалів напруги.

Рисунок 5.2 — Результат розрахунку розподілу температури

Рисунок 5.3 — Результат розрахунку потенціалу розподілу

Розрахуємо характеристики термогенератора для випадку невеликих



різниць температур. Дані, отримані для температури гарячої сторони 80 °C і температури холодної сторони 20 °C, вказують на те, що одна термоелектрична комірка генерує приблизно 0,022 В за різниці температур 60 °C.

Оскільки у вибраному модулі Пельтьє — 127 комірок, відповідно до виразу (5.1) напруга холостого ходу модуля Пельтьє становить [25]:

$$E_{xx} = nE_0, \quad (5.1)$$

де n — кількість комірок; E_0 — напруга ЕРС холостого ходу однієї комірки.

Тому у цьому режимі роботи модуль Пельтьє виробляє:

$$E_{xx} = 127 \cdot 0,022 \approx 2,8 \text{ В.}$$

Подібний розрахунок проведено для температур «гарячої» сторони: 140 °C і 200 °C. Результати розрахунків представлено на рисунку 5.4:

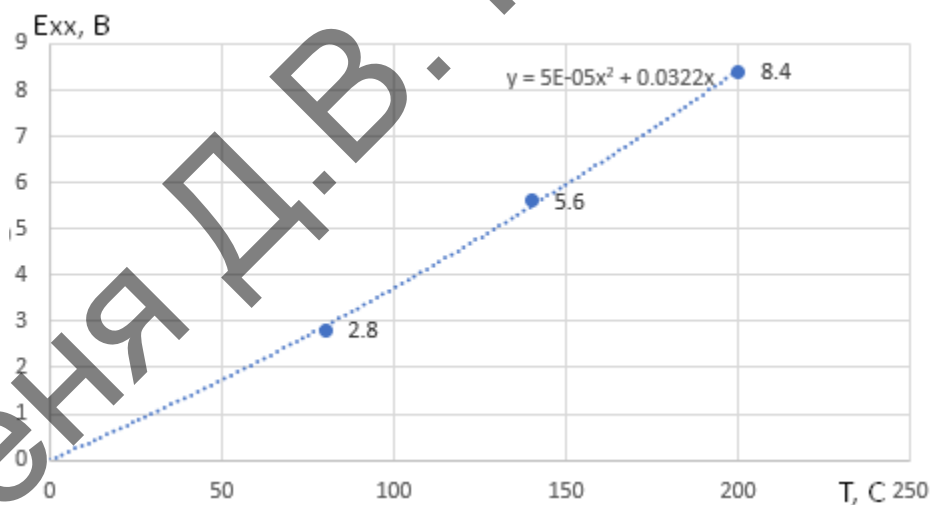


Рисунок 5.4 — Напруга холостого ходу ТЕ за різних температур

Для вивчення характеристик навантаження p - n переходу у середовищі ANSYS геометрію моделі доповнено перемичкою, як показано на рисунку 5.5.

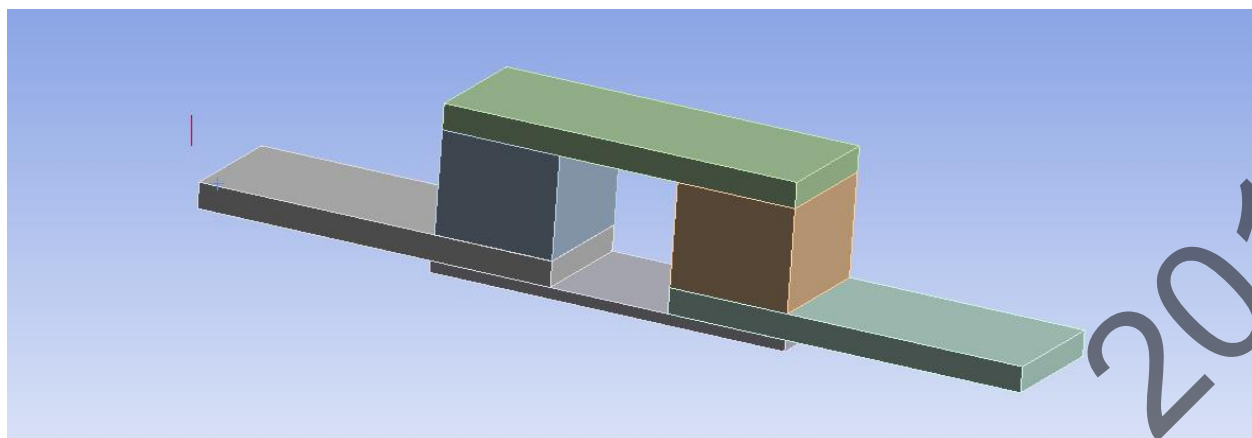


Рисунок 5.5— Геометрія термоелектричної комірки з перемичкою

Для того, щоб перемичка працювала як резистор з можливістю зміни значення опору, необхідно здійснювати регулювання значення питомого опору перемички, не змінюючи її геометрію відповідно до формули (5.2).

$$R_H = \frac{\rho \cdot l}{S}, \quad (5.2)$$

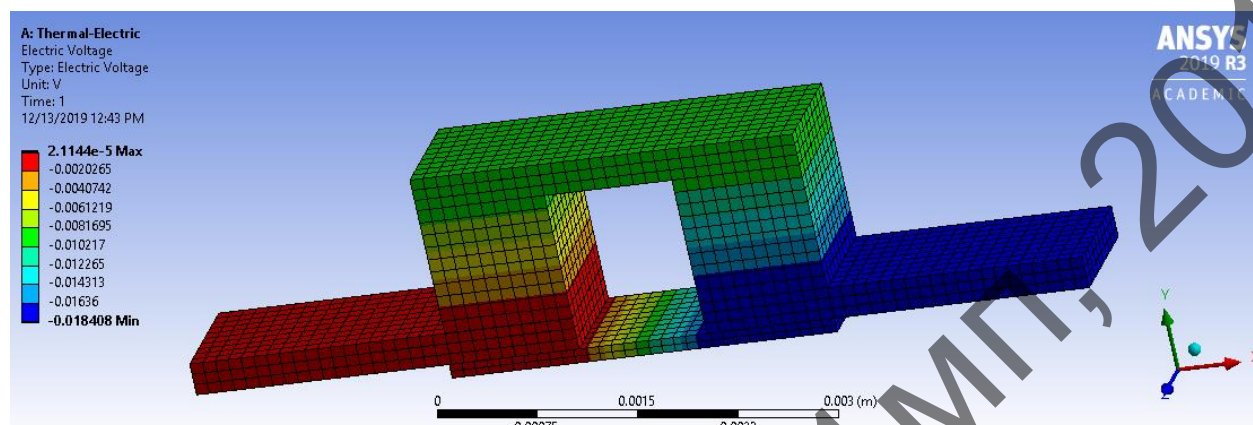
де R_H — опір активного провідника, Ом; ρ — питомий опір матеріалу, Ом·м; l — довжина активного провідника, м; S — площа поперечного перерізу активного провідника, мм².

