

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

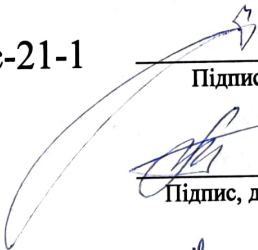
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

РОЗРОБКА ПОРТАТИВНОГО  
ТЕРМОГЕНЕРАТОРА

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу група ЕТЗс-21-1

  
Підпис

Нестерук С.В.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

Лісевич С.П.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Стурдук С.І.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.  
Ініціали, прізвище

17 06 2024 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

11. 01. 06 .2024

## ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**Нестерук Сергій Володимирович**

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка портативного термогенератора**  
керівник роботи **Лісевич С.П. старший викладач**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 17.06.24

3. Вихідні дані до роботи: **типові пристрої термогенераторів, технічні характеристики та особливості роботи термоелементів та пристроїв охолодження термоелементів**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

**1 Огляд та аналіз термоелектричних явищ та технічних рішень з вживанням термоелектричного ефекту**

**2 Розробка портативного термогенератора на базі елементів Пельтьє**

**3 Розрахунки технічних та технологічних параметрів роботи портативного термогенератора, що підтверджують його працездатність**

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

**Аркуш 1. Принцип роботи елементів Пельтьє. Документ технологічний.**

**(A1). Аркуш 2. Термогенератори на елементах Пельтьє. Документ оглядовий. (A1).**

**Аркуш 3. Схема технологічна комбінована**

**портативного термогенератора (A1). Аркуш 4. Схема електрична**

**портативного термогенератора. (A1). Аркуш 5. Портативний**

**термогенератор. Складальне креслення (A1).**

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1 Огляд та аналіз термоелектричних явищ та технічних рішень з вживанням термоелектричного ефекту	05.05.23р.	
2 Розробка портативного термогенератора на базі елементів Пельтьє	20.05.23р.	
3 Розрахунки технічних та технологічних параметрів роботи портативного термогенератора, що підтверджують його працездатність	20.06.23р.	

Студент

Підпис

С.В. Нестерук

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

С.П. Нісєв

Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до бакалаврської роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Нестерук Сергій Володимирович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка портативного термогенератора
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента \_\_\_\_\_
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень \_\_\_ арк., сторінок записки \_\_\_

5. Ця робота присвячена розробці портативного термогенератора для генерації електричної енергії для живлення малопотужних побутових пристроїв в умовах відсутності централізованого електропостачання.

У роботі описується розробка та реалізація конструкція даного портативного термогенератора для генерації електричної енергії.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз сучасних термогенераторних пристроїв, що використовуються для генерації електричної енергії. В другому здійснюється складання структурної та функціональної схеми роботи портативного термогенератора. Здійснено детальний опис усіх компонентів, що входять до складу портативного термогенератора. Розроблено конструкцію, що складається з термоелементів Пельтьє. Розроблено систему відводу тепла від термоелементів. Розроблено електричну схему портативного термогенератора

В третьому розділі здійснено технічні та технологічні розрахунки параметрів роботи портативного термогенератора, що підтверджують його працездатність. Зокрема, проведено випробування пристрою із зазначенням параметрів генерації електричної енергії, та струму, що виникає під час генерації.

Підпис студента \_\_\_\_\_

« 14 » 06 2024 р.

### РІШЕННЯ ЕК

Протокол №2 від «26» 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК Виглядає А

Рекомендації ЕК визначити в кваліфікаційний процес

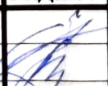


Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар \_\_\_\_\_

« 26 » 06 2024 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз термоелектричних явищ та технічних рішень з вживанням термоелектричного ефекту .....	8
1.1 Огляд термоелектричних явищ та термоелектричних перетворень енергії .....	8
1.2 Огляд та аналіз технічних рішень із застосуванням термоелектричного ефекту.....	10
2 Розробка портативного термогенератора на базі елементів Пельтьє.....	23
2.1 Розробка структурної та функціональної схеми роботи портативного термогенератора .....	23
2.2 Розробка конструкції портативного термогенератора .....	26
2.3 Розробка системи відводу тепла від термоелементів.....	34
2.4 Розробка електричної схеми портативного термогенератора	38
2.5 Загальне компонування портативного термогенератора....	41
3 Розрахунки технічних та технологічних параметрів роботи портативного термогенератора, що підтверджують його працездатність .....	46
3.1 Основні вирази та співвідношення для визначення параметрів портативного термогенератора.....	46
3.2 Методика проведення випробувань портативного термогенератора .....	48
Висновки.....	52
Перелік джерел інформації .....	53
Додатки.....	55

БРМА 24.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка портативного термогенератора	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав	Нестерук					y		
Перевір.	Лісевич							
Н.контр.						ХНУ, гр. ЕТЗс-21		
Затвер.	Поліщук							

## ВСТУП

Використання термоелектричної енергії є перспективним технологічним напрямком, заснованим на перетворенні теплової енергії в електричну без використання машин і спрямованим на використання термоелектричного ефекту. Термоелектричні перетворювачі енергії мають багато важливих переваг. До них відносяться відсутність рухомих частин, можливість роботи без обслуговування, автономність роботи, стійкість до екстремальних навантажень.

Ці властивості термоелектричних джерел енергії забезпечують їх успішне використання, особливо в космічній та оборонній техніці, а також у повсякденному побутовому використанні.

Термоелектричний перетворювач (термогенератор) — пристрій, що перетворює теплову енергію в електричну за допомогою явища термоелектричного ефекту. Основний принцип роботи заснований на тому факті, що на межі розділу між двома різними напівпровідниками виникає напруга, коли існує різниця температур.

Існують зразки нагрівальних елементів, які довели свою ефективність у вирішенні різноманітних завдань виробництва електроенергії. Ефективним прикладом такої реалізації є електропостачання систем катодного антикорозійного захисту магістральних газо- і нафтопроводів у різних віддалених місцях. Нагрівальні елементи на зрідженому газі використовуються як автономні джерела живлення для автоматичних вимірювальних станцій, систем бездротового зв'язку СВЧ, річкових і морських сигнальних вогнів і маячків, автономних джерел живлення дорожньої сигналізації, а також як джерела аварійного живлення обладнання та обладнання медичних установ.

Перспективним є використання ТЕНів в системах опалення. Наявність в такій системі теплогенератора дозволяє не тільки жити охоронну автоматизацію, а й дає можливість автоматизувати і здійснювати точний контроль і регулювання різних параметрів системи. Теплогенератор також можна використо-

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

увати в поєднанні з теплогенераторами для створення нових джерел тепла. Вони спрямовані на використання тепла з високим потенціалом і перетворення його в електричну енергію. При цьому низькопотенційне тепло продовжує використовуватися для опалення приміщень.

Таке поєднання джерел теплової та електричної енергії дає альтернативу центральному опаленню, вирішуючи проблему децентралізації опалення та підвищення його надійності. Виробництво електроенергії також має велике значення, забезпечуючи енергонезалежність і знижуючи пікове навантаження.

Важливо розвивати та популяризувати джерела струму малої потужності. Сьогодні близько третини населення Землі не має доступу до електроенергії. Тобто в ній відсутні такі блага цивілізації, як телефонний зв'язок, радіо, телебачення. Такі проблеми успішно вирішують термоелектричні джерела енергії, що працюють на рідкому та газоподібному органічному паливі.

Реалізація цих та багатьох інших можливостей із впровадженням термоелектричних генераторів в даний час ускладнена тим, що термоелектричні генератори мають високу вартість і недостатню ефективність. Тому існує нагальна потреба в дослідженні та розробці технологій, які вирішують проблему підвищення ефективності виробництва нагрівальних елементів (на даний момент близько 10%) і зниження собівартості до рівня, який підвищує рентабельність. При наявності великомасштабного генератора можливе широке практичне застосування.

Тому метою моєї роботи є розробка термоелектричний прилад – термогенератор, який забезпечував би вирішення проблем з енергозабезпечення різних віддалених об'єктів, де немає відсутні стаціонарні джерела енергії. А також дослідити процес термогенерації електричної енергії за допомогою розробленого пристрою.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИХ ЯВИЩ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕФЕКТУ

## 1.1 Огляд термоелектричних явищ та термоелектричних перетворень енергії

При роботі термоелектричного елемента можна вбачати одночасно три термоелектричні явища це: ефект Пельт'є, явище Зеебека, явище Томпсона.

Суть явища Зеебека полягає в наступному: в ланцюзі, що складений з послідовно з'єднаних різнорідних матеріалів (напівпровідників), коли місце контакту та вільні кінці цих напівпровідників мають різну температуру, виникає різниця потенціалів або іншими словами термоелектрорушійна сила (термоЕРС).

Цей ланцюг складається з двох різнорідних матеріалів - А та Б, що утворюють термопару або термоелемент. Величина термоЕРС в повній мірі залежить від фізичних властивостей матеріалів А та Б та перепаду температур спаїв  $T_1$  і  $T_2$  відповідно та вільних кінців напівпровідників.

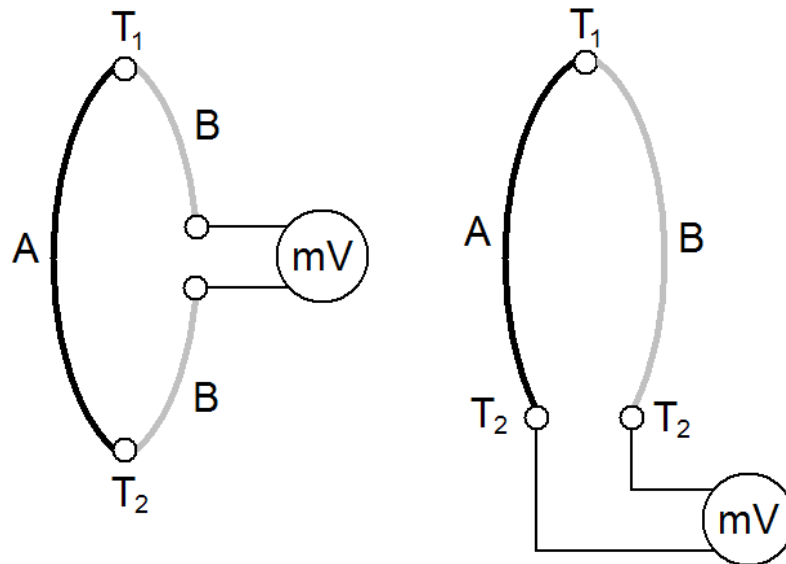


Рисунок 1.1 - Схема виникнення термоЕРС у напівпровіднику

Аналітично цю залежність можна оцінити формулою та записати:

$$E = \alpha_{1,2}(T_1 - T_2) \quad (1.1)$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де  $E$  - величина термоЕРС, мкВ;  $\alpha_{1,2}$  - коефіцієнт термоЕРС, що дорівнює різниці потенціалів, що приходиться на  $1^\circ\text{C}$ , різниці температур холодного та гарячого спаїв відповідно;  $T_1$  і  $T_2$  - температура гарячого та холодного спаїв (або вільних кінців).

В даний час існують різні технічні рішення, принцип дії яких заснований на використанні термопар. В останні роки були розроблені та випробувані термоелектричні перетворювачі (термогенератори) з вихідною потужністю від кількох мікроват до десятків кіловат. Більшість термоелектричних генераторів призначені для так званої «малої генерації електроенергії», тобто для виробництва невеликої кількості електроенергії. Вони мають унікальні характеристики : високу надійність, абсолютну автономність, простоту використання, безшумність і довговічність. Термоелектричні генератори використовуються для живлення об'єктів, розташованих далеко від ліній електропередач, і використовуються в багатьох ситуаціях, коли термоелектричні генератори є єдиним джерелом енергії.

Перевагами термоелектричних перетворювачів є, серед іншого, відсутність рухомих частин і, як наслідок, відсутність вібрацій, а також відсутність необхідності використання рідин або газів під високим тиском. Перетворення відбувається в самому термоелектричному матеріалі.

Термоелектричний перетворювач (термоохолоджувач або термогенератор) абсолютно нешкідливий з екологічної точки зору, має тиху роботу за рахунок відсутності тертьових елементів, не характеризується вібрацією, має тривалий термін служби.

Термоелектричні перетворювачі енергії мають і інші переваги.

- можливості охолодження та обігріву.
- висока надійність компонентів (термопар).
- незалежність параметрів термоелектричного модуля від сили тяжіння та орієнтації в просторі та незначна схильність до високих механічних навантажень.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

– технічне обслуговування не потрібно.

- повна автономність.

Здатність виробляти електричну енергію за відсутності фіксованого джерела живлення. Термоелектричний генератор можна використовувати як при малих, так і при великих перепадах температур. Це особливо важливо, враховуючи, що приблизно 90% теплової енергії промислових установок і обладнання виділяється при температурах поверхні до 300°C.

## 1.2 Огляд та аналіз технічних рішень із застосуванням термоелектричного ефекту

В останні роки були розроблені та випробувані термоелектричні генератори (ТЕГ) з різною потужністю від кількох мікроват до десятків кіловат. Більшість термоелектричних генераторів призначені для так званої «малої генерації електроенергії», тобто для виробництва невеликої кількості електроенергії. Вони мають унікальні характеристики : високу надійність, абсолютну автономність, простоту використання, безшумність і довговічність. Термоелектричні генератори використовуються для живлення об'єктів, віддалених від ліній електропередач, або в різних ситуаціях, коли термоелектричні генератори є єдиним джерелом енергії.

Перевагами термоелектричного перетворювача є, в тому числі, відсутність рухомих частин і, як наслідок, відсутність вібрації, а також відсутність необхідності використання рідин або газів під високим тиском. Перетворення відбувається в самому термоелектричному матеріалі.

Продуктивність не залежить від просторових умов або наявності сили тяжіння. Термоелектричний генератор можна використовувати як при малих, так і при великих перепадах температур. Це особливо важливо, враховуючи, що приблизно 90% теплової енергії промислових установок і обладнання виділяється при температурах поверхні до 300°C.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Термоелектричне перетворення енергії є універсальним і вимагає використання джерел теплового потоку навіть при невеликих перепадах температур, де використання інших методів перетворення неможливе.

Зараз існують пристрої, які можуть використовувати енергію теплових потоків із перепадом температури менше 10 К.

Основним обмеженням переваг термоелектричного перетворення є відносно низька ефективність перетворення теплового потоку в електричну енергію, коливається від 3% до 8%. Термоелектричні генератори стають необхідними для виробництва електроенергії, коли економічно недоцільно або неможливо підключити звичайні лінії електропередач для відносно невеликих навантажень.

Сфери застосування ТЕГ дуже різноманітні: електропостачання космічних апаратів на орбіті далеко від Сонця; рушійне обладнання для суднових навігаційних систем; домашній генератор електроенергії.

Наприклад, дров'яні печі, печі для лазні, каміни, інтеграція в котли тощо.

Наведено приклад практичного застосування термоелектричного генератора .

- утилізація тепла, що розсіюється двигунами (автомобілів, суден тощо).
- автономне електропостачання для забезпечення ефективності роботи сміттєпереробних споруд, котельнь, саун тощо.
- джерело живлення катодного захисту нафто- і газопроводів.
- перетворення тепла з природних джерел (таких як геотермальна вода) в електричну енергію.
- живлення різного обладнання автоматизації та телеметрії на об'єкті далеко від ліній електропередач.
- вимірювання теплового потоку (термовітрометр); - Через різницю температур між гарячим і холодним теплоносієм у контурі, який отримує електричну енергію в сонячному концентраторі.

Автономні джерела електричної енергії на базі термоелектричних генеруючих модулів (ТЕГ) знайшли широке застосування в різних сферах діяльності

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



лення вбудованого мінірадіоприймача

Продовження таблиці 1.1

Печі для опалення будівель	Освітлення приміщення напругою до 12 В; зарядження акумуляторів приладів побутових; живлення ЖК-телевізорів та другої апаратури; забезпечення пришвидшеної циркуляції повітря за рахунок вживання малопотужних вентиляторів
Каміни	Автономне заживлення малопотужних вентиляторів для циркуляції нагрітого повітря у приміщенні; живлення автономного підсвічування приміщення малопотужними пристроями
Печі для саун	Освітлення малопотужних приладів живленням до 12 В; заживлення вентиляторів для циркуляції нагрітого повітря; зарядження акумулятора для живлення пристрою після запалювання
Мангали, жаровні, барбекю	Живлення малопотужної підсвітки; живлення системи регулювання температури приготування страв; живлення малопотужного двигуна обертання мангала
Опалювальні котли	Живлення малопотужних пристроїв побутових; живлення малопотужного циркуляційного насоса
Сонячні концентратори теплової енергії	Отримання електричної енергії для живлення елементів автоматики, забезпечення живлення системи телеметрії, забезпечення циркуляції теплоносія у системі

Прикладом революції в термоелектричних генераторах для побутової електроніки є термоелектричні генератори різних фірм, які працюють на різниці температур, яка складає значну величину. Ці термоелектричні генератори можуть виробляти 25 Вт потужності, гарантуючи температуру поверхні нагріву 300-400 °С. Коли два генератори встановлено на невеликій опалювальній дров'яній печі та сумісні з вбудованим контролером заряду, він заряджатиме вбудовану батарею під час спалювання дров і генеруватиме до 50 Вт загальної

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Зм. Арк. №докум. Підпис Дата

потужності.

Термоелектричні модулі використовуються для вимірювання і контролю теплового стану двигунів, різних пристроїв і механізмів, для вимірювання тепловтрат і теплопровідності, для отримання інформації про характер тепловиділення в живих організмах, а також як густиномір теплового потоку для дозиметрування, контролю та автоматизації технологічних процесів.

Принцип роботи термоелектричного модуля як теплового витратоміра заснований на відомому методі допоміжних стінок. «Стінки» розміщені на шляху зареєстрованого теплового потоку. У термоелектричних модулях функцію стінки беруть на себе розгалужені напівпровідники. При цьому унікальною перевагою термоелектричних модулів є те, що для вимірювання різниці температур не потрібні додаткові підключення. Це безпосередньо визначається значенням напруги, що виробляється термоелектричним модулем. Режим роботи термогенератора як калориметра є підвипадком генераторного режиму (безмежний опір навантаження).

Застосування термогенераторного модуля для живлення пристроїв з низьким енергоспоживанням і низьким тепловим потоком. Значні досягнення в галузі розробки та виробництва автономних електронних пристроїв малої потужності значно розширили можливості застосування. На основі термогенераторних модулів можна створювати бездротові реалізації для різних цілей, від найпростіших автономних датчиків різних фізичних розмірів до складних систем кондиціонування повітря, управління ресурсами або промислової автоматизації.

Зі зменшенням енергоспоживання та появою високоефективних перетворювачів напруги, здатних працювати на рівнях напруги 30 мВ, на ринку з'явилися нові рішення для живлення малопотужних пристроїв. Він працює шляхом перетворення вторинної енергії в електричну. Зокрема, він працює шляхом термоелектричного перетворення невеликого дробового потоку теплової енергії шляхом зміни напрямку (знаку) струму.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Це дає можливість продовжити термін служби та надійність різноманітних автономних пристроїв, які потребують періодичної заміни батарей живлення. Рішення для збору енергії часто дозволяють повністю відмовитися від акумуляторів живлення та замінити їх акумуляторами або конденсаторами більшої ємності, що знижує експлуатаційні витрати та загалом покращує загальну надійність системи. Зокрема, зауважте, що основна відмінність між цією реалізацією термоелектричного перетворення та іншими реалізаціями полягає в тому, що для виконання роботи не потрібно енергії.

Конструктивні рішення енергозбірного типу Energy Harvesting дозволяють жити датчики дистанційного керування разом з радіоканалом, де присутній вторинний тепловий потік. Такі рішення використовуються, зокрема, для датчиків потужності, бездротових датчиків, дисплеїв, систем контролю параметрів, систем передачі інформації у важкодоступних і рухомих частинах обладнання, для моніторингу стану обладнання та для його планового обслуговування.

Другим перспективним напрямком є його застосування в системах регулювання опалення всередині будинків і при знятті показань різних лічильників для врахування споживаних ресурсів (бездротові технології для ЖКГ, системи «розумний дім» тощо).

Багатокаскадний термоелектричний модуль. (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 - Багатокаскадні термоелектричні модулі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.



іншого тимчасового житла), щоб отримати додаткову електроенергію для підзарядки гаджетів, освітлення та других побутових потреб.



Рисунок 1.4 - Термоелектричний генератор FireBee Power Tower

Такий пристрій австралійської компанії є універсальним - електроенергію можна отримувати з тепла різних похідних печей типу «буржуйка», пропанових печей, камінів та невеликих спиртових пальників. Даний портативний тепловий генератор може виробляти до 7 Вт електроенергії, яка розподіляється на два виходи: USB-порт напругою 5V та силою струму 2A для портативної електроніки та 12-вольтовий термінал зі струмом 125 mA, який можна використовувати, відповідно, для підзарядки акумуляторів 12V.