Так при довжині і ширині активного провідника в 1 мм і товщині пластини 0,1 мм встановимо питомий опір матеріалу 0,0003 Ом·м. Отримаємо:

$$R_H = \frac{0,0003 \cdot 1 \cdot 10^{-3}}{0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}} = 3 \text{ Ом}.$$

Потім слід виконати усі операції, як при створенні попередньої моделі, доповнюючи список вихідних значень загальною щільністю струму.

Результати моделювання за навантаження 3 Ом і різниці температур $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для розподілу електричного потенціалу наведено на рисунку 5.6, а для



щільності струму — на рисунку 5.7.

Рисунок 5.6 — Розрахунок електричного потенціалу під навантаженням

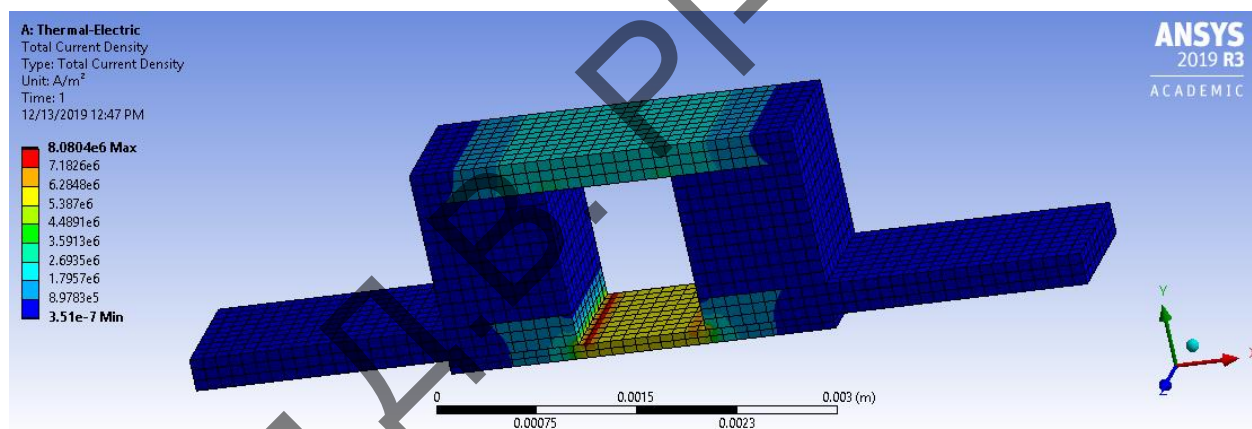


Рисунок 5.7 — Розрахунок густини електричного струму

В ході моделювання термоелектричного генератора отримано залежність напруги на контактах від опору навантаження (рис. 5.6) для різниці температур $\Delta T = 60, 120, 180\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для кожного градієнту температур виконаний розрахунок величини сили струму і вихідної потужності за законом Ома.

Виходячи з таблиці 5.4 видно, що при опорі навантаження $R = 12 \text{ Ом}$ для різниці температури $\Delta T = 60^\circ \text{C}$ максимальне значення потужності — 0,76 Вт.

Таблиця 5.4 — Моделювання характеристик ТЕМ для $\Delta T = 60^\circ \text{C}$ (Вихідні дані для сумарної кількості елементарних комірок $N = 127$)

$R_n, \text{ Ом}$	$U_\Sigma, \text{ В}$	$I_\Sigma, \text{ А}$	$P_\Sigma, \text{ Вт}$
5	1,84	0,37	0,68
10	2,76	0,28	0,76
12	3,03	0,25	0,76
13	3,15	0,24	0,76
15	3,36	0,22	0,75
20	3,77	0,19	0,71
50	4,83	0,10	0,47
100	5,35	0,05	0,29
500	5,54	0,02	0,07
1000	5,96	0,01	0,04

При цьому ж опорі R і перепаді $\Delta T = 120^\circ \text{C}$ максимальне значення потужності склало 2,05 Вт (табл. 5.5).

Таблиця 5.5 — Моделювання характеристик ТЕМ для $\Delta T = 120^\circ \text{C}$ (Вихідні дані для сумарної кількості елементарних комірок $N = 127$)

$R_n, \text{ Ом}$	$U_\Sigma, \text{ В}$	$I_\Sigma, \text{ А}$	$P_\Sigma, \text{ Вт}$
5	2,91	0,58	1,69
10	4,51	0,45	2,03
12	4,97	0,41	2,05
13	5,17	0,40	2,05

15	5,55	0,37	2,05
20	6,30	0,31	1,98

Кінець таблиці 5.5

50	8,28	0,17	1,37
100	9,27	0,09	0,86
500	10,2	0,02	0,14
1000	10,4	0,01	0,11

Знову при опорі $R = 100 \text{ Ом}$ C максимальне значення потужності скла-
ло 1820 мВт при перепаді температур $\Delta T = 180^\circ$ (табл. 5.6)

Таблиця 5.6 — Моделювання характеристик ТЕМ для $\Delta T = 180^\circ \text{C}$ (Вихідні
дані для сумарної кількості елементарних комірок $N = 127$)

$R_H, \text{ Ом}$	$U_\Sigma, \text{ В}$	$I_\Sigma, \text{ А}$	$P_\Sigma, \text{ Вт}$
5	4,33	0,87	3,74
10	6,86	0,69	4,70
12	7,62	0,63	4,83
13	7,96	0,61	4,88
15	8,58	0,57	4,91
20	9,82	0,49	4,82
50	13,2	0,27	3,53
100	15,1	0,15	2,29
500	16,2	0,12	1,65
1000	16,9	0,02	0,29

В даному розділі проведено моделювання, яке показало що найбільшу
потужність вибраного модуля 4,9 Вт можна отримати за різниці температур

$\Delta T = 180^{\circ}C$ та за опору навантаги 15 Ом. Показники результатів схожі з тими, які приводить сам виробник (для різниці температур $\Delta T = 170^{\circ}C$ потужність модуля складає 5,1 Вт). Для вивчення конкретних характеристик навантаження модуля Пельтьє потрібне більш детальне вивчення моделі та врахування таких параметрів, як тепловий опір керамічних пластин, розсіювання частини поданої теплової енергії через модуль Пельтьє, втрати енергії та інші параметри. І хоч похибка розрахунків в межах норми, отримані результати — перше наближення.

6 РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ КОНСТРУКЦІЇ

Для більш детального вивчення проекту була створена 3Д модель автономного пристрою електроживлення в програмному пакеті Autodesk Inventor. Корпус повинен задовольняти усім вимогам ТЗ, не погіршувати роботу пристрою та бути надійним.

Для подальших досліджень була розроблена геометрія пристрою в середовищі Autodesk Inventor.

Сучасні технічні рішення супроводжуються повним комплектом документації від проектування до виробництва. Основою цієї документації є тривимірні моделі, які містять усі розміри, складальні кресленики та іншу проектну документацію. Для даного пристрою наведено ескізи можливих корпусів, виконано їхнє порівняння та обрано найбільш вдалий (табл 6.1).

Перший ескіз зображений на рисунку 6.1. Дана конструкція можлива у використанні, але має суттєві недоліки — жорстка прив'язка до діаметру труби нагрівача та складність виготовлення радіатора охолодження.

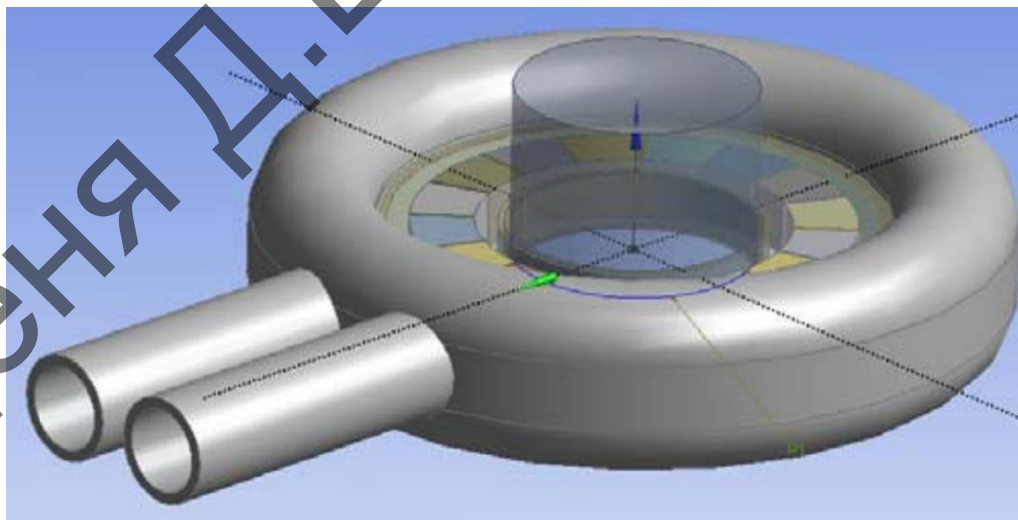


Рисунок 6.1 — Перша ескізна 3Д модель корпусу

Друга конструкція (рис. 6.2) має більш універсальну форму та кращу технологічність.

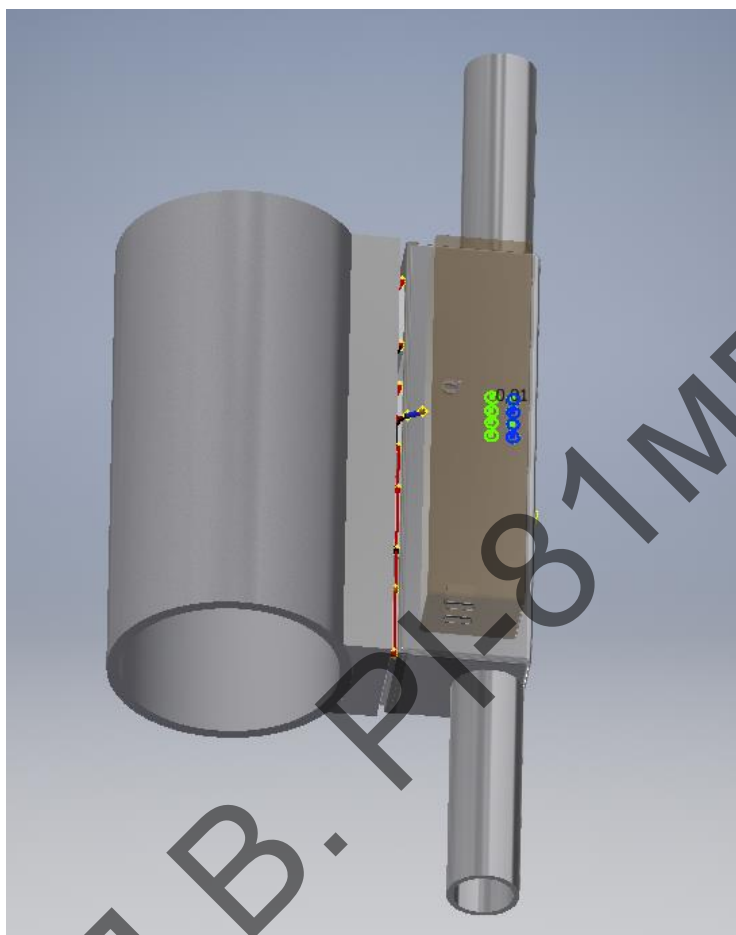


Рисунок 6.2 — Друга ескізна 3Д модель приладу

Таблиця 6.1 — Порівняння ескізів приладу

Параметр	Ефективність використання поверхні ГОУ		Габарити		Технологічність		Σ
Ваговий коефіцієнт	0,4		0,3		0,3		
Ескіз №1	2	0,8	1	0,3	1	0,3	1,4
Ескіз №2	1	0,4	2	0,6	2	0,6	1,6

Порівняння сумарних показників ескізів дало перевагу другій моделі приладу. Наступний етап розробки — вибір матеріалу корпусу.

6.1 Рекомендації щодо вибору матеріалів макета

Матеріалом корпусу доцільно вибрати метал, адже будь'який пластиковий корпус має низьку теплопровідність, і буде гірше охолоджуватись від стінок радіатора, на якому він буде закріплений.

Для реалізації частини корпусу, що кріпиться до газоходу, необхідні корозійно- та жаростійкі матеріали, здатні витримувати високі температури (наприклад, нержавіюча сталь, яка здатна витримувати температури порядку 300 – 400 °C) [25]. Вибір матеріалу вузла радіаторного охолодження повинен збігатись з матеріалом існуючої системи водовідведення, що функціонує в місці встановлення ТЕГ.

Для покращення теплового контакту доцільно використовувати у різьбових з'єднаннях пружинні шайби. Для збільшення теплового потоку, що проходить крізь модуль, діаметр затяжних болтів конструкції ТЕГ повинен бути мінімальним. Матеріал болтів бажано вибирати з мінімальною теплопровідністю [26]. Необхідна сила прижиму модулів 12 – 15 кг/см² [20].

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКИ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основна увага в цьому розділі приділена питанням визначення і оцінки дії шкідливих і небезпечних факторів при виконанні даного проекту. Також у даному розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничих приміщень.

Так як дана робота має суто теоретичний характер, то в першу чергу, передбачається, з урахуванням вимог ДСТУ ISO 9241:6-2004 та ДСТУ ІЕС 61140:2015, визначити потенційно небезпечні і шкідливі фактори, що виникають при експлуатації ВДТ ПЕОМ, вплив цих факторів на користувачів ВДТ, розглянути принципи їх нормування, а також передбачити можливі комплексні заходи щодо запобігання шкідливого впливу цих факторів на людину. В цьому розділі розроблено відповідні технічні рішення та організаційні заходи щодо створення комфортних та безпечних умов праці користувачів ВДТ ПЕОМ, а також визначені основні заходи з електробезпеки в надзвичайних ситуаціях [27].

7.1 Визначення основних потенційних шкідливих та небезпечних факторів при виконанні науково-дослідних робіт

Розробка та симуляції проводяться за допомогою персонального комп'ютера (ПК). При роботі на ПК людина піддається впливу іонізуючого, інфрачервоного й ультрафіолетового випромінювання екрана монітора, рівні яких повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з ВДТ ПЕОМ».