Тепло, яке виділяється від печі чи відкритого вогню поглинається ребрами радіатора, розташованими всередині пристрою, який потім проходить через пару термоелектричних модулів, з'єднаних із баком з проточною водою. Термоелектричні модулі виробляють електроенергію за рахунок різниці температур між гарячими ребрами радіатора та теплоносієм, що знаходиться в охолоджувальному

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

баку. У даного генератора Power Tower є ще одна перевага: так як для його роботи потрібен охолоджуючий бак з водою. Вода, яка у ньому знаходиться підігрівається або доводиться до кипіння, яка в подальшому може використовуватись для побутових потреб людей. По суті, користувачі можуть одночасно готувати гарячу їжу, заряджати свій пристрій та нагрівати воду для миття посуду. Так як генерація електроенергії відбувається за рахунок різниці температур, то найбільший ККД досягається при найгарячішому джерелі тепла і найхолоднішій воді. «PowerBee Power Tower – це найпотужніший термоелектричний генератор у своєму роді, в якому навіть невелика кількість тепла виробляє достатньо енергії. Його можна адаптувати для використання в тандемі з невеликим спиртовим або пропановим пальником, а також будь-якою піччю з димарем. Для теплих та сонячних регіонів, де використання опалювальних печей не завжди необхідно та доцільно подібні генеруючі пристрої можна використовувати за спільно із сонячним концентратором.

Пальник на дровах BioLite CampStove 2 (рис. 1.5) нового покоління у комплекті із ліхтариком. Даний автономний пристрій генерує електроенергію для зарядки ліхтариків, мобільних телефонів та інших гаджетів, необхідних для відпочинку на природі.



Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

## Рисунок 1.5 - Пальник на дровах BioLite CampStove 2

Працює тільки на дровах, щіпках з вогнем майже без диму. Використовується одночасно для приготування їжі або кип'ятіння води за лічені хвилини, може закип'ятити 1 літр води за 4,5 хвилини.

Особливості даного пристрою. Даний пристрій має USB роз'єм-порт для безпосереднього приєднання пристроїв для зарядки. Також у складі пристрою є вбудований акумулятор ємністю 3200 mAh. Оновлена Smart LED панель показує рівень заряду. У своєму складі пристрій має радіатор для відбору тепла та вентилятор для обдуву. Режим роботи вентилятора (піддува) інтенсифікує полум'я, що дозволяє виробляти на 50% більше енергії, ніж попередній аналог.

Даний термогенераторний пристрій працює виключно на дровах, трісках, хмизу генерує до 3 Ватт електричної енергії.

До комплекту входить невеликий компактний ліхтарик FlexLight для користування в темний час доби.

На сьогодні, використання термоелектричних перетворювачів знайшло у автомобільній промисловості. Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) в сучасних автомобілях мають досить високий ККД близько 0,4. Однак значна частина спаленого палива  $Q$  і частина доступної потужності безповоротно втрачається в атмосферу через вихлопну трубу автомобіля, систему охолодження, трансмісію та інші механізми.

Термоелектричні генератори допомагають економити паливо. Адже напівпровідникових матеріалів з термоелектричними властивостями небагато, і не всі вони можуть бути використані на практиці. Досягніть економії палива щонайменше на 5%, будучи економічно ефективним, високотехнологічним і з низьким рівнем викидів.

Генератор, представлений General Motors, може витримувати нагрівання до температури 600 °C на гарячій стороні (вгорі) і підтримувати температуру 100°C на холодній стороні (внизу).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

При такій різниці температур модуль площею 4 квадратних сантиметри може генерувати 7,2 Вт енергії. Установка такого генератора біля вихлопної труби автомобіля значно знижує навантаження на штатний генератор автомобіля. Споживання палива та викиди забруднюючих речовин також зменшуються. Цей термоелектричний перетворювач можна використовувати як джерело живлення для зарядки кислотної батареї автомобіля.

Робота запропонованої конструкції виконуються наступним чином: Труба глушника після виходу з колектора обмотується теплопровідною гнучкою стрічкою, за допомогою якої тепла енергія передається від системи випуску вихлопних газів до нагрівальної пластини термогенератора, до якої з обох сторін притиснуті поверхні термопластини (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Схема встановлення термогенераторного пристрою у автомобілі

Протилежна поверхня пластини охолоджується радіатором з повітряним і рідинним охолодженням. Якщо термогенератор розташувати поруч з двигуном, а радіатор встановити близько до поверхні шасі, то проблема рідинного охолодження автоматично усувається. Для ефективної роботи термоелектричних перетворювачів, тобто для генерації максимальної напруги  $U$ , необхідне викорис-

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

тання різноманітних систем з'єднання термоелектричних модулів і застосування систем охолодження холодної та гарячої сторони термопар.

Існують пристрої, які використовують термоелектричні модулі як теплообмінні елементи і використовуються в побуті (рис.1.7). Водоблоки, що використовуються зі стандартними термоелектричними модулями 40x40 мм, розраховані на один або два модуля Пельтьє. Водоблок виготовлений з алюмінію і має трубу діаметром 8 мм.

Промислове використання запропонованого пристрою не вимагає спеціальних технологій і матеріалів і може бути реалізоване на існуючих підприємствах-виробниках обладнання.

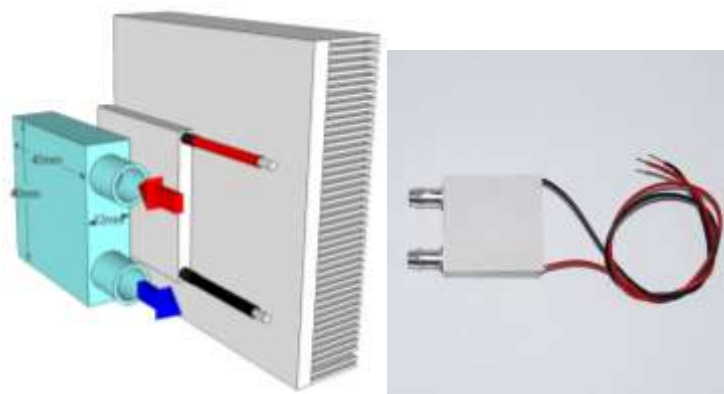


Рисунок 1.7 – Водоблок з термомодулем

Існує пристрій для тепловідведення від термоелементів (рис. 1.8). Може бути використаний для охолодження комп'ютерних процесорів та інших пристроїв побутового призначення малої потужності. Тепловідвід виготовлений з термоелектричних модулів.

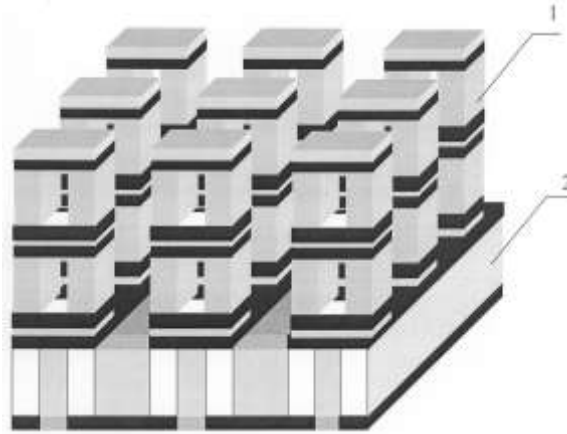


Рисунок 1.8 - Прилад для термоелектричного тепловідведення

Поліпшення процесу тепловідведення від гарячих спаїв та охолодження досягається тим, що у термоелектричному тепловідводі, основа відводу тепла являє собою базовий термомодуль, штирі тепловідведення голчастого типу розташовані на основі у шаховому чи лінійному порядку. Кожен стрижень складається з оптимального числа (два або три) розташованих один над одним (каскадно) додаткових термомодулів, що мають площу значно меншу, ніж базовий термічний модуль.

Застосування термомодулів, з якого створюється тепловідводи для охолодження, дає можливість вирішити проблему нерівномірного розподілення теплоти у тепловідводі та значно підвищити ефективність роботи охолоджувальних пристроїв за рахунок зміни градієнта температур у тепловідводі та зниження температури основи при одноразовому підвищенні температури штирів.

Аналізуючи дані пристрої можна зробити висновок, що більшість з них має не складну конструкцію, легко монтується, і може бути використана у побутових умовах. Проте, майже всі вони мають високу вартість, орієнтовно 5000-12000 грн.

Тому завданням нашої роботи було розробка пристрою, значно дешевшого та простого у використанні ніж пропоновані аналоги.

Висновок до розділу 1

У цьому розділі здійснено огляд та аналіз термоелектричних явищ та тех-

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

нічних рішень з вживанням термоелектричного ефекту технологічних основ на основі принципу термоелектричного ефекту. Приведено схему виникнення термо-ЕРС та описано залежність її від фізичних властивостей матеріалів.

Зроблено опис та здійснено аналіз конструкцій термогенераторів різних типів.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## 2 Розробка портативного термогенератора на основі елементів Пельтьє

### 2.1. Розробка структурної та функціональної схеми роботи портативного термогенератора

Фізична суть термоелектричних явищ доволі складна, вона пов'язана з різною атомною будовою речовин і різними умовами проходження через них електричного струму.

В основі будь-якого термоелектричного приладу лежить елементарний термоелемент, що являє собою послідовно з'єднані дві напівпровідникові гілки (рис.2.1), одна з яких має електронну ( $n$ ), а інша дірчасту ( $p$ ) провідності.

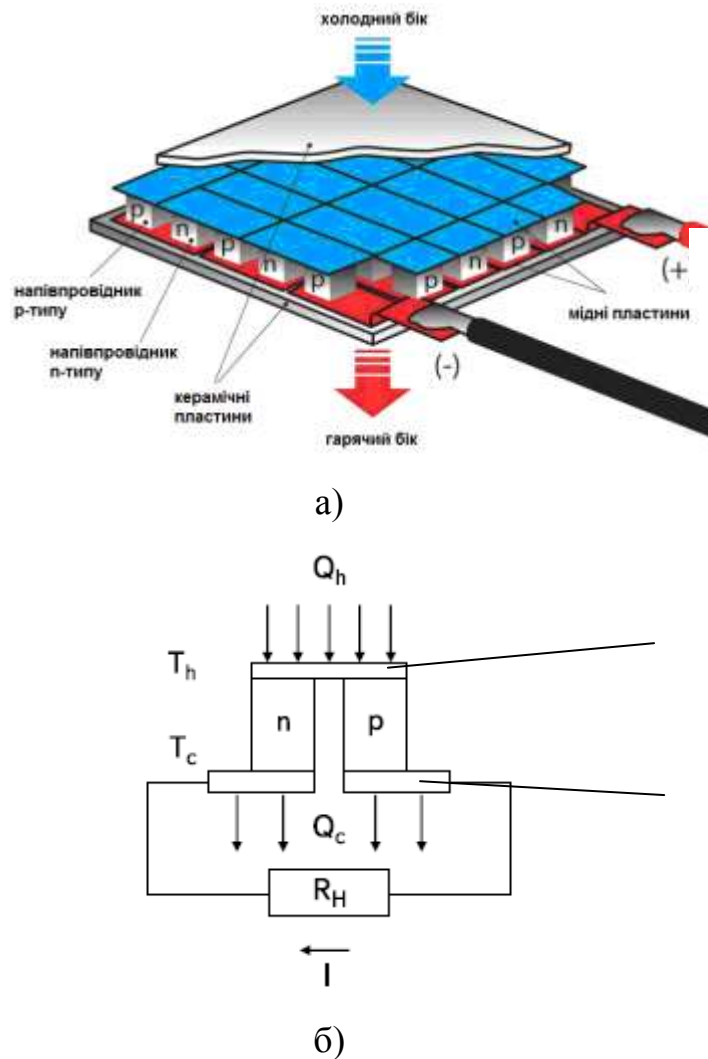


Рисунок 2.1 – Термоелектричний елемент: а – вид загальний; б – конструктивна схема; 1, 2 - комутаційні пластини

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Розроблюваний портативний термоелектричний генератор складається з трьох основних конструктивних вузлів:

- термоелектричних батарей;
- системи охолодження термоелемента (холодний контур);
- системи нагрівання термоелемента (гарячий контур).

При конструюванні термогенераторного модуля було враховано взаємозв'язок усіх цих трьох вузлів.

Перед початком проектування було розроблено схему підключення холодного і гарячого контуру (рис. 2.2)

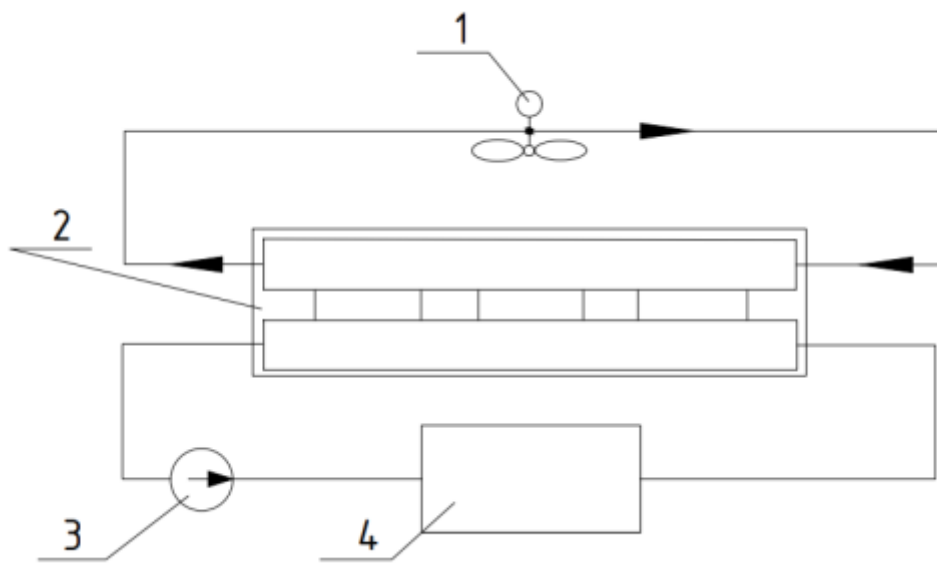


Рисунок 2.2 – Схема підключення гарячого та холодного контурів портативного термогенератора

До термоелектричної зборки 2 входять вісім елементів Пельтьє, з'єднаних між собою послідовно для отримання максимальної сили струму при генерації електричної енергії. Для різноманітних гаджетів необхідно якомога більший струм. Це сприяє їх швидкій зарядці. Оптимальний струм має бути 0,5...2 А. Напруга при якій здійснюється зарядка 5 В.

До складу гарячого контуру входять: емність (коробка) для розпалювання вогню для нагрівання однієї з сторін термоелемента та природний обдув гарячої

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

сторони термоелементів 1. Зверху коробку можна закрити кришкою, для зменшення вогню, і як наслідок запобігання перегрівання термоелементів.

До складу холодного контуру входить: бак з водою 4, три водяних радіатора розміром 120x40 мм.

Два алюмінієвих повітряних радіатора розміром 120x80мм. Циркуляційний насос 3 для перекачування води для охолодження холодних спаїв, що споживає струм 0,5А працює при напрузі 5 В.

На рисунку 2.3 показана схема функціональна портативного термогенератора.

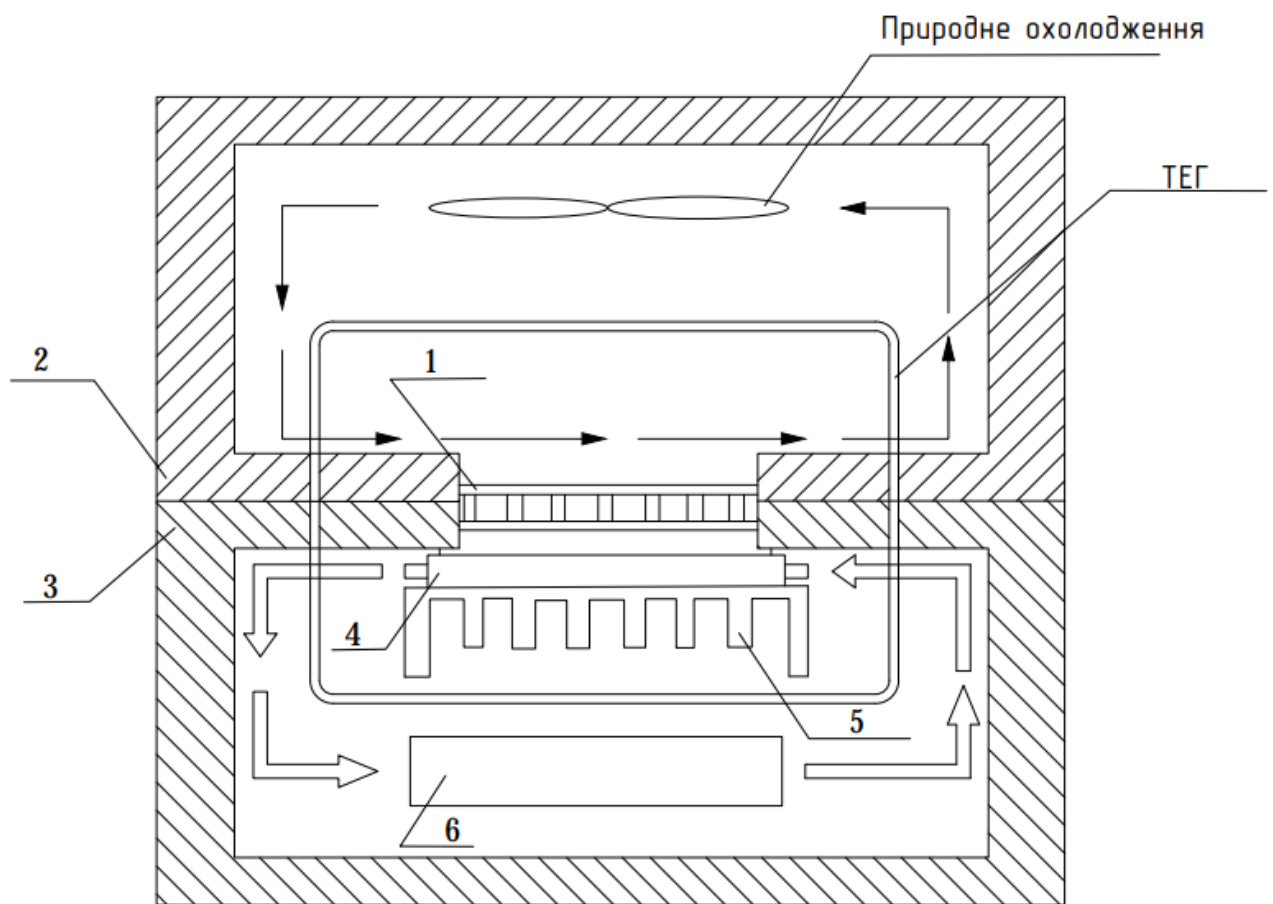


Рисунок 2.3 – Схема функціональна портативного термогенератора: 1 – термоелементи; 2 – короб гарячого контуру; 3 – короб холодного контуру; 4 – водяний блок; 5 – радіатор алюмінієвий; 6 – циркуляційний насос

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

На схемі показано, як взаємодіють всі елементи розроблюваного пристрою. Стрілками показано напрямок руху повітряних мас у гарячому контурі та води у холодному контурі за допомогою циркуляційного насоса.

## 2.2. Розробка конструкції портативного термогенератора

Термоелектричний модуль генерації являє собою батарею кремнієвих германієвих термоелектричних модулів генерації, з'єднаних послідовно в гілки за матричним принципом, а гілки з'єднані паралельно одна одній. Елементи термогенераторного поміщені в герметичний контейнер, заповнений інертним газом для запобігання окисленню та старінню напівпровідників. Плоска або циліндрична конструкція термомодуля оснащена пристроєм для підведення тепла в гарячий спай напівпровідникової термобатареї і відведення тепла в холодний спай. Конструкція електричних виводів термомодуля повинна забезпечувати як термогерметичність, так і електроізоляцію від корпусу. Зовнішній вигляд використаних батарей показано на рисунку 2.4.

В розроблюваному портативному термоелектричному генераторі можна використовувати однокаскадні або двохкаскадні термоелектричні модулі.