При проведенні повного циклу робіт з проектуванням потенційно – небезпечними та шкідливими факторами можуть бути:

- електромагнітне випромінювання вдт, пеом;
- можливість ураження електричним струмом;

- механічні шуми, які пов'язані з роботою принтера і вентиляційної системи комп'ютера;
- значна втомлюваність;
- тривале перебування в одному й тому самому положенні сидячи, що викликає застійні явища в організмі людини;
- випромінювання оптичного діапазону (ультрафіолетове, інфрачервоне і випромінювання видимого діапазону);
- відблиски на екрані монітора.

Розглянемо вплив цих факторів детальніше.

7.2 Технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії

7.2.1 Організація робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

ДСТУ ISO 9241:6-2004 та ДСанПіН 3.3.2.007-98 "Державні санітарні норми і правила роботи з візуальними дисплейними (ВДТ) електронно-обчислювальних машин" встановлює норми щодо забезпечення охорони праці користувачів ПК. Дотримання вимог цих правил може значно знизити наслідки несприятливої дії на працівників шкідливих та небезпечних факторів, які супроводжують роботу з відеодисплейними матеріалами, зокрема можливість зорових, нервово-емоційних переживань, серцево-судинних захворювань [27].

Для того щоб забезпечити точне та швидке зчитування інформації в зоні найкращого бачення, площина екрана монітора виставлена перпендикулярно нормальній лінії зору. При цьому передбачена можливість переміщення монітора навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ (справа наліво) та нахилу вперед до 85° і назад до 150° з фіксацією в цьому положенні. Клавіатура розміщена на поверхні столу на відстані 100...300 мм від краю. Кут нахилу кла-

віатури до столу обрано в межах 5° до 15° так, що зап'ястя на долонях рук розташовуються горизонтально до площини столу. Таке положення клавіатури зручне для праці обома руками.

Робочі місця з ПК розташовано відносно стіни з вікнами на відстані не менше 1,5 м, від інших стін – на відстані 1 м, відстань між собою – не менше ніж 1,5 м. Причому так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски з поверхні екранів ПК передбачені сонцезахисні жалюзі.

Штучне освітлення робочого місця, обладнаного ПК, здійснюється системою загального рівномірного освітлення. Як джерело штучного освітлення мають застосовуватись люмінесцентні лампи ЛБ [28].

Вимоги до освітлення приміщень та робочих місць під час роботи з ПК.

- освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається трьома параметрами: об'єктом розрізнення – найменшим розміром об'єкта, що розглядається на моніторі ПК; фоном, який характеризується коефіцієнтом відбиття; контрастом об'єкта і фону;
- необхідно забезпечити достатньо рівномірне розподілення яскравості на робочій поверхні монітора, а також в межах навколишнього простору;
- на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні;
- в полі зору не повинно бути відблисків (підвищеної яскравості поверхонь, які світяться та викликають осліплення);
- величина освітлення повинна бути постійною під час роботи;

Тривалість регламентованих перерв під час роботи з ЕОМ становить 10 хвилин через кожну годину роботи.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомленості зорового аналізатора, для поліпшення мозкового кровообігу і запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які передбачені ДСанПіН 3.3.2.007-98.

7.2.2 Освітлення робочих місць користувачів ВДТ ПЕОМ

Штучне освітлення, а саме відсутність у спектрі ламп денного світла й ламп накаливання біологічної активної ультрафіолетової недостатності, при якій знижується бактерицидні властивості шкіри та імунітету.

Істотне значення для збереження тривалої працездатності, підвищення продуктивності праці має забезпечити норм освітленості на робочому місці.

Величина освітленості регламентується нормами ДБН В.2.5-28-2006. Робоче приміщення належить до I групи – приміщення, у яких розрізнення об'єктів зорової роботи здійснюється при фіксованому напрямку лінії зору працюючих на робочу поверхню.

Нормування штучного освітлення також здійснюється згідно ДБН В.2.5-28-2018. Для загального освітлення використовують головним чином люмінесцентні лампи, що обумовлено їхніми перевагами. Для розрахунку штучного освітлення застосовують метод коефіцієнта використання потоку:

$$\Phi = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot C}, \quad (7.1)$$

де Φ – світловий потік; E – нормована мінімальна освітленість; K – коефіцієнт запасу; S – освітлювальна площа; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення; C – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками світлового потоку на розрахунковій площі; N – число світильників.

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 визначаємо норму освітленості:

$$E = 300 \text{ лк}; K = 1,5; S = 5 \cdot 4 = 20 \text{ м}^2; Z = 1,2.$$

Необхідна кількість люмінесцентних ламп визначається по формулі:

$$N = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{\Phi \cdot C}.$$

(7.2)

Найбільш прийнятним для приміщення є люмінесцентні лампи ЛД (денного світла) потужністю 40 Вт. Нормальний світловий потік лампи ЛД-40 дорівнює $\Phi = 2340$ лм. Величиною i , індексом приміщення можна встановити залежність від площі приміщення й висоти підвісу:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

(7.3)

де $A = 5$ м – довжина приміщення; $B = 4$ м – ширина приміщення; h – висота підвісу;

$$h = H - h_p - h_c,$$

(7.4)

де $H = 3,5$ м – висота приміщення; $h_p = 0,8$ м – висота робочої поверхні; $h_c = 0,4$ м – висота від стелі до нижньої частини лампи;

$$h = 3,5 - 0,8 - 0,4 = 2,3 \text{ м};$$

$$i = \frac{4 \cdot 5}{2,3 \cdot (4 + 5)} = 0,97.$$

Коефіцієнт використання світлового потоку на розрахунковій площі $C = 0,3$.

У підсумку число світильників вийде рівним:

$$N = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 20 \cdot 1,2}{2340 \cdot 0,3} = 1,5.$$

Для штучного освітлення в робочому приміщенні достатньо використовувати 2 люмінесцентні лампи денного світла ЛД-40, зі світловим потоком $\Phi = 2340$ лм кожна.

7.2.3 Виробничий шум

Допустимі шумові характеристики на робочих місцях регламентуються ДСН 3.3.6.037-99.

Зовнішні джерела шуму відсутні. Джерелами шуму в приміщенні є персональні комп'ютери, телефон, принтер, кондиціонер, голоси людей і т.д.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку й еквівалентні рівні звуку на робочих місцях нормуються відповідно до ДСН 3.3.6.037-99. Загальний рівень звуку в лабораторії не перевищує 50 дБА.

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 захист від шуму в приміщенні, створеного на робочих місцях внутрішніми джерелами повинна здійснюватися наступними методами: зменшення шуму в джерелі, раціональним планування і акустичною обробкою робочого приміщення звукоізоляційними матеріалами [27].

7.2.4 Мікроклімат робочої зони

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря й інтенсивністю теплового випромінювання на робочому місці, температурою поверхні.

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99 встановлюють оптимальне й припустиме значення параметрів мікроклімату залежно від періоду року й категорії робіт. У таблиці 7.1 наведені оптимальні й припустимі

значення параметрів мікроклімату для категорій тяжкості робіт «Іа» (роботи, виконувані сидячи й не потребуючі фізичної напруги при втраті енергії не більше 120 ккал/година).

Таблиця 7.1 — Оптимальні й допустимі параметри (для постійного робочого місця) мікроклімату в приміщенні.