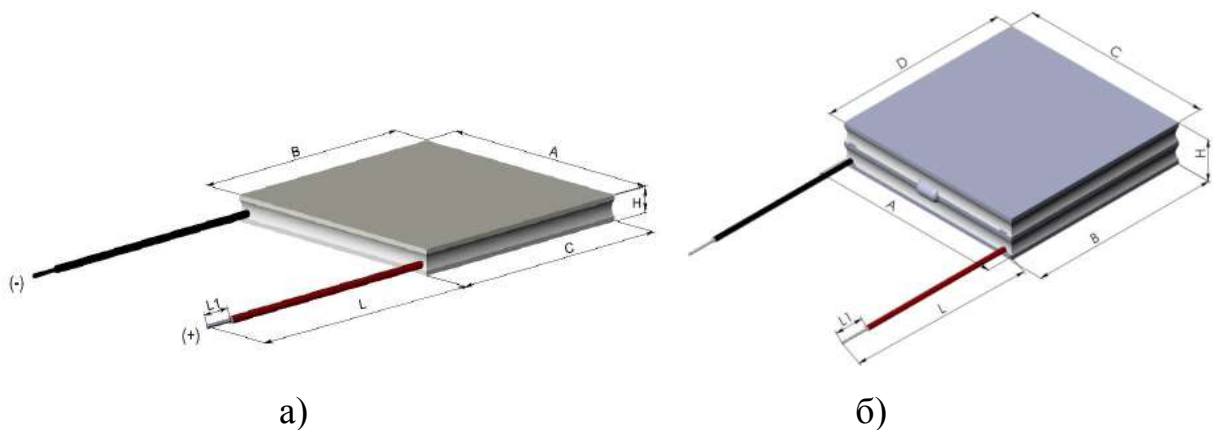


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд термоелектричних генераторних модулів:  
а – однокаскадні; б - двохкаскадні

Ефективність термоелектричних генераторів забезпечується істотною різ-  
норідністю структури гілок напівпровідника з якого складається термоелемент.  
Область р-типу з дірковою провідністю, виходить введенням в сплав *Si-Ge* акце-  
пторних домішок атомарного бору. Область n-типу із електронною провідністю,  
утворюється під час введення легування *Si-Ge* донорними атомами фосфору.

Для ефективної роботи термогенератора вибрано термоелектричні модулі  
Пельтьє MT2-1,6-127S FM411.224 Науково-виробничої фірми «Модуль». Геоме-  
тричні розміри, теплові та електричні параметри модулів представлені у додатку  
А кваліфікаційної роботи.

Також у додатку представлені теоретичні графіки залежності енергетичних  
параметрів. Зокрема, залежність потужності від різниці температур холодного та  
гарячого спаїв для різних струмів; залежність напруги від сили струму, виробле-  
ної потужності від сили струму, коефіцієнта ефективності від сили струму при  
різних різницях температур холодного і гарячого спаїв.

Аналізуючи характеристики термоелементів та графіки залежності нами  
було зроблено висновок, що теоретично найбільшу генерацію напруги можна  
отримати з'єднавши всі термоелементи послідовно. При цьому нам потрібно при  
послідовному з'єднанні отримати значення струму, що є найбільш оптимальним  
для використання термоелектричного генератора для зарядки різноманітних  
енергоспоживаючих (телефонів, ноутбуків, військових рацій тощо) та акумулю-  
ючих пристроїв. Це значення має знаходитися від 0,5 А до 2 А.

Для перевірки наших висновків проведемо випробовування одного термо-  
електричного модуля Пельтьє MT2-1,6-127S FM411.224 шляхом підведення теп-  
ла до однієї з його сторін та примусового охолодження іншої його сторони. Для  
демонстрації роботи термоелемента і забезпечення максимальної різниці темпе-  
ратур між спаями використовують нагрівальний елемент (тип ТЕН) закритого  
типу потужністю 250 Вт в комплекті з регулятором температури (рис. 2.5).

При цьому ми поміряли його енергетичні параметри в режимі генерації –  
це струм, напругу і порахували потужність.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

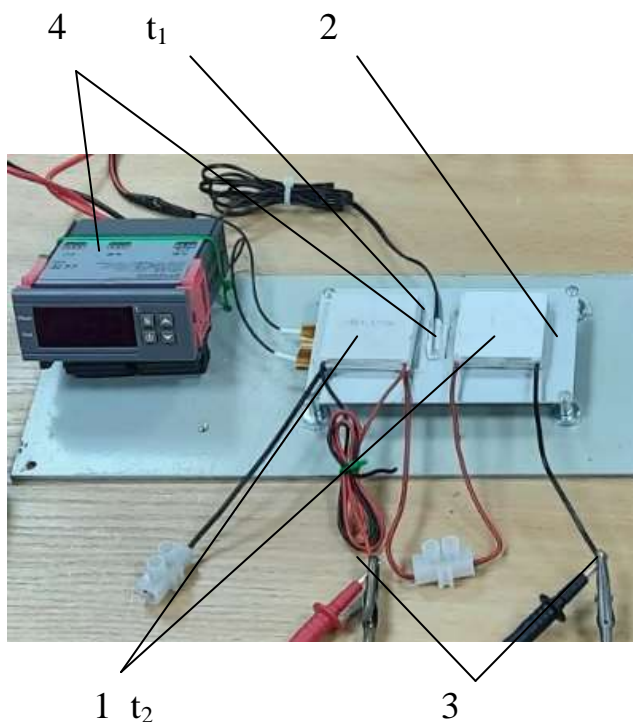


Рисунок 2.5 - Будова термоелектричного зборки для перетворення енергії: 1 – термоелементи; 2 – елемент нагрівальний; 3 – вихідні клеми контролю енергетичних параметрів; 4 – регулятор з датчиком температури

Отримані дані записали у таблицю 2.1, опрацювали у редакторі Microsoft Excel та побудували графік залежності (рис. 2.6).

Таблиця 2.1. Обробка результатів вимірювань при підключенні одного термоелементу

Но мер до-слі-ду	Температура гарячих спаїв $t_1$ , °C	Температура холодних спаїв $t_2$ , °C	Різниця температур $\Delta t = t_1 - t_2$ °C	Напруга $U$ , мВ	Струм $I$ , мА	Потужність $P$ , мВт
1	18	18	0	2,3	0,1	0,23
2	32	19	13	30,3	6,2	187,86
3	42	28	14	76	7,3	554,8
4	52	40	12	119	11	1309
5	62	50	12	132	12,6	1663,2
6	72	55	17	141	13,1	1847,1
7	82	63	19	145	13,9	2015,5



Загальні розміри зборки складають 124x124 мм. З врахуванням зазорів на розміщення термодатчиків на холодних та гарячих спаях.

Приведемо формули для визначення струму та напруги про послідовному з'єднанні наших термоелементів.

Загальна напруга  $U$  на  $n$  послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруги на першому провіднику та напруги на  $n$ -му провіднику:

$$U = U_1 + \dots + U_n \quad (2.1)$$

Застосувавши закон Ома, можемо переписати це співвідношення так:

$$I \cdot R = I_1 R_1 + \dots + I_n R_n \quad (2.2)$$

В разі послідовного з'єднання:

$$I = I_1 = I_n \quad (2.3)$$

Отже,

$$R = R_1 + \dots + R_n \quad (2.4)$$

Якщо ділянка кола складається з кількох послідовно з'єднаних провідників, загальний опір ділянки дорівнює сумі опорів окремих провідників:

Отримані співвідношення для сили струму, напруги та опору справджуються для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників:

$$\begin{aligned} U &= U_1 + U_2 + \dots + U_n \\ I &= I_1 = I_2 = \dots = I_n \\ R &= R_1 + R_2 + \dots + R_n \end{aligned} \quad (2.5)$$

де  $n$  — кількість провідників.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення напруги з таблиці 2.1 отримаємо:

$$U = 8 \cdot 145 = 1160 \text{ мВ.}$$

Дані значення були отримані при нагріванні однієї сторони і при природному охолодженні іншої сторони. Для оптимальної роботи термогенератора напруга генерації повинна бути приблизно 2 В.

Отже для збільшення генерації нам необхідно, в подальшому, забезпечити примусове охолодження іншої сторони термоелемента.

Для збільшення сили струму, дані елементи можна також з'єднати паралельно, тоді струм на кожному елементі буде підсумовуватись.

$$I = I_1 + I_2 \dots + I_8 \quad (2.6)$$

$$I = 8 \cdot 13,9 = 1112 \text{ мА.}$$

Загальний вигляд термоелементів, які входять до складу термоелектричного генератора зображена на рисунку 2.8. Також на рисунку показані датчик температури гарячої сторони та датчик температури холодної сторони.

Точки  $t_1$ ,  $t_2$  призначені для вимірювання температури гарячої і холодної сторони термогенератора.

Для забезпечення теплопередачі із мінімальними втратами та максимально ефективного відводу тепла від холодної сторони термодуля. Ефективність термоелектричного перетворювача буде найвищою за максимальної різниці температури між точками  $t_1$ , і  $t_2$  (гаряча та холодна сторона ТГ).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

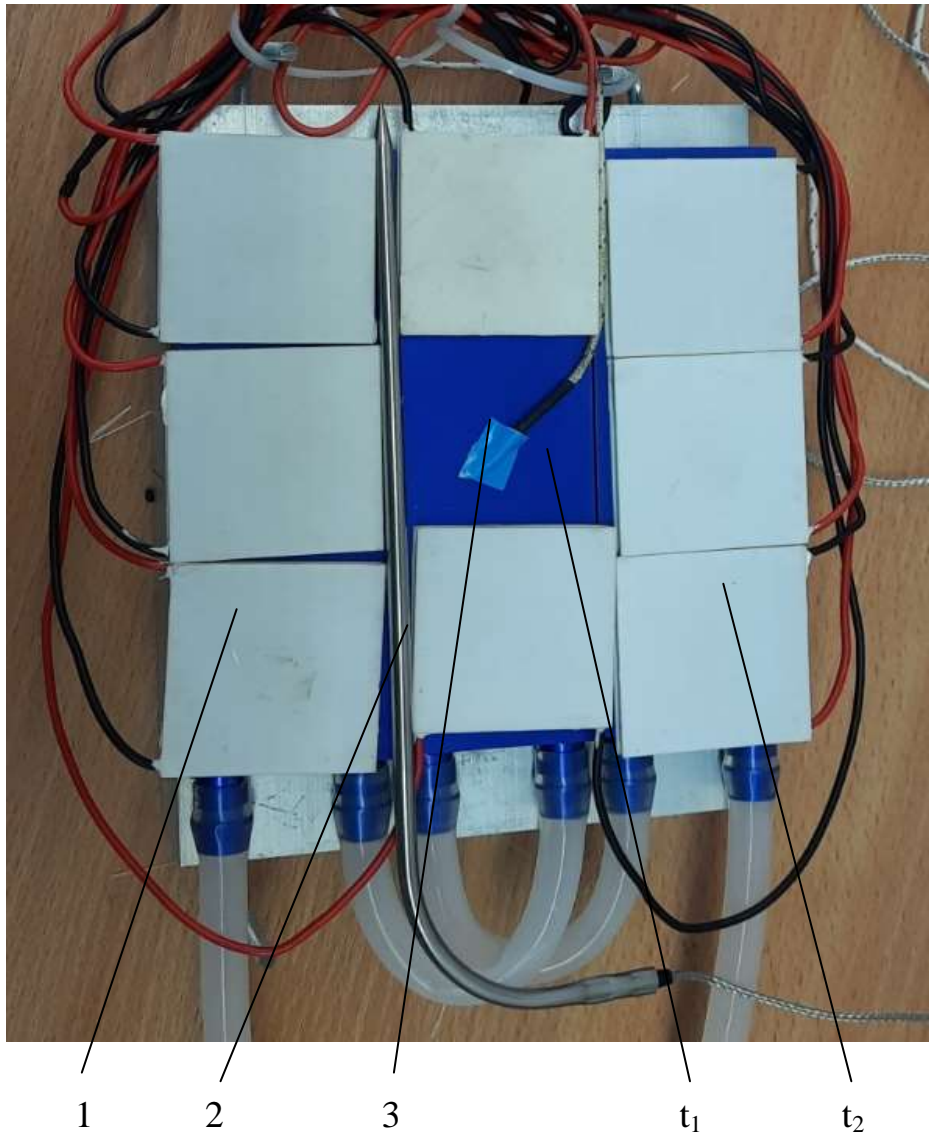


Рисунок 2.8 - Загальний вигляд термоелементів термоелектричного генератора: 1 – термоелемент Пельтьє; 2 - датчик температури гарячої сторони;  
3 - датчик температури холодної сторони

Для кращого розуміння роботи термогенераторів будь-якої конструкції наведемо графік розподілу температури всередині вузла біля термоелектричного модуля (рис. 2.9) для випадку роботи, коли немає теплового навантаження (режим максимальної різниці температур). Найбільша різниця температур досягається у місцях з'єднання термоелектричних елементів всередині модуля.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

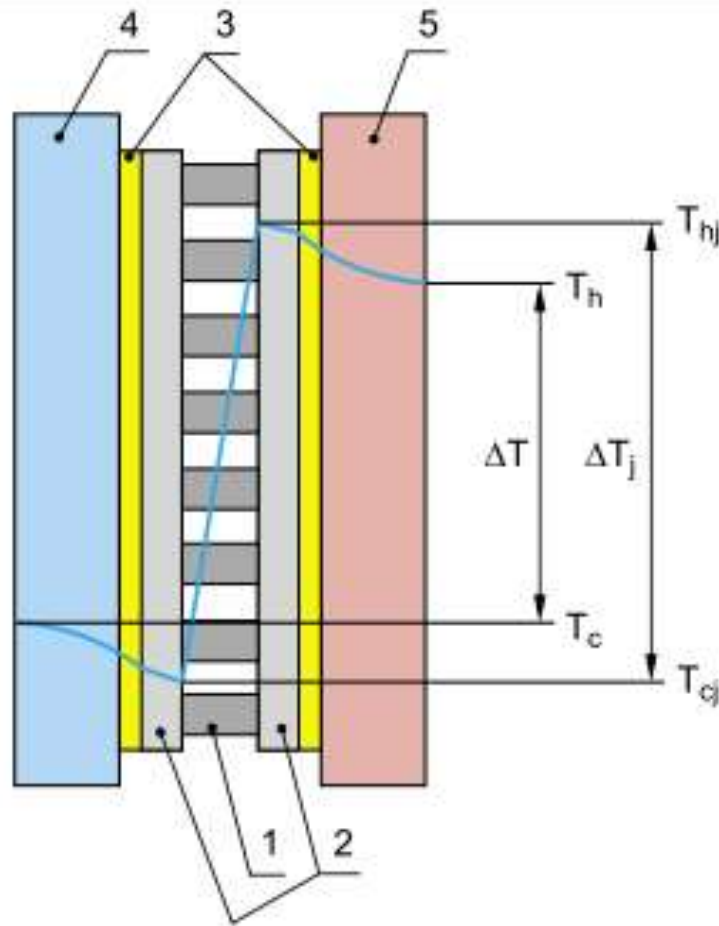


Рисунок 2.9 - Графік розподілу температури (синя лінія) всередині термоелектричної зборки біля термоелектричного модуля:

1 – термоелектричні елементи; 2 – керамічні пластини модуля; 3 – теплопровідна паста; 4 – холодний бічний радіатор; 5 - гарячий бічний радіатор

На графіку показано  $T_{cj}$  - температура холодних спаїв термоелемента,  $T_{hj}$  - температура гарячих спаїв термоелемента. Відповідно  $T_c$  - температура на поверхні холодного радіатора,  $T_h$  - температура на поверхні гарячого радіатора.

По мірі віддалення від них - температура холодної сторони термоелектричної зборки зростає, а температура гарячої сторони зменшується.

Тому різниця температур  $\Delta T$ , що забезпечується термоелектричною зборкою, завжди менше максимальної різниці температур, яку забезпечує термоелектричний модуль.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

Для забезпечення різниці температур між сторонами термогенератора до його гарячої сторони необхідно підвести тепловий потік  $Q_1$ , а холодної сторони відвести тепловий потік  $Q_2$ .

Корисна електрична потужність, що виділяється на навантаженні, буде пропорційна квадрату різниці температур  $\Delta T$ , що відображено у формулі (2.7):

$$P = Q_1 - Q_2 = I^2 \cdot R \approx (T_1 - T_2)^2 \approx \Delta T^2. \quad (2.7)$$

При різниці температур в  $100^\circ\text{C}$  один термогенераторний модуль дозволяє забезпечити генерацію електричної енергії потужністю до 10 мВт при напрузі постійного струму до 6В.

Тепло  $Q_1$  підводиться до термогенераторного модуля через стінку нагрівача за допомогою теплоносія, теплової трубки або при безпосередньому контакті із зоною тепловиділення реактора.

В нашому випадку ми будемо використовувати в якості нагрівального елемента природний вогонь. Це може бути спалювання сухих трісочок, сухого спирту, рідкого спирту з гліцерином, а також можна застосовувати газові пальники.

Тепловий потік  $Q_2$  від термогенераторного потрібно відвести від іншої сторони спаїв. При цьому забезпечивши максимальну різницю температур між холодним та гарячим спаєм. Для цього нам потрібно розробити систему відводу теплових потоків від термоелементів.

### 2.3. Розробка системи відводу тепла від термоелементів

Для того щоб збільшити різницю температур між спаями, необхідно забезпечити ефективне відведення тепла від них з боку холодного спаю.

В даній роботі було використано повітряний охолодження (обдув) та систему із застосуванням проміжного теплоносія (води).

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



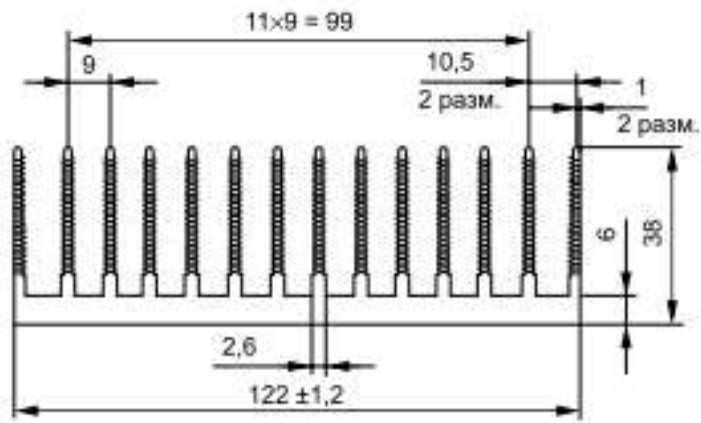


Рисунок 2.11 - Профіль перетину радіатора охолодження термогенератора

Далі приведемо обґрунтування та загальний вигляд системи водяного охолодження термоелементів термогенератора.

Рідинний радіатор має мінімальний тепловий опір, що дозволяє отримати максимальний перепад температур, але вимагає додаткові пристрої (насос, зовнішній тепловідвід). Оскільки ми намагаємося побудувати термогенератор, що буде мати найвищий ККД при хороших економічних показниках, буде доцільно використовувати саме рідинне охолодження через його найбільшу ефективність.

Схема конструкції охолоджувача рідини показана на рисунку 2.12.

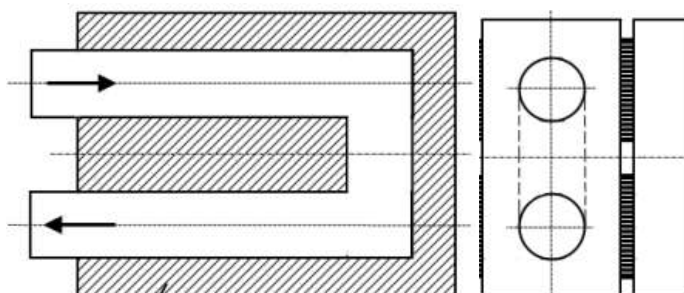


Рисунок 2.12 - Схема конструкції охолоджувача рідини у водяному блокові

У каналах корпусу охолоджувача протікає охолоджувана рідина. Вона підіється під тиском, який створює циркуляційний насос.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.





охладжуючих елементів – радіаторів та водяних блоків здійснюється охолодження спаїв термобатарей. В результаті між спаями виникає термоЕДС, величина якої фіксується за допомогою вольтметра, а струм за допомогою амперметра. Замикання електричного ланцюга здійснюється за допомогою ключа SA1. За допомогою вольтметра ми фіксуємо різницю потенціалів і візуально бачимо чи виникає напруга у ланцюгу живлення.

Схема стабілізації напруги для напруг низьковольтних. На рисунку 2.15 показана схема регульованого стабілізатора напруги. Ця схема дозволяє отримати вихідну напругу в межах 1,25 – 3,0 вольт. Це дозволяє використовувати даний стабілізатор для живлення різноманітних низьковольтних споживачів (світлодіодні лампи, зарядні пристрої телефонів, рацій, ноутбуків тощо).