Параметри	Холодний період		Теплий період	
	оптимальні	Допустимі	оптимальні	допустимі
Температура θ °C	22-24	21-25	23-25	22-28
Відносна вологість, %	40-60	80	40-60	75
Швидкість руху повітря, м/с	0,1	0,1	0,1	0,1-0,2

У приміщенні використовується 6-ти секційна чавунна батарея центрального опалення для підтримки нормальної температури повітря в холодну пору року. Також є кондиціонер для підтримки постійної температури в приміщенні.

Для підтримки необхідних параметрів повітря в приміщенні використовується природня вентиляція. У приміщенні є вікно, яке можна відкривати, якщо буде потреба в теплий період і кватирка – відкривається в холодний період. Шкідливі речовини в приміщенні не зберігаються й не використовуються.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042-99 [27].

7.3 Електробезпека

Згідно ПУЕ науково-дослідницька лабораторія відноситься до приміщень без підвищеного ризику ураження персоналу електричним струмом. Електроустаткування належить до 1000 В. Устаткування, що використовується, відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 “Захист проти ураження електричним струмом” належить до устаткування класів 0I, I та II за електрозахистом.

У процесі експлуатації електронно-обчислювального обладнання людина може доторкнутися до частин електроустаткування, які перебувають під напругою. Оцінка небезпеки дотику до струмоведучих частин відноситься до визначення струму, що протікає через тіло людини, і порівняння його із допустимим значенням відповідно до ПУЕ - 2018. У загальному випадку допустима величина струму, що протікає через тіло людини, залежить від схеми підключення електроустаткування до електромережі, роду й величини напруги живлення, схеми включення.

При виконанні розрахунків для бакалаврського проекту використовувалася персональний комп'ютер – (системний блок, монітор) I і II клас за електрозахистом, що живиться напругою 220 В. Для правильного визначення необхідних засобів та заходів захисту від ураження електричним струмом необхідно знати допустимі значення напруги дотику та струмів, що проходять через тіло людини [29].

Гранично допустиме значення дотику в залежності від часу дії струму приведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 — Гранично допустиме значення дотику в залежності від часу дії струму

t, сек	До 0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1-5
--------	--------	-----	-----	-----	-----	-----

$U_{\text{Доп.дот, В}}$	500	400	200	130	100	65
-------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	----

Основними технічними засобами, що забезпечують безпеку робіт (згідно ДСТУ ІЕС 61140:2015 “Захист проти ураження електричним струмом”) є: надійна ізоляція, захисне заземлення, занулення, захисне відключення, засоби індивідуального захисту. У системі трифазних мереж із глухо заземленого нейтралю, яка використовується у науково-дослідницькій лабораторії, найкращими засобами захисту є: надійна ізоляція струмоведучих частин електроустаткування відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 і занулення відповідно до ПУЕ (з’єднання елементів, що перебувають під напругою, із глухо заземленою нейтраллю). Крім того, для заземлення переносних частин обладнання застосовують спеціальне з’єднання [27].

7.3.1 Розрахунок захисного відключення електромережі

При аварійному режимі роботи електрообладнання повинне спрацювати захисне відключення електромережі. Виконуємо розрахунок ланцюга захисного відключення фазного проводу при короткому замиканні (КЗ). Струм КЗ можна обчислити за формулою:

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{U_{\text{Ф}}}{R_{\text{Н}} + R_{\text{Ф}} + Z_{\text{ТР}}}, \quad (7.5)$$

Де $U_{\text{Ф}} = 220 \text{ В}$ – напруга фазного проводу; $R_{\text{Н}} = 2,4 \text{ Ом}$ – опір нульового проводу; $R_{\text{Ф}} = 3 \text{ Ом}$ – опір фазного проводу; $Z_{\text{ТР}} \cong 0,1 \text{ Ом}$ – еквівалентний опір трансформатора.

$$I_{\text{КЗ}} = \frac{220}{2,4+3+0,1} = 40 \text{ А.}$$

Струм спрацьовування автоматів захисту з електромагнітним розпилювачем повинен бути в 1,4 рази менше струму короткого замикання необхідне

при струмі до 100 А. Знайдемо номінальне значення струму спрацювання автомату максимального струмного захисту.

$$I_{\text{СПР}} = \frac{40}{1,4} \leq 28,6 \text{ А.}$$

Таким чином, струм спрацювання автомата повинен бути менше 28,6А. Автомати встановлені в робочому приміщенні мають струм спрацювання 20 А, що задовільняє дану вимогу. Розрахуємо напругу дотику до корпусів електрообладнання при короткому замиканні:

$$U_{\text{ДОТ}} = I_{\text{КЗ}} \cdot R_0 = 40 \cdot 2,4 = 96.$$

Відповідно до ПУЕ - 2018, щоб ця напруга була безпечна для людини, необхідно використовувати автомати максимального струмового захисту у яких час спрацювання менше 0,7 с.

А Автомати максимального струмового захисту, встановлені у науково-дослідницькій лабораторії задовольняють цим умовам ($I_{\text{СПР}} = 20 \text{ А}$, $T_{\text{СПР}} < 0,4 \text{ с.}$).

Із проведених розрахунків видно, що у науково-дослідницькій лабораторії основним захистом від поразки електричним струмом є занулення та застосування пристроїв максимального струмового захисту.

7.4 Заходи щодо поліпшення умов праці в науково-дослідницькій лабораторії

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок про доцільність застосування повторного заземлення нульового проводу електромережі, що дозволяє зменшити напругу дотику, як при нормальному так і при аварійному режимах роботи електрообладнання.

7.4.1 Розрахунок повторного заземлення нульового дроту

Згідно з проведеними розрахунками для забезпечення максимальної напруги на корпусах електрообладнання менше 36 В необхідно використовувати повторне заземлення за еквівалентом $R < 4 \text{ Ом}$.

Оберемо тип заземлення – вертикальні електроди – стрижні довжиною 4 м і діаметром $d=0,01 \text{ м}$. Питомий опір ґрунту $\rho=100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (для суглинку). З урахуванням кліматичного коефіцієнта $\Phi=2$, маємо:

$$\rho_{\text{РОЗРАХ}} = \rho \cdot \Phi = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Визначимо опір розтікання струму заземлювачів:

$$R_{1в} = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left[\ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4t+L}{4t-L}\right) \right], \quad (7.6)$$

де $\rho = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$; $L = 4 \text{ м}$; $d = 0,01 \text{ м}$; $t = 4 \text{ м}$.