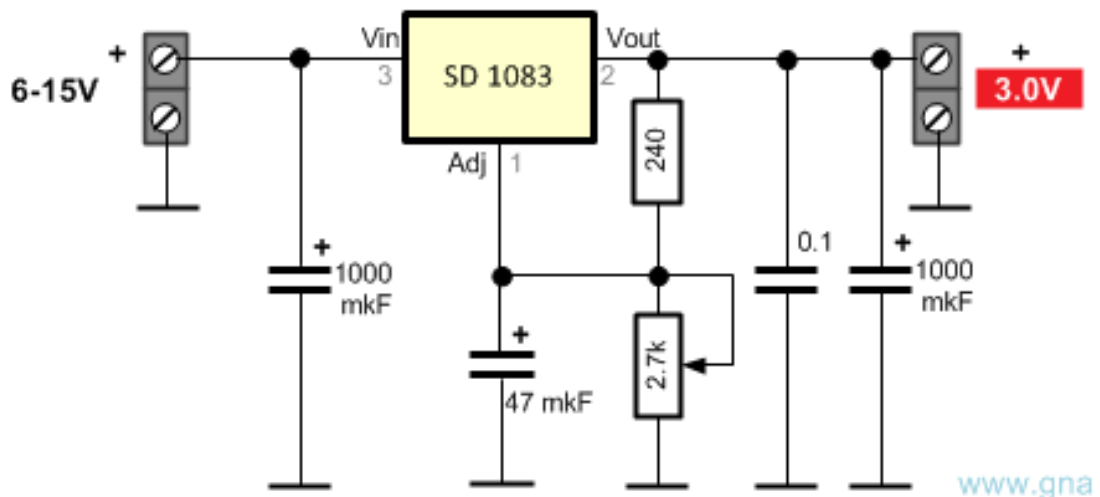


Рисунок 2.15 - Схема стабілізації напруги для напруг низьковольтних

Робота схеми пристрою. За допомогою змінного резистора R240 можна встановити потрібну вихідну напругу. Вихідну напругу можна розрахувати за формулою  $U_{\text{вих}} = 1,25 (1 + R_{240}/R_{2.7})$ . Як регулятор напруги використовується мікросхема SD 1083/1084. На мікросхемі можна встановити невеликий радіатор, тому що при низькій вихідній напрузі регулятор працює в струмовому режимі та суттєво нагрівається навіть на «холодному» ходу роботи системи.

Монтаж пристрою. Пристрій зібрано на друкованій платі розміром 20x40мм. Зібрана плата поміщається окрему коробочку та монтується безпосередньо в корпусі термоелектричного генератора.

Перед початком підключення навантаження необхідно спочатку встановити робочу напругу на виході стабілізатора (за допомогою резистора R240).

Для того, щоб була певна стабільна напруга та різні пристрої заряджалися безпечно, потрібен підвищуючий стабілізатор. Він показаний на рисунку 2.16. Загальний вигляд стабілізатора та його підключення до генератора напруги показано на рисунку 2.16.

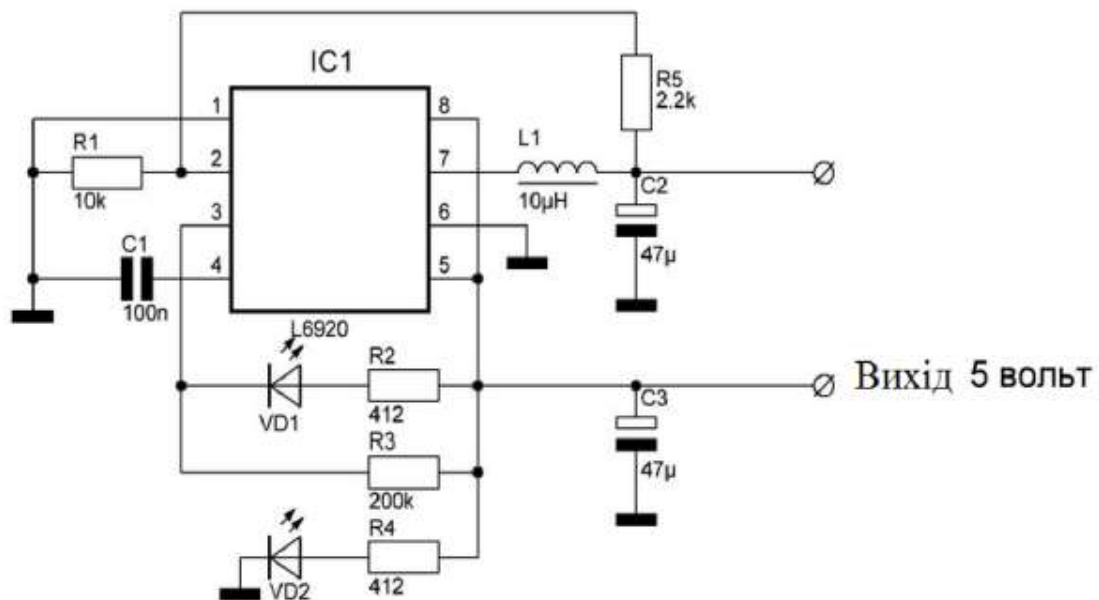


Рисунок 2.16 - Схема принципова підвищуючого стабілізатора

На виході підвищуючого стабілізатора існуватиме стабільна напруга величиною у 5 вольт, що дасть можливість заряджати всі мобільні та інші пристрої через USB вихід, оскільки він є універсальним або з допомогою переходника. На виході USB порта, в залежності від інтенсивності горіння полум'я, ми отримаємо силу струму в межах 0,36 – 0,53 А при сталій напрузі 4,8...5,1 В.

Також в процесі горіння при підключеному телефоні з акумуляторною батареєю 1560 мА·год, за 30 хвилин відбувається зарядка на (10 – 14) %.

Застосування даного підвищуючого стабілізатора у пристрої для генерування напруги на базі елементів Пельтьє приводить до стабілізації напруги та дозволяє підвищувати її значення до 5 В. Це забезпечує стабільну роботу при підключенні навантаження. Підключивши до термоелектричного генератора свідлодіодну лампу – отримаємо стабільне освітлення, а при підключенні зарядного пристрою – стабільний зарядку телефону чи іншого пристрою. Крім того у даному пристрої передбачено вихід до павербанку. Тобто, ми можемо його заряджати, коли немає потреби безпосередньо заряджати різні побутові гаджети.

## 2.5 Загальне компонування портативного термогенератора

Для якісної роботи термоелектричного генератора потрібно врахувати ряд особливостей при збиранні.

1. Підготувати поверхні водяних радіаторів та термопластини. Для цього необхідно відшліфувати поверхні радіатора та термопластини, досягнувши плоскостності не гірше ніж 0,025 мм у лінійному розмірі. Для запобігання згину чи деформацій радіатора та термопластини під час зборки, отвори для стягуючих шпильок потрібно розміщувати як можна ближче до термоелектричного модуля. Крім того, бажано, щоб стяжні шпильки розташовувались на лінії ребер жорсткості радіатора.

2. Нанести тонкий та рівномірний шар теплопровідної пасти (наприклад КПТ-8) на радіатор та термоелектричний модуль.

3. Встановити термоелектричний модуль холодною стороною на радіатор. Ретельно, із рівномірним зусиллям притерти модуль до поверхні радіатора до появи помітного опору при переміщенні модуля. Видалити рештки пасти, яка виступила за краї термодуля.

4. Стягнути алюмінієвий радіатор, водяний радіатор, термоелементи та охолоджуючу пластину між собою, використовуючи стягуючі шпильки та теплоізоляційні втулки. Рекомендований матеріал для виготовлення теплоізоляційних

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

втулок – полікапроамід (капролон). Стягування зборки слід робити акуратно, по черзі закручуючи гайки на стяжних шпильках.

Для отримання найбільшої ефективності і надійності роботи термогенератора необхідно керуватися наступними головними принципами:

1. Гаряча та холодна поверхні, на які буде встановлений модуль, повинні мати високу площинність: не менше 20 мкм в базовому варіанті.

2. Для досягнення найкращого результату та зберігання працездатності генераторного модуля протягом терміну експлуатації, необхідно забезпечити зусилля стиснення порядку 1-1,5 кН для модуля розміром 40 x 40 мм. Для оптимізації навантаження у період експлуатації варто використовувати пружини спільно з різьбовими з'єднаннями.

3. Температура гарячої сторони термогенератора не повинна перевищувати заданому в специфікації (див. додаток А).

4. Край металевої поверхні джерела тепла, що торкається термогенератора, має виходити за межі модуля приблизно на 10 мм та більше з кожного боку.

5. Температура поверхні модуля повинна бути максимально рівномірною. Якщо джерело тепла чи радіатор холодного боку виготовлені не з міді, то рекомендується застосовувати проміжні мідні пластини для відвертання нерівномірного температурного поля.

6. Для збільшення потоку тепла, що проходить через модуль, діаметр стягають шпильок конструкції термогенератора повинен бути по можливості мінімальним. Матеріал стяжних шпильок бажано вибирати з мінімальними теплопровідністю (наприклад, нержавіюча сталь).

7. Для забезпечення найкращого теплового контакту ТГМ з джерелом тепла та радіатором холодної боку, необхідно використовувати теплопровідних пасти. Шар термопасти має бути, по можливості, мінімальним для збереження прямого контакту між керамічною поверхнею модуля і металом.

8. Для отримання максимальної потужності, що генерується та досягнення найбільшого коефіцієнта ефективності, конкретний тип модуля повинен бути

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

обраний з урахуванням характеристик елементів конструкції термомодуля, радіаторів, інтерфейсних матеріалів тощо. Важливою характеристикою модуля є його тепловий опір.

Узагальнюючи всі вищеприведені матеріали, запропонуємо компоновання та загальний вигляд портативного пристрою для термогенерації. Загальний вигляд показаний на рисунку 2.17.

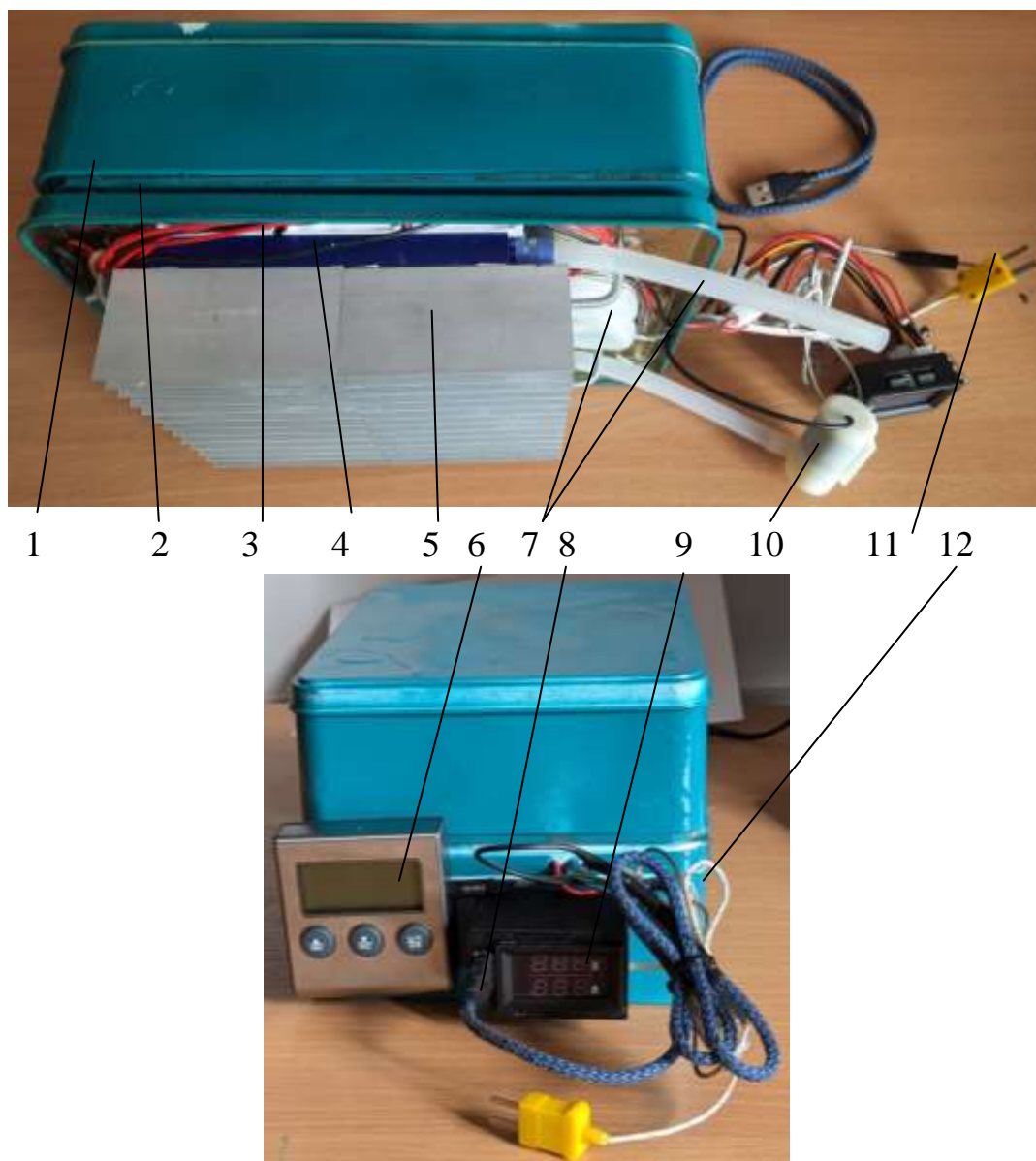


Рисунок 2.17 - Загальний вигляд портативного термогенератора: 1 – короб-горілка; 2 – теплоізолююча пластина; 3 – термоелементи; 4 – водяний блок; 5 – радіатор; 6 – термометр; 7 – шланги; 8 - USB вихід; 9 – амперметр за платою стабілізації; 10 – насос; 11 – термопара; 12 – корпус для води

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.



усіх елементів, що входять до складу термогенераторного пристрою.

На основі принципу термоелектричного ефекту розроблена конструкція термогенератора, підібрано елементи конструкції: термоелектричний генератор, радіатори для відведення тепла, циркуляційний насос.

Розроблено електричну схему портативного термогенератора із застосування стабілізуючого та підвищуючого стабілізаторів напруги.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Розрахунки технічних та технологічних параметрів роботи портативного термогенератора, що підтверджують його працездатність

3.1. Основні вирази та співвідношення для визначення параметрів портативного термогенератора

Для того щоб утворити різницю температур між сторонами генераторного модуля до його гарячої сторони необхідно підвести тепловий потік  $Q_1$ , а з холодної сторони відвести тепловий потік  $Q_2$ . Корисна електрична потужність, що виділяється на навантаженні буде приблизно пропорційна квадрату різниці температур  $\Delta T$  визначається за формулою (3.1):

$$P = Q_1 - Q_2 \quad (3.1)$$

На зовнішньому навантаженні  $R_n$  термогенератор створює напругу  $U$ , що рівна термо-ЕРС, за вирахуванням падіння напруги на внутрішньому опорі елементів термогенератора:

$$\begin{aligned} U &= E_{m.epc} - I \cdot R \\ I \cdot R_n &= E_{m.epc} - I \cdot R \end{aligned} \quad (3.2)$$

Сила струму  $I$  в електричному ланцюзі термогенератора визначається за формулою (3.3):

$$I = \frac{2N \cdot \alpha \cdot \Delta T}{R + R_n} = \frac{2N \cdot \alpha \cdot \Delta T}{R(1 + m)} \quad (3.3)$$

Напруга на навантаженні термогенератора рівна, та визначається за формулою 3.4:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$U = I \cdot R_{\text{н}} = 2N \cdot \alpha \cdot \Delta T \frac{m}{1+m} \quad (3.4)$$

Потужність, що віддається для споживання у зовнішній ланцюг, обчислюється за формулою (3.5):

$$P = I \cdot U = \frac{(2N \cdot \alpha)^2 \Delta T^2}{R} \cdot \frac{m}{(1+m)^2} \quad (3.5)$$

Для забезпечення ефективної роботи термогенератора слід забезпечити максимально допустиму різницю температур між сторонами термомодуля, для цього до однієї його сторона треба підвести тепло ( $Q_{\text{н}}$ ), а з іншого - забезпечити ефективне відведення теплової енергії ( $Q_{\text{с}}$ ).

Електрична потужність на навантаженні буде прямопропорційна квадрату різниці температур  $\Delta T$  холодного та гарячого спаю:

$$P = Q_1 - Q_2 = I^2 \cdot R_{\text{н}} \approx \Delta T^2 \quad (3.6)$$

Для досягнення максимальної потужності, значення електричного опору навантаження має дорівнювати значенню внутрішнього опору генераторного модуля, що є в умовах експлуатації.

Вибираючи певним чином параметр  $m$  (ф.3.5), можна змінювати коефіцієнт корисної дії, при цьому буде змінюватися електрична потужність, яку можна отримати від термоелектричного генератора. Максимальну потужність з термогенератора можна отримати за однакової кількості зовнішнього та внутрішнього навантажень ( $m = 1$ ), а максимальний коефіцієнт корисної дії досягається при значенні  $m \approx 1,3-1,4$ .

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		







## Висновок до розділу 3

Приведено основні вирази та формули для здійснення розрахунків, що підтверджують працездатність генератора.

Розроблено методику проведення випробовувань на розробленому портативному термогенераторі. На розробленому портативному термогенераторі здійснено вимірювання температурних та енергетичних параметрів. Побудовано графік залежності температурних та енергетичних параметрів роботи термоелектричного генератора.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Загальні висновки

Завданням моєї кваліфікаційної роботи була розробка портативного термогенератора на базі елементів Пельтьє для генерації електричної енергії.

Для вирішення поставленого завдання у першому розділі кваліфікаційної роботи було зроблено аналіз термоелектричних явищ та технічних рішень з вживанням термоелектричного ефекту.

На основі аналізу розглянутих конструкцій термоелектричних генераторів енергії зроблено було висновок, що всі конструкції мають ряд переваг та недоліків. Зокрема мають значну вартість.

У другому розділі розроблена конструкція портативного термогенератора на базі елементів Пельтьє.

Розроблено структурну схему пристрою. Описано перелік та призначення усіх елементів, що входять до складу термогенераторного пристрою.

На основі принципу термо ефекту розроблена конструкція термогенератора, підібрано елементи конструкції: термобатарею, радіатори для відведення тепла, циркуляційний насос.

Розроблено електричну схему портативного термогенератора із застосування стабілізуючого та підвищуючого стабілізаторів напруги.

У третьому розділі приведено основні вирази та формули для здійснення розрахунків, що підтверджують працездатність генератора.

Розроблено методику проведення випробовувань на розробленому портативному термогенераторі. На розробленому портативному термогенераторі здійснено вимірювання температурних та енергетичних параметрів. Побудовано графік залежності температурних та енергетичних параметрів роботи термоелектричного генератора.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## Перелік інформаційних джерел

1. Анатичук Л.І. Термоелементи и термоелектричні пристрої. - К.: Техніка, 1999.-767 с.
2. Булат Л.П. Термоелектричне охолодження: стан і перспективи // Холодильна техніка.1999. № 7, с. 12–14.
3. Sergiy Filin. Termoelectryczne urzadaenia chlodnicze. IPPU MASTA 2002. 225с.
4. Thermoelectric Materials – New Directions and Approaches // MRS,Pittsburgh, 1998. V.478. – 348 p.
5. Офіційний сайт науково-виробничої фірми Модуль. Код доступу: <https://spf-modul.com.ua/ua/p1801094129-2mt2-12763es-40x40.html>
6. Застосування термоелементів та термопар. Код доступу <https://www.kvota.com.ua/statti/termopara/>
7. Соловей О.І., Лега Ю.Г., Розен В.П. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії Навчальний посібник / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен та інш.; За заг. ред. О. І. Солов'я - Черкаси: ЧДТУ, 2007. - 490 с.
8. Величко С.А. Енергетика навколишнього середовища України (з електронними картами і графіками) Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна. 2003р. - 52с.
9. Кудря С.О., Головка В.М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії - Київ, 2009. 201 с.
10. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі: методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О.С.Поліщук, М.Є.Скиба, С.П.Лісевич, О.О.Коротич, В.О.Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.
11. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О.С. Поліщук, М.Є. Скиба, С.П. Лісевич, А.О. Поліщук, С.В. Каретний, О.В. Вишинський. – Хмельницький: ХНУ, 2022. – 185 с.

12. Комп'ютерне проектування термоелектричних перетворювачів енергії. Методичні рекомендації до лабораторних робіт / Укл.:Черкез Р.Г., Дудаль В.О. – Чернівці: Чернівецький національний університет, 2019. –56 с

13. Кузь Р.В., Струтинський М.М. Комп'ютерне моделювання термоелектричного однокаскадного генераторного модуля. //Термоелектрика, №3. - 2010. -с. 21-27.

14. Anatyshuk L.I., Luste O.J., Kuz R.V. Theoretical and experimental studies of thermoelectric generator for vehicles //Journal of Electronic Materials, Vol. 40, Issue 5, 2011.

15. L.I. Anatyshuk and R.V. Kuz, Computer designing and test results of automotive thermoelectric generator. Thermoelectrics goes automotive. Berlin: Expert Verlag, 2011.

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		