Підставивши числа, маємо:

$$R_{1в} = \frac{200}{2\pi \cdot 4} \cdot \left[\ln\left(\frac{2 \cdot 4}{0,01}\right) + 0,5 \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 4 + 4}{4 \cdot 4 - 4}\right) \right] = 55,2 \text{ Ом}.$$

Таким чином, опір штучного заземлювача більше нормованого значення, тому необхідно паралельно з'єднати декілька однотипних заземлювачів:

$$R_{зв\Sigma} = \frac{R_1}{n \cdot \eta_E}, \quad (7.7)$$

де $\eta_E = 0,5$ – коефіцієнт, що враховує взаємне екранування заземлювача; $n = 20$; $L/a=1$ (a – відстань між заземлювачами), заземлювачі розташовані по контуру.

$$R_{зв} = 5,52 \text{ Ом}.$$

Довжина сполучної смуги:

$$L_{\text{СПОЛ}} = a \cdot n = 4 \cdot 20 = 80 \text{ м.}$$

Ширина смуги 0,02 м, а відстань від смуги до поверхні землі 1 м. Тоді опір розтікання струму сполучної смуги:

$$R_{\Pi} = \frac{\rho}{2\pi L_{\text{СПОЛ}}} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_{\text{СПОЛ}}^2}{B_{\text{СПОЛ}} \cdot H_{\text{СПОЛ}}} \right) = \frac{200}{2\pi \cdot 80} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 80^2}{0,01 \cdot 1} \right) = 5,32 \text{ Ом.}$$

З урахуванням коефіцієнта користування смуг $\eta_{\Pi} = 0,8$:

$$R_{\Pi} = \frac{R_{\Pi}}{\eta_{\Pi}} = 6,65 \text{ Ом.}$$

Еквівалентний опір заземлювача складається з паралельно включених R_{Π} і $R_{\text{ЗВ}}$:

$$R_{\text{ЕКВ}} = \frac{R_{\Pi} \cdot R_{\text{ЗВ}\Sigma}}{R_{\Pi} + R_{\text{ЗВ}}} = \frac{5,52 \cdot 6,65}{5,52 + 6,65} = 3,1 \text{ Ом.}$$

Отримане значення опору заземлювача отримали менше гранично допустимого $R_{\text{Д}}$.

7.5 Безпека в надзвичайних ситуаціях

БНС регламентується ПЛАС. Одним з основних складових ПЛАС є розробка технічних та організаційних рішень щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу лабораторії у надзвичайних ситуаціях, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

7.5.1 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення виробничого персоналу в разі виникнення надзвичайної ситуації

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2009 [28].

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації. Шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншими явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків «Вихід»;
- ввімкнення евакуаційного освітлення та світлових покажчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС, не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС.

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам ДБН В.2.5-56-2014.

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків «Вихід» приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення».

СО в режимі «Тривога» повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менш 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднані.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з ПУЕ від двох незалежних джерел енергії: основного – від мережі змінного струму, резервного – від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі «Тривога» має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 «Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежі звукові».

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць [27].

7.6 Пожежна безпека

У науково-дослідницькій лабораторії знаходиться значна кількість твердих горючих речовин і матеріалів (дерев'яні меблі, пластмасові вироби, гума, папір, що поглинає покриття на стінах). Згідно ДСТУ Б.В.1.1-7-2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою», науково-дослідницька лабораторія відноситься до пожежонебезпечних приміщень категорії В (тверді горючі й важ-

когорючі речовини й матеріали, речовини й матеріали, які при взаємодії з водою, киснем, повітря або один з одним здатні тільки горіти).

Згідно з класифікацією робочих зон відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 “Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою” робочих зон науково-дослідницької лабораторії, які відносяться до зон класу П-Па – пожежонебезпечне, що містять тверді горючі речовини, нездатні переходити у зважений стан [27].

Джерелами загоряння можуть бути електричні іскри, коротке замикання, перевантаження електропроводки, несправність апаратури, паління в приміщенні. Тому для запобігання пожежі в приміщенні проводяться пожежно-профілактичні заходи: застосування запобіжників в електричних мережах, використання пилонепроникних сполучних і розподільних коробок, а також проводиться інструктаж з техніки пожежної безпеки.

Відповідно до ДСТУ 3675-98 та ISO 3941-2007 у науково-дослідницькій лабораторії знаходяться два вогнегасника: вуглекислотний типу «ВВ-5» і порошковий «ВВ-5» розташований на висоті 1,5 м від підлоги поруч із вихідними дверима [28].

У коридорі знаходяться коробки, у яких знаходяться пожежний кран і рукав, а також знаходиться вогнегасник типу «ВХП-2». В обох кінцях коридору знаходяться телефонні апарати для виклику внутрішньої, а також, якщо потрібно, міської пожежної охорони.

У науково-дослідницькій лабораторії є план евакуації у випадку виникнення пожежі. Дотримано усі вимоги СНиП 2.09.02-85 по вогнестійкості бу-

динку і ширині евакуаційних проходів та виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

У робочому приміщенні виконані всі вимоги НАПБ А.01.001-2014 «Правил пожежної безпеки України».

Таким чином, у науково-дослідницькій лабораторії забезпечуються технічні та організаційні рішення з пожежної безпеки.

8 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Даний розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

8.1 Опис ідеї проекту

В межах цього підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 8.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка пристрою електроживлення на елементах Пельтьє	Газоочисні установ- ки	Надійний пристрій додаткового електроживлення за низькою ціною, та з високими технічними характеристиками, що може працювати у великому спектрі зовнішніх умов
	Опалювальні котли	

Перевагою розроблюваного ТЕГ є:

- висока надійність;
- дешевизна та мала вага пристрою;
- технічні характеристики;
- доступність для замовленн;

– широка сфера використання.

8.2 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проведемо аналіз ринкового середовища: складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 8.2, 8.3).

Таблиця 8.2 — Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Винайдення нових топологій	Реалізація нового типу топологій призведе до неактуальності реалізації силових частини плати, а відповідно і пристрою.	Проведення модернізації пристрою
2	Неактуальність елементної бази	Внаслідок швидкого розвитку ринку, елементна база через деякий час, стане не актуальною	Заміна елементної бази

Таблиця 8.3 — Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Збільшення часу роботи в екстремальних умовах, за рахунок модернізації корпусу пристрою	Зміна методу кріплення корпусу, використання сучасніших модулів Пельтьє можливість підвищити час роботи в екстремальних для приладу умовах.	Розроблення даного функціоналу

Проведемо аналіз пропозиції: визначимо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 8.4).

Таблиця 8.4 — Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції — монополістична	Існує декілька виробників, які займають майже весь ринок	Значний
За рівнем конкурентної боротьби — національне	Дане підприємство відоме на території CIS регіону	Значний
За галузевою ознакою — внутрішньогалузева	Конкуренція відбувається в рамках однієї галузі	Значний
За характером конкурентних переваг — цінова	Товар даного підприємства має високу вартість	Значний

За результатами аналізу можна зробити висновок, що працювати на даному ринку можна, незважаючи на конкурентну ситуацію. Для поширення продукту він повинен володіти факторами, які відрізняють його від існуючого конкурента. Перелічимо фактори конкурентоспроможності (табл. 8.5).

Таблиця 8.5 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ефективність	Дана розробка найбільш ефективна за рахунок використання власної реалізації конструкції ТЕГ
2	Універсальність	Можливість використання пристрою в різних сферах та за різних температурних умов
3	Ціна	Пристрій є дешевшим ніж конкуруючі ТЕГ

Проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 8.6).

Таблиця 8.6 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентос- проможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів – конкурентів у порів- нянні з проектом, що розробляється						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ефективність	20							✓
2	Універсальність	17							✓
3	Швидкодія	15							✓

Проведемо SWOT-аналіз стартап-проекту (табл. 8.7).

Таблиця 8.7 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: ефективність; універсальність; швидкодія;	Слабкі сторони: невідома компанія; Відсутність стартового капіталу;
Можливості: розширення функціона- лу завдяки новим тех- нологіям;	Загрози: Пристрої розроблені протягом на- ступних 5-10 років;

З огляду на SWOT-аналіз можна прийти до висновку що нема потреби розробляти альтернативи ринкового впровадження цього проекту.

8.3 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає ви-
значення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп по-
тенційних споживачів (табл. 8.8).

Таблиця 8.8 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Газоочисні установки та опалювальні котли	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко
2	Підприємства які потребують модернізувати і підвищувати ефективність виробництва	Готові	Високий	У сегменті не значна конкуренція	Легко
Які цільові групи обрано: компанії промислові підприємства, які використовують технологічне обладнання					

Для роботи в обраних сегментах ринку сформулюємо базову стратегію розвитку (табл. 8.9).

Таблиця 8.9 — Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія ринку
1	Диференційований маркетинг	Ефективність, універсальність, швидкодія	Стратегія спеціалізації

Виберемо конкурентну поведінку (табл. 8.10).

Таблиця 8.10 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопроходцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Так	Ні	Заняття конкурентної ніші

Розробимо стратегію позиціонування, що полягає формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект (табл. 8.11).

Таблиця 8.11 — Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Універсальність використання	Впровадження в вузькоспеціалізованих сферах	Надійність, швидкодія, ефективність, ціна, розміри	Немає

8.4 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Сформуємо маркетингову концепцію товару, який отримає споживач (табл. 8.12), та опишемо три рівні моделі товару (табл. 8.13).

Таблиця 8.12 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги над конкурентами
1	Робота приладу у високих діапазонах температур	Мобільність, швидкодія та ефективність	Ціна, широка сфера використання, надійність

Таблиця 8.13 — Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
1. Товар за задумом	Пристрій автономного електроживлення на елементах Пельтьє
2. Товар у реальному виконанні	1. Ефективність
	2. Універсальність
	3. Швидкодія
	Якість: висока
	Пакування: коробка з голубом
3. Товар із підкріпленням	Марка: TEG GTP1
	До продажу: 01.01.2057
	Після продажу: невідомо

Товар буде захищатися від копіювання маркою бренду.

Визначимо цінові межі, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на товар (табл. 8.14).

Таблиця 8.14 — Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари- замінники	Рівень цін на то- вари-аналоги	Рівень дохо- дів цільової групи спожи- вачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	До 1 рис. ум. од.	До 1 тис ум. од.	Високий	300 – 1000 ум. од.

Визначимо оптимальну систему збуту (табл. 8.15).

Таблиця 8.15 — Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупі- вельної поведін- ки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати пос- тачальник товару	Глибина ка- налу збуту	Оптимі- альна сис- тема збуту
1	Невідома	Інтернет - магазин	Невідома	Інтернет- магазин

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки на ринку є попит на таку продукцію.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання підсумкової роботи отримано такі результати:

1. Проведений аналіз ринку і способів використання термоелектричних генераторів показав, що найперспективнішою сферою їх застосування є газочисні установки, де окрім отримання безкоштовної електричної енергії, вирішується завдання додаткового охолодження газів, що зменшує витрати на експлуатацію ГОУ.
2. Досліджено залежність потужності модуля Пельтьє в режимі генератора від різниці температур, що показала доцільність реалізовувати даний пристрій за умови найбільших різниць температур та високоякісного охолодження.
3. Запропонована розробка пристрою автономного електроживлення дозволяє отримати високу ефективність генерації, а також забезпечує рівномірне відведення тепла з холодної сторони модулів Пельтьє.
4. Реалізована модель пристрою автономного електроживлення має стандартні характеристики вихідної потужності для заряджання практично будь-якої сучасної апаратури з USB-роз'ємами і може бути використана для живлення малопотужних датчиків та споживачів, що обслуговуються поряд з місцем встановлення.
5. Комп'ютерний експеримент, проведений у програмному середовищі ANSYS, дозволяє встановити найефективніші режими генерації, і, відповідно, дає можливість оптимізації конструкції, зменшення втрат та підвищення ефективності пристрою. Подальше дослідження вимагає більш глибоких розрахунків з урахуванням більшої кількості параметрів середовища. За результатами моделювання максимальна потужність одного модуля (за умови, коли

опір навантаження дорівнює внутрішньому опору генератора $R_H = R_{BH}$, а різниця температур: $\Delta T = 180^\circ C$), вийшла $P \approx 5$ Вт. За використання одразу 4 модулів (попередні умови максимізації зберігаються), сумарна потужність модулів складе $P_\Sigma \approx 20$ Вт. Тому при введенні в експлуатацію даної установки в місцях, де її робота буде відбуватися за вище згаданих умов, є можливість встановлення 4 підсилюючих перетворювачів для одночасного живлення споживачів від 4 USB-роз'ємів. Однак такий градієнт температур на сторонах модулів складно реалізувати через конструктивні обмеження і неідеальність зовнішніх умов, що будуть негативно впливати на ефективність ТЕГ, тому в даній розробці використані лише два такі перетворювачі.

6. Для можливості подальшої реалізації даного приладу був створений варіант тривимірної моделі автономного пристрою живлення в програмному комплексі Autodesk Inventor. Отримана модель технологічна. Кожен окремий випадок встановлення ТЕГ потребує додаткових розрахунків розмірів, що залежать від діаметру труби газоходу та діаметру труби радіатора охолодження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Глейзер, А. И. (2009). Поршневой двигатель с внутренней рекуперацией энергии выхлопных газов. Известия Московского государственного технического университета МАМИ, 1 (2), 52-56.
2. Термоэлектричество [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/TERMOELEKTRICHESSTVO.html — назва з екрану.
3. Термоэлектрические источники активного электропитания [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/e.pdf> — назва з екрану.
4. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://kryothermtec.com/assets/dir_2attz/e.pdf — назва з екрану.
5. Современные решения термоэлектрического охлаждения для радиоэлектронной, медицинской, промышленной и бытовой техники [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.kit-e.ru/articles/powerel/2009_12_120.php — назва з екрану.
6. Коэффициент Томсона [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://temperatures.ru/pages/koeffitsient_tomsona — назва з екрану.
7. Эффект Томсона [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%A2%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B0 — назва з екрану.
8. Термоелектричні явища та пристрої з позицій узагальненої моделі транспорту електронів / Ю. О. Кругляк, М. В. Стріха // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології. - 2015. - Т. 12, № 4. - С. 5-18. — Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/seimt_2015_12_4_3.

9. Шостаковский П.Г. Современные термоэлектрические источники питания электронных устройств / П.Г. Шостаковский // Компоненты и технологии. - 2015. - Т. 1, №1. - С. 14-19.
10. BMW provides an update on waste heat recovery projects; Turbosteamer and the Thermoelectric Generator [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.greencarcongress.com/2011/08/bmwthermal-20110830.html> — назва з екрану.
11. Электрогенерирующая печь TMF ИНДИГИРКА [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://tmf-shop.ru/collection/otopitelnye-pechi/product/indigirka-2> — назва з екрану.
12. Технология BioLite. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://biolite—russia.ru> — назва з екрану.
13. Тимофеев Виталий Никифорович, Тихонов Николай Федорович (2016). Использование термоэлектрических генераторов в условиях удаленных от постоянного электроснабжения. European science, (3 (13)), 26-30.
14. Гнусин П.И. (2016). Исследование эффективности элемента Пельтье при различных режимах работы. Видеонаука, (1 (1)), 20-27.
15. TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf> — назва з екрану.
16. Small package pfm control step-up DC/DC converter CE8301 series. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.mpja.com/download/ce830.pdf> — назва з екрану.
17. Литиевый аккумулятор 18650 3.7V SZNS 2600мАч [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://sobike.com.ua/p573408144-litievyyj-akkumulyat-or-18650.html> — назва з екрану.

18. Методи виготовлення друкованих плат [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://obrobka.pp.ua/3354-metodi-vigotovlennya-drukovanih-plat.html> — назва з екрану.
19. Конструювання радіоелектронних засобів [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://kost.in.ua/files/000218.pdf> — назва з екрану.
20. Спецификация генераторного термоэлектрического модуля ТГМ-127-1.0-1.0 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://kryothermtec.com/assets/dir2attz/ru/TGM-127-1.0-1.0_rus.pdf <http://kost.in.ua/files/000218.pdf> — назва з екрану.
21. Низкотемпературные генераторные модули [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://kryothermtec.com/ru/low-temperature-generating-modules.html> — назва з екрану.
22. В. Прокофьева, Д.А. Пшенай-Северин, П.П. Константинов, А. А. Шабалдин, Оптимальный состав твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_3\text{-xSb}_x$ для n-ветви термогенератора. Физика и техника полупроводников, - 2009. том 43, вып. 8, с.1009-1012.
23. Yang J. Effect of processing parameters on thermoelectric properties of p-type $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0.25}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{0.75}$ prepared via BMA-HP method / J. Yang, T. Aizawa, A. Yamamoto, T. Ohta // Materials chemistry and physics. - 2001. - Vol. 70, N. 1. -pp.90-94.
24. Kadhim A. Electrical characterization of thermoelectric generators based on p-type $\text{Bi}_{0.4}\text{Sb}_{1.6}\text{Se}_{2.4}\text{Te}_{0.6}$ and n-type $\text{Bi}_2\text{Se}_{0.6}\text{Te}_{2.4}$ bulk thermoelectric materials / A.Kadhim, A. Hmood, H. Abu Hassan // Materials Letters. - 2013. - Vol. 97,pp.24-32.
25. Коротков А.С., Лобода В. В. Моделирование и экспериментальное исследование термоэлектрических генераторов (научная статья). Электронная техника. Серия 3. Микроэлектроника. - 2016. - 1(161). - С. 54.

26. Симкин, А. В., Бирюков, А. В., Репников, Н. И., & Ховайло, В. В. (2015). Термоэлектрическая эффективность низкотемпературных генераторных материалов, возможности ее повышения. Вестник Челябинского государственного университета, (7 (362)), 21-29.
27. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів ДНАО-ПО.00-121-98 --1С Основа, 1998. - 380 с.
28. Вимоги безпеки до електричного устаткування для вимірювання, керування та лабораторного застосування. Частина 1. Загальні вимоги ІЕС 61010-1:2005 - К.: Держспоживстандарт України, 2008 — 6 с.: табл. (Національний стандарт України).

ДОДАТОК А**Технічне завдання**

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіоконструювання та виробництва радіоапаратури

ПОГОДЖЕНО

Науковий керівник,
старший викл.

_____Ю.В.Непочатих

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КіВРА,
д.т.н., професор

_____Є.А.Нелін

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ**

Пристрій автономного електроживлення на основі елементів Пельтьє /

Autonomous power supply device based on Peltier elements

Київ 2019

1. ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Підставою для виконання дипломної роботи є завдання видане кафедрою радіоконструювання та виробництва радіоапаратури радіотехнічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» наказ №__ від «__» _____ 2019 р.

Термін виконання

Початок — 10.09.2018 р.

Закінчення — 18.12.2019 р.

2.МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

Метою роботи є розробка пристрою автономного живленн на основі елементів Пельтьє.

2.1. Об'єкт та предмет дослідження

Об'єкт дослідження: пристрій автономного електроживлення на основі елементів Пельтьє.

Предмет дослідження: конструкція та характеристики пристрою.

2.2. Задачі, які потребують вирішення

1. Розробити схему принципову для функціонування пристрою.
2. Розробити макет 3D моделі пристрою в середовищі Autodesk Inventor.
3. Провести моделювання, в результаті якого відбудеться: порівняння різних температурних режимів роботи елементів Пельтьє, аналіз ефективності використання елементів в кожному із них та буде обрано найкращий варіант.

3.ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kanimba E. Modeling of a Thermoelectric Generator Device/ Zhiting Tian. — Intechopen.com — 2016.

2. Лобунець Ю.М. ТЕГ теплообмінного типу для суднових силових установок. — Термоелектрика — 2014.

4.ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дослідити методи розрахунку температур в елементах Пельтьє.
2. Ознайомитись зі сферами застосування термоелектричних генераторів.
3. Провести моделювання теплообміну термоелектричної комірки елемента Пельтьє та за розробити модель пристрою.
4. Проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

5.ЕТАПИ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ТЕРМІН ВИКОНАННЯ

Етап роботи	Зміст етапу	Термін виконання
Вибір напрямку дослідження	Пошук та аналіз літератури. Розроблення, погодження та затвердження ТЗ.	Травень 2019 року
Теоретичні та експериментальні дослідження	Теоретичні розрахунки. Проведення експериментальних робіт та досліджень (комп'ютерні розрахунки). Обробка результатів. Складання висновків за результатами досліджень.	Червень 2019 року — вересень 2019 року
Узагальнення і	Узагальнення результатів тео-	Вересень —

оцінювання результатів та складання звітної документації	ретичних і експериментальних робіт. Оцінювання повноти і якості поставлених завдань. Підготовка комплекту звітної документації.	листопад 2019 року
Захист дисертації	Представлення дисертації кафедрі. Попередній захист. Захист перед екзаменаційною комісією.	Грудень 2019 року

6.ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Огляд існуючих рішень.
2. Вибір схемотехнічних рішень та теоретичні розрахунки.
3. Термоелектричні моделювання та 3D модель отриманого пристрою.
4. Порівняння результатів за різних вхідних умов.

7.МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДІЮТЬ ПІД ЧАС ЗАКІНЧЕННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Завдання на магістерську дисертацію.
2. Технічне завдання.
3. Пояснювальна записка.
4. Електронна презентація.

8.ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ЇЇ ЕТАПІВ

1. Поетапне узгодження з керівником.
2. Представлення кафедрі.

3. Попередній захист.
4. Захист перед екзаменаційною комісією.

9.ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАЛЬНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

1. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання.
2. ДСТУ 3973-2000. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Правила виконання науково-дослідних робіт. Загальні положення.

10.ПРИБЛИЗНИЙ ЗМІСТ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДЕСЕРТАЦІЇ

1. Аналіз існуючих рішень
2. Вибір та розробка схемотехнічних рішень
3. Виконання теоретичних розрахунків
4. Термоелектричні моделювання та 3D модель отриманого пристрою
5. Порівняння результатів за різних вхідних умов
6. Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
7. Розробка стартап проекту
8. Висновки

Виконавець:

Міщень Д.В.

(підпис)